

De las redes de sensores inalámbricas al Internet de las cosas: ¿Tecnologías complementarias o antagonistas?

Rueda-Rueda, J.S.¹, Portocarrero, J.M.¹

Abstract— Wireless Sensor Networks (WSN) consist of small autonomous devices, physically distributed in a given area for monitoring physical or environmental conditions, with the capacity of storing and wirelessly communicating data through the network. The application scenarios of WSN are varied, such as industry, smart environment, logistics, domestic, safety, among others. Recently, a new paradigm called Internet of Things (IoT) has emerged, commonly known as the third evolution of the Internet once it started by connecting personal computers, mobile devices until to integrate everyday life objects. This paradigm also proposes to solve remote monitoring issues as indeed WSN is already doing. In view of this ambiguity, the goal of this paper is to argue the relation, similitude and differences between these two fields of study, by analyzing their definitions, architectures, application requirements and data approach to providing a perspective related to these two fields in the new era of the Internet.

Keywords— Internet of things, IoT, Wireless Sensor Network, WSN

I. INTRODUCCIÓN

LAS redes de sensores surgieron en las últimas décadas del siglo pasado y se conocían como Redes de Sensores Distribuidos (DSN, por sus siglas en inglés, *Distributed Sensor Network*). En la década de 1980 se conocieron los primeros trabajos en la literatura científica sobre esta tecnología. En 1981, investigadores realizaban experimentos en laboratorio para determinar algunos principios generales de diseño de estas redes [1]. Otros trabajos científicos hablaban de la agregación de datos realizada por los sensores [2] [3], y planteaban soluciones a problemas importantes de las redes de sensores distribuidas [4].

El sector de estandarización en telecomunicaciones de la *International Telecommunication Union* (ITU-T), define a una red de sensores como una red compuesta por nodos sensores interconectados, que intercambian datos detectados, usando comunicación inalámbrica o cableada [5]. Estas redes de sensores están densamente desplegadas, ya sea dentro del ambiente donde ocurre un fenómeno o muy cerca de él, y se basan en el esfuerzo de colaboración de todos sus nodos para la obtención de los datos [6].

Las redes de sensores inalámbricas, (WSN, por sus siglas en inglés, *Wireless Sensor Network*) consisten en un conjunto de cientos o miles de dispositivos autónomos, llamados nodos sensores, que están distribuidos físicamente en un área geográfica para monitorizar condiciones físicas o ambientales,

con capacidad de almacenar y comunicar datos en una red de forma inalámbrica. Un nodo sensor está compuesto por un procesador, una memoria, un transceptor, uno o más sensores, un conversor de señal analógica a digital (ADC) y una fuente de alimentación.

Esta arquitectura y los esfuerzos por reducir las dimensiones de sus componentes de hardware han permitido a los nodos sensores alcanzar tamaños que facilitan la implementación de cientos de aplicaciones. Esta reducción del tamaño también ha generado que los nodos sensores posean limitaciones de recursos como la limitación en: (i) el alcance de transmisión; (ii) capacidades de procesamiento; (iii) capacidades de almacenamiento, y (iv) las fuentes de energía, factor que es determinante al momento de estimar el tiempo de vida de una red de sensores inalámbrica al diseñar una aplicación para estas.

Las investigaciones en esta área centran sus esfuerzos para optimizar el uso de los recursos que se disponen en un nodo sensor, como por ejemplo, el uso de la energía [7] [8], la comunicación de corto alcance [9] [10] y la conectividad entre nodos sensores [11]. De estas investigaciones nacieron los protocolos de comunicación que optimizan el uso de energía o tecnologías de comunicación como LoRaWAN [12] y ZigBee [13], este último basado en el estándar IEEE 802.15.4 [14].

La optimización de recursos también está enfocado en el uso de protocolos de enrutamiento eficientes. Estos protocolos son los responsables de mantener las rutas en la red y tienen que garantizar la fiabilidad de la comunicación en múltiples saltos considerando las condiciones de hardware de los nodos sensores. Entre los retos y los problemas de enrutamiento que deben considerar estos protocolos también se deben considerar las limitaciones de recursos en términos de energía y eficiencia del hardware, el despliegue masivo de los nodos sensores, las características de la red y del medio ambiente, y la agregación de datos [15].

En lo relativo al despliegue de las redes de sensores inalámbricas puede considerarse una implantación determinística, no determinística y móvil. En el despliegue determinístico, la ubicación de los nodos sensores está determinada desde el diseño de la aplicación, donde los nodos se instalan manualmente y se le asignan rutas estáticas, como por ejemplo, en aplicaciones industriales, de monitorización de infraestructuras, entre otras aplicaciones de tipo *indoor* o áreas de extensión reducida. En una implantación no determinística, las de redes de sensores inalámbricas tienen la característica de

¹ Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB), Centro de Excelencia y Apropiación en Internet de las Cosas – CEA IoT, Bucaramanga, Colombia, correo: {jrueda526,jtalavera} @unab.edu.co

ser desplegadas en ambientes dinámicos (con muchos eventos), remotos, a veces hostiles y de difícil acceso, donde la presencia de un humano para realizar mantenimiento no es una buena práctica, por esa razón, se necesita que las aplicaciones sean autónomas, evitando al máximo la dependencia de un humano. Para que una red de sensores inalámbrica sea autónoma debe ser autoconfigurable, autocurable, autooptimizable y auto protegible [16]. En los despliegues móviles, los nodos sensores pueden moverse activamente para cubrir áreas de interés, o moverse de forma pasiva por la acción de fuerzas externas, como animales, deslizamiento de tierra o inundaciones.

Los escenarios de aplicación de las redes de sensores inalámbricas son muy variados [17], se puede implementar en la agricultura [18] [19], soluciones biométricas [20], las ciudades inteligentes [21] [22], el control de infraestructuras [23] [24] [25], la domótica [26], los entornos inteligentes, la industria [27], la logística [28], el medio ambiente [29], en temas militares [30], la salud [31] [32], y la seguridad [33] [34].

En los últimos años, junto al crecimiento de los escenarios citados anteriormente, un nuevo paradigma denominado el Internet de las cosas o IoT (por sus siglas en inglés, *Internet of Things*), ha venido tomando relevancia en la industria, la academia y áreas del saber relacionadas con la tecnología. El ITU-T define al Internet de las Cosas como una infraestructura global de la sociedad de la información, que permite ofrecer servicios avanzados mediante la interconexión de objetos (físicos y virtuales) gracias a la interoperabilidad de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) presentes y futuras; y aprovecha las capacidades de identificación, adquisición de datos, procesamiento y comunicación para ofrecer servicios a todos los tipos de aplicaciones garantizando a su vez los requisitos de seguridad y privacidad [35].

Así como ocurre en las aplicaciones para redes de sensores inalámbricas, las aplicaciones del Internet de las Cosas también son muy variadas, entre las que se tiene aplicaciones para la agricultura [36], en las ciudades inteligentes [37], el control de infraestructuras [38], la domótica o casas inteligentes [39], los entornos inteligentes, la industria [40], la logística [41], el medio ambiente [42], soluciones militares [43], en el caso de la salud [44], y seguridad [45].

Como se puede observar, las redes de sensores inalámbricas tienen los mismos escenarios de aplicación que el Internet de las Cosas. Y si se hace una revisión de muchas de las aplicaciones en Internet de las Cosas, se puede observar que estas aplicaciones integran las redes de sensores inalámbricas como parte de sus soluciones.

A partir de esta ambigüedad, el objetivo de este artículo es debatir sobre esta ambigüedad respondiendo a estas preguntas: ¿El Internet de las cosas y las redes de sensores inalámbricas son términos equivalentes?, ¿el Internet de las cosas engloba a las redes de sensores inalámbricas?, o si estas son complementarias o compiten entre sí.

Este escrito tiene como objetivo presentar, analizar y comparar las características propias de las redes de sensores inalámbricas y el Internet de las cosas.

En la sección II, se presentan algunas visiones y definiciones dadas por organizaciones referentes al sector de Internet de las

Cosas y se realiza una comparación con la definición de redes de sensores inalámbricas.

En la sección III, se muestran en términos generales las arquitecturas de Internet de las Cosas y de las redes de sensores inalámbricas, se presentan las características en común entre estas (clasificadas en cuatro capas tomando como referencia un modelo presentado por la ITU-T), se analizan los enfoques y diferencias entre ambas, y finalmente los resultados se condensan en una tabla.

En la sección IV, se comparan los requisitos de aplicación que deben cumplir las implementaciones en redes de sensores inalámbricas y el Internet de las Cosas, y luego de realizar un análisis de estas se muestra la diferencia determinada por la relevancia que tienen esos requisitos tanto para las redes de sensores inalámbricas como para el Internet de las cosas.

En la sección V, se muestran los enfoques que las redes de sensores inalámbricas y el Internet de las Cosas tienen hacia los datos.

Por último, se presentan las respectivas conclusiones a las que se llegó una vez realizado el análisis y comparación entre estos dos conceptos.

II. VISIONES Y DEFINICIONES SOBRE IOT

No existe una definición estandarizada sobre Internet de las cosas, varios investigadores y organizaciones han definido un acercamiento conceptual de su visión de este paradigma. A continuación se presentan algunas definiciones propuestas. Ver Tabla I.

TABLA I
DEFINICIONES PROPUESTAS SOBRE INTERNET DE LAS COSAS

Autor	Año	Definición
CERP-IoT	2009	IoT es una parte integrada de la Internet del futuro y que podría definirse como una infraestructura de red global y dinámica con capacidad de auto-configuración basada en estándares y protocolos de comunicación interoperables, donde "cosas" físicas y virtuales tienen identidades, atributos físicos y personalidades virtuales, usan interfaces inteligentes, y están perfectamente integrados a Internet [46].
CASAGRAS	2009	Una infraestructura de red global, que une los objetos físicos y virtuales a través de la explotación de captura de datos y capacidades de comunicación. Esta infraestructura incluye la evolución de Internet y de redes existentes y en evolución. Ofrecerá objeto de identificación específica, el sensor y la capacidad de conexión como base para el desarrollo de servicios de cooperación independientes y aplicaciones. Estos se caracterizan por un alto grado de autonomía de captura de datos, transferencia de eventos, conectividad de red e interoperabilidad [47].
Gartner	2014	IoT es la red de objetos físicos dedicados (cosas), que contienen tecnología integrada para sentir o interactuar con su estado interno o medio externo. El IoT comprende un ecosistema que incluye las cosas, las comunicaciones, aplicaciones y análisis de datos [48].
GSMA	2014	IoT se refiere a la utilización de los dispositivos y sistemas conectados de forma inteligente para aprovechar los datos recogidos por los sensores y actuadores en máquinas embebidos y otros objetos físicos [49].

Como se puede observar en la Tabla I, la mayoría de los autores presentan al Internet de las Cosas como el Internet del futuro o la evolución del Internet, y la definen como una infraestructura de red global, que une objetos físicos y virtuales, los cuales tienen una identidad propia, con autonomía para recoger datos y la capacidad de comunicarlos.

Retomando la definición de redes de sensores inalámbricas presentada en la introducción de este trabajo, los objetos físicos pueden sentir e interactuar entre ellos, al igual como lo hacen los objetos físicos y virtuales en el Internet de las Cosas. Los nodos sensores se pueden equiparar con estos objetos físicos, ya que estos son los encargados de monitorizar (sentir) condiciones físicas o ambientales. Ver Tabla II.

TABLA II
ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS DE WSN E IoT

Característica	WSN	IoT
Definición estandarizada	Sí	No
Infraestructura de red	Local	Global
Red autónoma	Sí	Sí
Objetos	Físicos	Físicos y virtuales
Análisis de los datos	No	Sí
Identidad de los objetos	Sin identidad	Identidad propia, cada objeto es identificado

También se analizó el número de publicaciones científicas realizadas en estos dos casos. Para ello se usó la herramienta Acemap [50], en el cual se buscaron publicaciones en estos dos campos de estudio. En la figura 1 se puede observar una gráfica con la tendencia de las redes de sensores inalámbricas, como su popularidad a inicios de la década de 2000 hasta llegar a su pico máximo en el año 2010 con más de 15000 publicaciones en este campo de estudio y a partir de allí fue descendiendo aceleradamente, tanto que en un periodo de cinco años llegó a un número menor a las 5000 publicaciones.

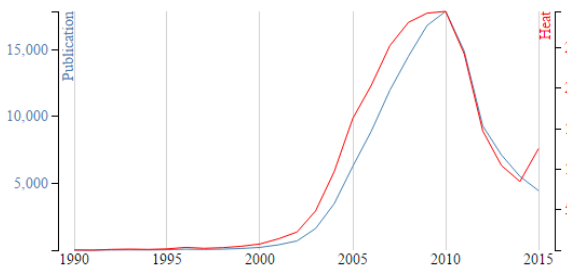


Fig. 1. Desarrollo y tendencias en redes de sensores inalámbricas. Fuente: [62]

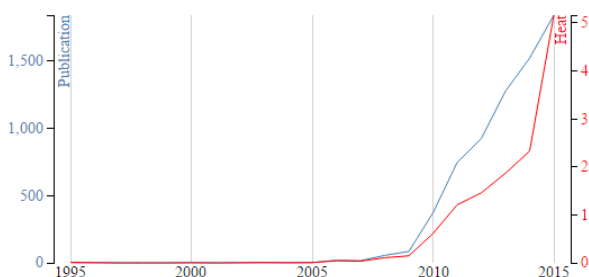


Fig. 2. Desarrollo y tendencias en Internet de las cosas. Fuente: [63]

En la figura 2 también se puede apreciar una gráfica con la tendencia del Internet de las Cosas. Su popularidad comenzó cerca del año 2009, en el 2010 solo contaba con 500 publicaciones, pero su crecimiento ha sido tan acelerado que en el año 2015 este campo de estudio cuenta con más de 15000 publicaciones.

Analizando estas dos gráficas notamos que el año 2010 es un punto de referencia para estos dos campos de estudio. Mientras el furor de las redes de sensores inalámbricas comenzó a descender, el furor del Internet de las Cosas comenzó a subir. A mediados del 2013 notamos que estas tendencias tienen un punto de encuentro. En este contexto, consideramos que el decrecimiento de la popularidad de las redes de sensores inalámbricas no se debe a que se haya dejado de investigar en esta área, sino que éstas redes comenzaron a considerarse como un componente integrante del ecosistema de Internet de las Cosas, y ya no se investiga únicamente a las redes de sensores inalámbricas de forma independiente sino como una de las tecnologías que forman parte del Internet de las Cosas.

III. ARQUITECTURAS

Las redes de sensores inalámbricas y el Internet de las Cosas, como todo sistema, tienen una arquitectura que define cómo es la estructura lógica y física de sus componentes y cómo están interactuando entre sí para lograr el objetivo de dicho sistema.

La *International Telecommunication Union* (ITU-T) define una arquitectura de Internet de las Cosas compuesta de cuatro capas: Capa de aplicación, capa de apoyo a servicios y aplicaciones, capa de red y capa de dispositivo [35]. Pero esta no es la única arquitectura de referencia en Internet de las Cosas, otros investigadores y organizaciones han propuesto sus arquitecturas de referencia entre la que encontramos las propuestas por la European FP7 Research [46], la de la IoT World Forum [51], la de la Industrial Internet Consortium [52], entre otras.

Adicional a las cuatro capas anteriormente mencionadas, esta arquitectura tiene dos módulos transversales, el de gestión y el de seguridad. Esta arquitectura proporciona dos tipos de capacidades en sus módulos, las generales y específicas.

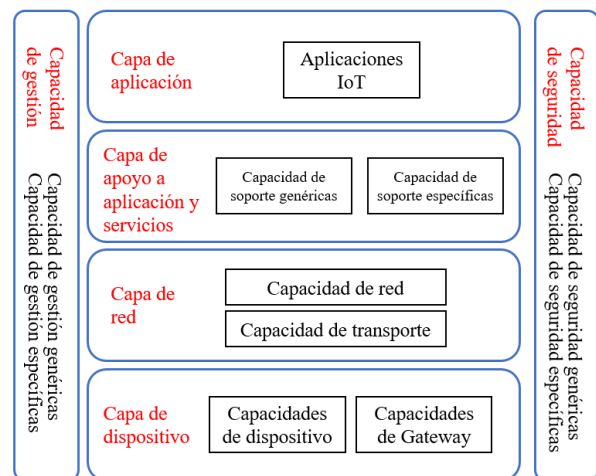


Fig. 3. Modelo de referencia de IoT. Fuente: ITU-T [35].

Las capacidades generales hacen referencia a los requisitos que toda aplicación de Internet de las Cosas debe cumplir, sin importar el escenario en que se implemente (En la sección IV de este trabajo se profundiza más los requisitos genéricos). Las capacidades específicas son aquellos requisitos que tienen una aplicación de Internet de las Cosas en un escenario particular, por ejemplo, una aplicación para seguridad no tiene los mismos requerimientos específicos que una aplicación para salud o agricultura.

Las redes de sensores no tienen una arquitectura compleja. Su arquitectura hace énfasis en la capa de dispositivos o física, y es allí donde se concentra la mayor parte de una aplicación en redes de sensores inalámbricas, ver Figura 4.

Como muestra la figura 4, la mayor parte de la arquitectura se concentra en la capa de dispositivos. Las aplicaciones cuentan con un campo de sensores donde se encuentra los nodos sensores, y el Gateway de campo. Este Gateway es el encargado de recibir los datos enviados por los nodos y reenviarlos a la nube. La nube tiene gran relevancia en aplicaciones de Internet de las cosas, pues este componente soporta una gran infraestructura, con componentes de almacenamiento y analítica, entre otros. Mientras que, comúnmente, la nube en una aplicación de redes de sensores inalámbricos apenas es el canal de comunicación entre la red de sensores y el usuario y su función es permitir la visualización de los datos.

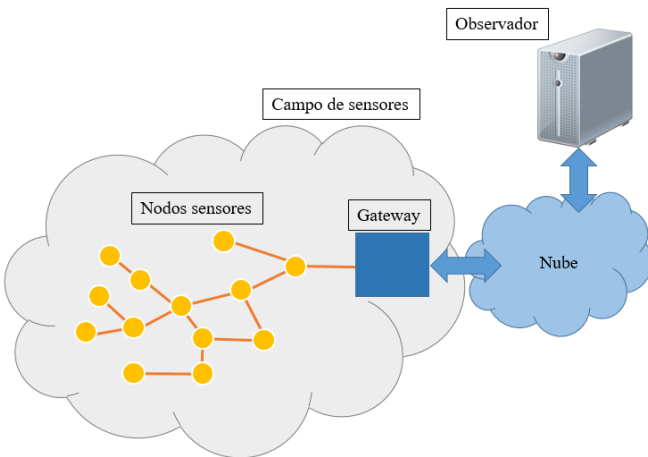


Fig. 4. Arquitectura de una red de sensores inalámbrica. Fuente: Adaptado de [64]

Para el análisis y comparación de las arquitecturas de Internet de las Cosas y redes de sensores inalámbricas se tomó como referencia las cuatro capas de la arquitectura de la ITU-T. En cada capa se presentan características comunes para estos dos conceptos estudiados, y se realiza un análisis donde se determinan las diferencias, enfoques y tecnologías usadas en cada uno de ellos. Cada capa y las características consideradas se muestran a continuación.

Capa de Aplicación. En esta capa se encuentran los componentes propios de cada implementación. Los escenarios son muy variados, agricultura y medio ambiente, ciudades inteligentes, logística, salud, seguridad y vestibles. Pero dependiendo del escenario, la tecnología predominante puede ser las redes de sensores inalámbricas o el Internet de las cosas.

Capa de apoyo a servicios y aplicaciones. En esta capa se tiene en cuenta la infraestructura, dónde se encuentra y la relevancia del middleware.

Capa de red. En esta capa se realiza la agregación de datos, y se encuentran las tecnologías de comunicación, los algoritmos de agregación, enrutamiento y diseminación, de control de topologías y los protocolos de mensajería.

Capa de dispositivos. En esta capa se encuentran los nodos sensores, y se gestiona la identificación de los mismos, las capacidades de hardware que estos tienen y el recurso de energía.

En la Tabla IV se puede apreciar la diferencia entre la arquitectura de una aplicación de red de sensores inalámbrica y la arquitectura de una aplicación en Internet.

IV. REQUISITOS DE APLICACIÓN

Cada tecnología tiene requisitos que debe cumplir toda aplicación desarrollada, con el fin de garantizar la calidad y robustez de las mismas.

Entre los requisitos que debe cumplir una aplicación de redes de sensores inalámbricas están la gestión de la energía y recursos limitados, fundamental para garantizar la vida útil de la solución, ya que en muchos casos estas se implementan en áreas remotas, sin intervención del ser humano salvo para su implantación; la escalabilidad, donde la red debe ser lo suficientemente flexible como para permitir el crecimiento en cualquier lugar y en cualquier momento sin afectar al rendimiento de la red; la movilidad, topologías de red dinámica, heterogeneidad, organización en red, la agregación de datos, la calidad del servicio, la seguridad, la integración con el mundo real y el conocimiento de las aplicaciones [53] [54].

Una aplicación basada en el paradigma de Internet de las Cosas debe cumplir unos requisitos generales, como: (i) la heterogeneidad, para la gestión de la variedad de dispositivos, tecnologías, servicios y ambientes; (ii) la escalabilidad; (iii) la minimización de costos de desarrollo, mantenimiento y consumo de energía; (iv) la autonomía, estas aplicaciones deben ser autoconfigurables, autoorganizables, autoadaptables, con capacidad de autoreacción a los acontecimientos y estímulos, con capacidad de autodescubrimiento de entidades y servicios y (v) el procesamiento de grandes volúmenes de datos [55].

Como se puede observar, los requisitos de aplicación entre las redes de sensores inalámbricas y el Internet de las Cosas son muy similares, la diferencia radica es el grado de relevancia que tiene en cada una de ellas. Ver Tabla III.

TABLA III
REQUISITOS DE APLICACIÓN EN WSN E IoT

Requisitos	WSN	IoT
Gestión de recursos	Media	Alta
Gestión de costos	Media	Alta
Autonomía	Alta	Alta
Escalabilidad	Alta	Alta
Movilidad	Media	Media
Topologías de red dinámica	Alta	Baja
Heterogeneidad	Media	Alta
Organización de red	Alta	Media
Agregación de datos	Alta	Media
Calidad del servicio	Alta	Alta
Seguridad	Media	Alta
Autoprocesamiento de grandes volúmenes de datos	Nula	Alta

TABLA IV
COMPARACIÓN DE LAS ARQUITECTURAS EN WSN E IoT

Capa	WSN		IoT
Aplicación	Agricultura & Medio Ambiente	Es más popular en escenarios donde el área a monitorizar es extensa, como en agricultura, medio ambiente, y ciudades inteligentes.	Es más popular en escenarios como Salud, vestibles, seguridad, y ciudades inteligentes.
	Ciudades inteligentes		
	Logística		
	Salud		
	Seguridad		
	Vestibles		
Apoyo a servicios y aplicaciones	Localización de infraestructura	Mayor parte de su infraestructura se encuentra en la capa de dispositivos	Mayor parte de su infraestructura se encuentra en las capas superiores, uso de Middleware y la nube es fundamental
	Middleware	Orientada a la configuración de la capa de red y dispositivos.	Orientada en soportar toda la infraestructura y ofrecer servicios a la capa de aplicación
Red	Agregación de datos	LEACH, TAG, Directed diffusion entre otros	
	Tecnologías de comunicación inalámbrica	ZigBee, Bluetooth [73], GPRS [74]	ZigBee, LoraWAN, WiFi, 3G/4G
	Topología de red	Mesh, Jerárquica, Estrella	Estrella, punto a punto
	Algoritmos	Agregación TAG, EADAT, AGIT, SRTSD-DA, PEDAP	RPL [72], 6LowPAN [66], IPv6
		Enrutamiento y diseminación CTP, RIME, LEACH, SMENC entre otros	
		Control de topología OGDC, VD, uScan, CEC, Co-Fi, DSS entre otros	
	Protocolos y formatos para el intercambio de mensajes	MQTT-S, SensorML, AMON	Rest [71], CoAP [69], MQTT [68], XMPP [67], XML [65], JSON [70]
Dispositivo	Objetos	Nodos sensores físicos	Nodos físicos y virtuales, y variedad de tecnologías WSN, RFID
	Identificación	Los nodos sensores no son identificados, no es relevante identificar de dónde proviene el dato, sino la medida promedio de toda la red	Cada nodo es identificado, por ello la importancia del IPv6 en IoT
	Capacidades	Capacidad de procesamiento y almacenamiento limitado, alcance de transmisión limitado. Ejemplos de plataformas: Micaz, Sky, TelosB, Iris, Arduino, Intel Galileo	Plataformas con mayor capacidad (hardware), son microcomputadores y de bajo costo (Raspberry Pi 3, Intel Edison).
	Energía	La energía es un tema relevante, los protocolos y tecnologías de comunicación se basan en gestionar eficientemente este recurso.	La energía no es muy relevante ya que la mayoría de sus escenarios cuentan con suministro de energía constante o renovable.
	Sistemas operativos	Contiki, TinyOS, FreeRTOS, Bertha, Nut/OS, CORMOS, eCos, EYESOS, MagnetOS, MANTIS, T-Kernel	Windows 10 IoT Core, LiteOS y basados en Linux: Zephyr, Raspbian, Ubuntu Mate, Google Brillo entre otros.

En la Tabla III se presentan los requisitos de aplicación comunes a estos dos modelos de sistemas distribuidos con el respectivo nivel de relevancia que el requisito tiene en cada una de ellas. La relevancia de cada requisito se representa en cuatro niveles: Alto, media, baja y nula.

La gestión de recursos, de costos y la heterogeneidad es alta en IoT porque su infraestructura es mayor, su ecosistema es más variado en dispositivos, tecnologías y servicios. En ambos campos de estudio la autonomía, escalabilidad y calidad del servicio tienen una alta relevancia en sus aplicaciones.

V. ENFOQUE HACIA LOS DATOS

Hablando del enfoque que estos dos campos de estudio le dan a los datos, las redes de sensores inalámbricas están centradas en los datos, es decir, a sus aplicaciones solo les interesa el dato en sí y no de quién proviene esos datos.

Para una aplicación de Internet de las Cosas los datos tienen un enfoque más relevante que una simple medida de una variable. A esta este tipo de aplicaciones no solo le interesa el dato, también le es relevante conocer de qué nodo sensor proviene. De esta forma, un nodo sensor al detectar un evento crea un mensaje con el valor obtenido de la condición física o

ambiental que está monitorizando y la dirección física del propio sensor.

Por esta razón, para el Internet de las Cosas es de suma importancia el protocolo de Internet versión 6 (IPv6), porque este protocolo soporta un número mayor de nodos direccionales, al incrementar el tamaño de la dirección IP actual (IPv4) de 32 bits a 128 bits y simplifica la autoconfiguración de direcciones [56]. De esta forma se garantiza que cada objeto tenga una dirección que sea identificable con Internet.

Otro punto diferenciador entre las redes de sensores inalámbricas y el Internet de las Cosas es el tratamiento que le hacen a los datos obtenidos por las capas de dispositivos de sus respectivas aplicaciones. Mientras que en una red de sensores inalámbrica se monitorizan las condiciones físicas y ambientales, se recolectan los datos y se comunican con la aplicación, para el Internet de las cosas los datos por sí solos no son tan valiosos como para una red de sensores inalámbrica. Para una aplicación de Internet de las Cosas, aparte de tener una medida, el verdadero valor de los datos radica en el procesamiento y análisis que se pueda realizar a estos. Pasar del dato a la información, luego al conocimiento y llevarlo a un nivel más superior, a la sabiduría [57].

VI. CONCLUSIONES

En este orden de ideas, inicialmente se puede afirmar que las redes de sensores inalámbricas son parte de las comunicaciones en un ecosistema Internet de las Cosas. Los nodos sensores inalámbricas recolectan la información que es transmitida a los demás componentes de una solución de Internet de las Cosas para ser analizada y finalmente usada por las aplicaciones. En [58] [59], se presenta a las redes de sensores inalámbricas como una tecnología fundamental del IoT, junto a otras tecnologías como la RFID, el middleware, la computación en la nube y las aplicaciones de IoT.

Para la IEEE existe una clara diferencia entre las redes de sensores inalámbricas y el Internet de las Cosas. El alcance de las redes de sensores inalámbricas es la recolección coordinada de los datos, mientras que en Internet de las cosas, la identificación única de las cosas y su conexión a Internet es una característica necesaria para que Internet de las Cosas no esté relacionada con las redes de sensores inalámbricas [60].

Otro factor diferenciador entre las redes de sensores inalámbricas y el Internet de las Cosas es la forma como son diseñadas y construidas las aplicaciones, cada uno le da un enfoque diferente.

En cuanto a su construcción, las redes de sensores inalámbricas tienen un enfoque de abajo hacia arriba (*Bottom-Up*), esto se debe a la preocupación que hay por los recursos limitados y de energía que tienen los nodos sensores. De esta forma, para diseñar una aplicación primero se debe resolver estos problemas de las capas de bajo nivel y se va subiendo en las diferentes capas hasta llegar a la capa de aplicación, hasta lograr que la aplicación soporte todos los requisitos de hardware de los nodos sensores.

Por otro lado, como en el caso de Internet de las cosas no existe la misma preocupación hacia el uso de recursos de hardware, las aplicaciones son construidas de arriba hacia abajo (enfoque *Top-Down*), donde primero se piensa en los requerimientos y funcionalidades de la aplicación, luego se construye la arquitectura, y teniendo en cuenta esos factores se definen las características de los dispositivos que estarán en los niveles más bajo de la arquitectura.

Por las razones anteriormente presentadas se puede afirmar que las redes de sensores y el Internet de las cosas son dos campos de estudio concebidos con enfoques diferentes y para resolver problemas diferentes. Sin embargo, teniendo en cuenta sus contrastes, pueden integrarse en un mismo ecosistema, interactuar en una misma aplicación para lograr un mismo fin. En resumen, el Internet de las cosas engloba (integra) a las redes de sensores inalámbricas, así como también integra a otras tecnologías, como es el caso de los sistemas RFID, el middleware y la computación en la nube.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la colaboración de todos los socios dentro del proyecto Centro de Excelencia y Apropiación en Internet de las Cosas (CEA-IoT). Los autores también desean agradecer a todas las instituciones que apoyaron este trabajo: el Ministerio de Tecnología de la Información y Comunicaciones – MinTIC de Colombia y al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias, a través del Fondo Nacional de Financiamiento

para la Ciencia, Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas (ID Proyecto: FP44842-502-2015).

REFERENCIAS

- [1] R. Wesson, F. Hayes-Roth, J. W. Burge, C. Stass y C. A. Sunshine, «Network Structures for Distributed Situation Assessment,» *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 11, n° 1, pp. 5 - 23, 1981.
- [2] C.-Y. Chong, K.-C. Chang y S. Mori, «Distributed Tracking in Distributed Sensor Networks,» de *American Control Conference*, 1986, Seattle, WA, USA, 1986.
- [3] C.-Y. Chong, S. Mori y K. Chang, «Information fusion in distributed sensor networks,» de *American Control Conference*, Boston, MA, 1985.
- [4] C. Chong, S. Mori, E. Tse y R. Wishner, «Distributed Estimation in Distributed Sensor Networks,» de *American Control Conference*, 1982, Arlington, VA, USA, 1982.
- [5] International Telecommunication Union, «Serie Y.2121: Requirements for support of ubiquitous sensor network (USN) applications and services in the NGN environment,» Telecommunication Standardization Sector of ITU, 2010.
- [6] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam y E. Cayirci, «Wireless sensor networks: a survey,» *Computer Networks*, vol. 38, pp. 393-422, 2002.
- [7] X. Chen, X. Wang y X. Chen, «Energy-Efficient Optimization for Wireless Information and Power Transfer in Large-Scale MIMO Systems Employing Energy Beamforming,» *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 2, n° 6, pp. 667 - 670, 2013.
- [8] M. Magno, D. Boyle, D. Brunelli y E. Popovici, «Ensuring Survivability of Resource-Intensive Sensor Networks Through Ultra-Low Power Overlays,» *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, n° 2, pp. 946 - 956, 2014.
- [9] H. Zainol Abidin, N. M. Din y Y. E. Jalil, «Multi-objective Optimization (MOO) approach for sensor node placement in WSN,» de *7th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS)*, Carrara, VIC, 2013.
- [10] G. Jayamurugan y P. Kamalakkannan, «Position-based Key Sharing with Higher Connectivity and Multivariate Optimized Resource Consumption in WSN,» *Indian Journal of Science & Technology*, vol. 8, n° 35, pp. 1-9, 2015.
- [11] «Restoring connectivity in a resource constrained WSN,» *Journal of Network and Computer Applications*, p. 151-165, 2016.
- [12] LoRa Alliance, «A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™,» Technical Marketing Workgroup 1.0, 2015.
- [13] ZigBee Alliance, «The ZigBee Alliance,» [En línea]. Available: <http://www.zigbee.org/>.
- [14] IEEE, «IEEE 802.15.4 Part 15.4: Wireless Medium Access Part 15.4: Wireless Medium Access Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs),» IEEE Computer Society, New York, USA, 2003.
- [15] S. Kumar Singh, M. P. Singh y D. Singh, «Routing Protocols in Wireless Sensor Networks – A Survey,» *International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCES)*, vol. 1, n° 2, pp. 63-83, 2010.
- [16] J. M. Portocarrero, F. C. Delicato, P. P. F., N. Gámez, L. Fuentes, D. Ludovino y P. Ferreira, «Autonomic Wireless Sensor Networks: A Systematic Literature Review,» *Journal of Sensors*, vol. 2014, pp. 1-13, 2014.
- [17] International Telecommunication Union, «Serie Y.2000: Applications of Wireless Sensor Networks in Next Generation Networks,» Telecommunication Standardization Sector, 2014, 2014.
- [18] S. M. Abd El-kader y B. M. Mohammad El-Basioni, «Precision farming solution in Egypt using the wireless sensor network technology,» *Egyptian Informatics Journal*, vol. 14, n° 3, p. 221-233, 2013.
- [19] Aqeel-ur-Rehman, A. Z. Abbasi, N. Islam y Z. Ahmed Shaikh, «A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture,» *Computer Standards & Interfaces*, vol. 36, n° 2, p. 263-270, 2014.

- [20] B. M. Mohammad El-Basioni, S. M. Abd El-kader y M. Abdelmonim Fakhredin, «Smart Home Design using Wireless Sensor Network and Biometric Technologies,» *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM)*, vol. 2, n° 3, 2013.
- [21] N. Mitton, S. Papavassiliou, A. Puliafito y K. S. Trivedi, «Combining Cloud and sensors in a smart city environment,» *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, pp. 1-10, 2012.
- [22] J. Chinrungrueng, U. Sunantachaikul y S. Triamlumlerd, «Smart Parking: An Application of Optical Wireless Sensor Network,» de *International Symposium on Applications and the Internet Workshops, 2007. SAINT Workshops 2007.*, Hiroshima, 2007.
- [23] N. Xu, S. Rangwala, K. Kant Chintalapudi, D. Ganesan, A. Broad, R. Govindan y D. Estrin, «A wireless sensor network For structural monitoring,» de *SenSys '04 Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems*, New York, USA, 2004.
- [24] S. Pakzad, G. Fenves, S. Kim y D. Culler, «Design and Implementation of Scalable Wireless Sensor Network for Structural Monitoring,» *Journal of Infrastructure Systems*, vol. 14, 2008.
- [25] T. Torfs, T. Sterken, S. Brebels, J. Santana, R. van den Hoven, V. Spiering, N. Bertsch, D. Trapani y D. Zonta, «Low Power Wireless Sensor Network for Building Monitoring,» *IEEE Sensors Journal*, vol. 13, n° 3, pp. 909 - 915, 2013.
- [26] M. Li y H.-J. Lin, «Design and Implementation of Smart Home Control Systems Based on Wireless Sensor Networks and Power Line Communications,» *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 62, n° 7, pp. 4430 - 4442, 2015.
- [27] J. Yang, J. Zhou, Z. Lv, W. Wei y H. Song, «A Real-Time Monitoring System of Industry Carbon Monoxide Based on Wireless Sensor Networks,» *Sensors*, vol. 15, n° 11, 2015.
- [28] J. Wang, H. Wang, J. He, L. Li, M. Shen, X. Tan, H. Min y L. Zheng, «Wireless sensor network for real-time perishable food supply chain management,» *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 110, p. 196–207, 2015.
- [29] F. M. Al-Turjman, H. S. Hassanein y M. A. Ibnkahlab, «Efficient deployment of wireless sensor networks targeting environment monitoring applications,» *Computer Communications*, vol. 36, n° 1, p. 135–148, 2013.
- [30] M. Pejanović Đuričić, Z. Tafa, G. Dimić y V. Milutinović, «A survey of military applications of wireless sensor networks,» de *Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, Bar, 2012.
- [31] X. Yu, P. Weller y K. Grattan, «A WSN healthcare monitoring system for elderly people in geriatric facilities,» *Digital Healthcare Empowering Europeans*, 2015.
- [32] L. Catarinucci, D. De Donno, L. Mainetti, L. Palano y L. Patrono, «Integration of UHF RFID and WSN technologies in healthcare systems,» de *RFID Technology and Applications Conference (RFID-TA)*, IEEE, Tampere, 2014.
- [33] A. Somov, A. Baranov, D. Spirjakin, A. Spirjakin, V. Sleptsov y R. Passerone, «Deployment and evaluation of a wireless sensor network for methane leak detection,» *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 202, p. 217–225, 2013.
- [34] X. Niu, X. Huang, Z. Zhao, Y. Zhang, C. Huang y L. Cui, «The Design and Evaluation of a Wireless Sensor Network for Mine Safety Monitoring,» de *IEEE GLOBECOM 2007 - IEEE Global Telecommunications Conference*, Washington, DC, 2007.
- [35] International Telecommunication Union, «Series Y: Global Information Infrastructure, Internet Protocol Aspects and Next-Generation Networks (Y.2060),» Telecommunication Standardization Sector of ITU, 2012.
- [36] F. Zhang, «Research on Applications of Internet of Things in Agriculture,» de *Informatics and Management Science VI*, 2013, pp. 69-75.
- [37] L. Sánchez, L. Muñoz, J. A. Galache, P. Sotres, J. R. Santana, V. Gutierrez, R. Ramdhany, A. Gluhak, S. Krco, E. Theodoridis y D. Pfisterer, «SmartSantander: IoT experimentation over a smart city testbed,» *Computer Networks*, vol. 61, p. 217–238, 2014.
- [38] L. Ding, Z. C., Q. Deng, H. B. Luo, Y. X. W., Y. Q. Ni y P. Guo, «Real-time safety early warning system for cross passage construction in Yangtze Riverbed Metro Tunnel based on the internet of things,» *Automation in Construction*, vol. 36, p. 25–37, 2013.
- [39] R. Piyare, «Internet of Things: Ubiquitous Home Control and Monitoring System using Android based Smart Phone,» *International Journal of Internet of Things*, vol. 2, n° 1, pp. 5-11, 2013.
- [40] L. Da Xu, W. He y S. Li, «Internet of Things in Industries: A Survey,» *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, n° 4, pp. 2233 - 2243, 2014.
- [41] J. Jiang y K. Su, «Management Platform Architecture of Modern Tobacco Logistics Based on Internet of Things Technologies,» de *LISS 2012*, 2013, pp. 1403-1409.
- [42] F. Lao y G. Xin Li, «The Design and Implementation of Crop Growing Environment Monitoring System Based on the Internet of Things,» *Advanced Materials Research*, Vols. %1 de %2912-914, pp. 1440-1443, 2014.
- [43] Z. Kang-yi, A. Zhi-gang, T. Chang-chun, B. Heng-guang y F. Go, «Application of Internet of Things in Military,» *Internet of Things Technologies*, 2012.
- [44] F. Hu, D. Xie y S. Shen, «On the Application of the Internet of Things in the Field of Medical and Health Care,» de *Green Computing and Communications (GreenCom), 2013 IEEE and Internet of Things (iThings/CPSCoM), IEEE International Conference on and IEEE Cyber, Physical and Social Computing*, Beijing, 2013.
- [45] C. Du y S. Zhu, «Research on Urban Public Safety Emergency Management Early Warning System based on Technologies for the Internet of Things,» *Procedia Engineering*, vol. 45, pp. 748-754, 2012.
- [46] CERP-IoT, «Internet of Thing. Strategic Research Roadmap,» 2009.
- [47] CASAGRAS, «RFID and tje Inclusive Model for the Internet of Things,» 2009.
- [48] Gartner, «The Internet of Things and Related Definitions,» 2014.
- [49] GSMA, «Understanding the Internet of Things (IoT),» GSMA Head Office, New Fetter Lane, London, UK, 2014.
- [50] Acemap Inc, «Acemap. Academic Paper Recommendation,» Shanghai Jiao Tong University, 2016. [En línea]. Available: <http://acemap.sjtu.edu.cn/>.
- [51] IoT World Forum, «IoT Reference Model Whitepaper,» 2014.
- [52] Industrial Internet Consortium, «Industrial Internet Reference Architecture,» 2015.
- [53] S. Hadim y N. Mohamed, «Middleware for Wireless Sensor Networks: A Survey,» de *1st International Conference on Communication Systems Software & Middleware*, New Delhi, 2006.
- [54] S. Hadim y N. Mohamed, «Middleware: Middleware Challenges and Approaches for Wireless Sensor Networks,» *IEEE Distributed Systems Online*, vol. 7, n° 3, pp. 1-23, 2006.
- [55] E. Borgia, «The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues,» *Computer Communications*, p. 1–31, 2014.
- [56] S. Deering y R. Hinden, «RFC 2460: Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification,» Network Working Group, 1998.
- [57] B. Bosančić, «Information in the Knowledge Acquisition Process,» *Journal of Documentation*, 2016.
- [58] I. Lee y K. Lee, «The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises,» *Business Horizons*, vol. 58, p. 431—440, 2015.
- [59] H. B. Pandya y T. A. Champaneria, «Internet of things: Survey and case studies,» de *International Conference on Electrical, Electronics, Signals, Communication and Optimization (EESCO)*, 2015, Visakhapatnam, 2015.
- [60] IEEE, «Towards a Definition of the Internet of Things (IoT),» IEEE Internet of Things, 2015.
- [61] CERP-IoT: Cluster of European Research Projects on the Internet of Things, «Vision and Challenges for Realising the Internet of Things,» European Commission - Information Society and Media DG, Brussels, 2010.
- [62] Acemap Inc, «Development and Trends on Wireless Sensor Network,» Shanghai Jiao Tong University, Julio 2016. [En línea]. Available: <http://acemap.sjtu.edu.cn/topic/topicpage?topicID=017737EA>. [Último acceso: Julio 2016].

- [63] Acemap Inc., «Development and Trends on Internet of Things,» Shanghai Jiao Tong University, Julio 2016. [En línea]. Available: <http://acemap.sjtu.edu.cn/topic/topicpage?topicID=04E11757>. [Último acceso: Julio 2016].
- [64] International Electrotechnical Commission, «Internet of Thing: Wireless Sensor Networks,» Wireless Sensor Networks Project Team, Geneva, Switzerland.
- [65] W3C, «Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition),» 2008.
- [66] N. Kushalnagar, G. Montenegro y C. Schumacher, «RFC 4919: IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPANs): Overview, Assumptions, Problem Statement, and Goals,» Network Working Group, 2007.
- [67] P. Saint-Andre, «RFC 6120: Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP): Core,» Internet Engineering Task Force (IETF), 2011.
- [68] International Organization for Standardization, «ISO/IEC 20922:2016 - Information technology -- Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) v3.1.1,» 2010.
- [69] Z. Shelby, K. Hartke y C. Bormann, «RFC 7250: The Constrained Application Protocol (CoAP),» Internet Engineering Task Force (IETF), 2014.
- [70] T. Bray, «RFC 7159: The JavaScript Object Notation (JSON) Data Interchange Format,» Internet Engineering Task Force (IETF), 2014.
- [71] W3C, «REST,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.w3.org/2001/sw/wiki/REST>.
- [72] P. Thubert, A. Brandt, J. Hui, R. Kelsey, P. Levis, K. Pister, R. Struik, J. Vasseur y R. Alexander, «RFC 6550: RPL: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks,» Internet Engineering Task Force (IETF), 2012.



Johan Smith Rueda Rueda. Asistente investigador del Centro de Excelencia y Apropiación en Internet de las Cosas, CEA-IoT. Estudiante de maestría en telemática en la Universidad Autónoma de Bucaramanga - UNAB. Recibió su título en ingeniería de Sistemas de la Universidad Francisco de Paula Santander – Ocaña, (2015).



Jesús Martín Talavera Portocarrero. Investigador postdoctoral en el Centro de Excelencia y Apropiación en Internet de las Cosas (CEA-IoT). Doctor en Informática, Universidad Federal de Rio de Janeiro (2016), RJ-Brasil. Magister en Ciencia de la Computación, Universidad Federal de Sao Carlos (2010), SP-Brasil. Ingeniero de Sistemas, Universidad Católica de Santa María (2006), Perú.