

INTERNET DE LAS COSAS: EL FUTURO CERCANO





CRISTINA ALBALADEJO

Profesora Asociada en el Departamento de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones de la Facultad de Informática de la Universidad de Murcia. Doctora en Telecomunicaciones por la Universidad Politécnica de Cartagena en 2012. De su actividad investigadora se destaca la dedicación a redes de inalámbricas de sensores desde el año 2007, y actualmente orientada a proyectos en el ámbito de Internet de las Cosas (IoT).
cristina.aperez@um.es



MIGUEL A. ZAMORA

Obtuvo el título de Ingeniero Industrial por la Universidad de Murcia en 1996 y el de Doctor Ingeniero Industrial en 2003 por la misma Universidad. Su investigación se ha centrado en el campo de la fusión e integración sensorial, así como el estudio de las arquitecturas de comunicaciones, abarcando distintos campos de aplicación, principalmente en los sistemas de transporte inteligente (ITS), infraestructuras, telemedicina, y en general en los sistemas de monitorización y control.
mzamora@um.es



ANTONIO SKARMETA

Doctor en Informática por la Universidad de Murcia en el año 1995 y Catedrático e Ingeniería Telemática desde el año 2009. Es autor de más de 100 publicaciones en revistas internacionales, 200 artículos en congresos y ha sido investigador principal de más de 15 proyectos europeos, y ha dirigido 20 tesis de Doctorado. Su campo de investigación principal se centra en Internet de las Cosas (IoT) y en especial en seguridad y privacidad en las comunicaciones para IoT.
skarmeta@um.es

La tecnología e Internet son grandes aliados en la evolución que han experimentado a lo largo de los años, ya que las mejoras en el ámbito tecnológico se nutren de los avances realizados en el mundo de Internet y viceversa. Tales avances nos han llevado a lo que hoy en día se conoce como Internet de las cosas (*Internet of Things*, en adelante IoT). Existen múltiples definiciones para este concepto, una de las más reconocidas se sitúa en el año 2009 en el Cluster of *European Research Projects*: “Una infraestructura de red global y dinámica con capacidad de auto configuración basada en protocolos de comunicación estandarizados e interoperables donde las cosas (*things*) físicas y virtuales tienen identidades, atributos físicos, personalidad virtual, y haciendo uso de interfaces inteligentes se integran perfectamente en la red de información”. O en pocas palabras, IoT persigue la conexión de todo objeto

o *thing* conectado a la nube y la interacción entre ellos. Cualquier dispositivo tecnológico que se pueda dotar de esta tecnología se podrá conectar a la red y actuar sobre ellos obteniendo así un entorno inteligente y más cómodo para el ciudadano.

IoT ha sido el nacimiento de una nueva era tecnológica en el ámbito de Internet. En torno a ello han ido surgiendo otros conceptos y arquitecturas [1]. Lo que hoy en día está muy extendido es el poder disponer de nuestra información en cualquier lugar y en cualquier momento gracias “a la nube”. Tenemos nuestros datos en plataformas que permiten almacenarlos en la nube y podemos acceder a ellos desde cualquier sitio con acceso a Internet. Es lo que se conoce como *Cloud Computing*, toda la información se centraliza en la nube.





Debido al crecimiento que está teniendo el ámbito de IoT, se buscan alternativas para que no recaiga todo el procesamiento y manejo de los datos en la nube. Es entonces donde podemos introducir el concepto de *Fog Computing* [2]. Haciendo una comparación entre *Cloud* y *Fog* con sus términos en español, nube y niebla, la niebla se plantea como un concepto más cercano a los dispositivos mientras que las nubes están más alejadas. La principal diferencia se basa en que en el primer concepto la nube se encarga del procesamiento completo de la información mientras que en la niebla, ese procesamiento se lleva al borde de la red estando repartido entre los propios dispositivos, y enviando a la nube la información ya procesada.

El término IoT está intrínsecamente ligado al concepto de heterogeneidad. Hay gran cantidad de dominios de aplicaciones de IoT y para cada uno de ellos se necesita una aplicación específica y con unos requisitos predefinidos relacionados con las características de los dispositivos, la tecnología de comunicación y su propia funcionalidad.

En los últimos años y en beneficio de la interoperabilidad en IoT, la Unión Europea ha dedicado esfuerzos en varios proyectos fundados en el programa FP7. Especialmente, el proyecto *IoT-Architecture* (IoT-A) que comenzó en 2010 para desarrollar una arquitectura de referencia, y finalmente en 2012 publicar el *Architectural Reference Model* (IoT-ARM) [3]. En 2015 la Comisión Europea lanza la Alianza para la Innovación en Internet de las Cosas (AIOTI, *Alliance for Internet of Things Innovation*) para crear y estandarizar el ecosistema IoT en Europa.

SENSORES Y ACTUADORES

Un papel imprescindible en las aplicaciones de IoT son los sensores y actuadores. Los sensores son los encargados de recoger las condiciones del entorno en un contexto determinado y en-

viar esa información a la nube. Además, en función de esa información se podrán realizar acciones sobre otros dispositivos de dicho entorno.

Encontramos multitud de sensores en función del ámbito de aplicación. Los más utilizados los encontramos por ejemplo en aplicaciones *Health* para monitorizar el estado de los pacientes en tiempo real mediante *wearables*; aplicaciones *fitness* para guiar al usuario en su estado físico durante una actividad deportiva; sensores de parámetros ambientales para asegurar la calidad de un entorno definido, ya sea abierto o un edificio; entre otras.

Siguiendo en la línea de sensores utilizados para IoT cabe destacar el importante rol que tienen los *smartphones*, y es que pueden incorporar varios sensores embebidos [4]. Un acelerómetro que permite detectar actividades físicas del usuario tales como caminar, correr o montar en bicicleta. El giroscopio es utilizado por las aplicaciones móviles para detectar la orientación de la pantalla y así realizar los ajustes de visualización requeridos. Un sensor de luz que permite al dispositivo detectar la intensidad de la luz ambiental y ajustar el brillo de la pantalla, y puede ser usado además por aplicaciones para el control lumínico en una habitación. Incluye también un sensor de proximidad usado por ejemplo para determinar cuando el *smartphone* está junto a la cara mientras hablamos y controlar el encendido/apagado de la pantalla para optimizar el uso de la batería. Otros sensores que pueden incorporar los *smartphones* son GPS, cámara, micrófono, sensor de temperatura, sensor de humedad, magnetómetro y barómetro.

Todos estos sensores pueden ser utilizados en combinación por complejas aplicaciones; por ejemplo, para monitorizar en tiempo real la localización, entorno habitual y actividad de una persona. La finalidad es poder contestar preguntas tales como *where are you?*, *what is you?*, *what are you doing?*, *how are you feeling?*, *who are you with?*, *what is happening?*

Es habitual que la información en bruto recolectada por los sensores sea enviada a la nube

donde puede ser procesada y almacenada, estando disponible al usuario final. Pero hay aplicaciones cuyo requisito es disponer de una arquitectura distribuida en vez de tener todo centralizado en la nube. Éstas son aplicaciones que requieren un procesamiento de datos en tiempo real sin permitir las latencias que se pueden obtener de un procesamiento en la nube.

Otra importante limitación está en el consumo de los dispositivos al realizar la comunicación con la nube. Puesto que, en general, se trata de dispositivos de bajo consumo y alimentados mediante baterías, se hace necesario optimizar la vida útil de éstas y por tanto limitar el número de conexiones con la nube. Por todo ello, este tipo de aplicaciones tienden al concepto anteriormente citado *Fog Computing*, procesando parte de la información en el borde de la red y enviando únicamente lo imprescindible a la nube.

ARQUITECTURA Y COMUNICACIONES IoT

Con la aparición del concepto IoT se hace inevitable la pregunta ¿es posible conectar millones de dispositivos a Internet con la tecnología actual? Es aquí cuando podemos hablar del estándar actual de comunicaciones en Internet, el protocolo IPv4. La principal limitación de IPv4 se encuentra en el escaso espacio de direcciones disponibles. Teniendo en cuenta este aspecto, junto con otras mejoras realizadas como la modificación de la cabecera IPv4, eliminando los campos redundantes y modificando otros, eliminando las opciones pasando a tratarse como cabeceras de extensión en el nuevo estándar, y la implementación de movilidad IP, con todo ello el IETF (*Internet Engineering Task Force*) creó un nuevo estándar IPv6 que diese soporte a IoT [5].

Los dispositivos IoT se conectan a Internet a través del protocolo IP (*Internet Protocol*), por lo que éste es imprescindible para su funciona-



miento. Pero estos dispositivos tienen algunas limitaciones como la energética ya que se alimentan mediante baterías, y los escasos recursos para el procesamiento y almacenamiento de información. Debido a dichas limitaciones un dispositivo IoT puede conectarse a redes no-IP en las que el consumo energético debido a las comunicaciones será menor. En ese caso, es necesaria en dicha red la presencia de un *gateway* con mayores recursos energéticos y de procesamiento que se encargue de recibir la información vía no-IP de los dispositivos IoT, y enviarla a Internet.

En lado de los dispositivos IoT existen diferentes protocolos que permiten el intercambio de información entre ellos y las plataformas de datos que gestionan. Para ello además, debido a la heterogeneidad de los dispositivos sensores, es necesaria la existencia de un *middleware* que haga posible la comunicación con la nube.

De los protocolos de aplicación dedicados a la comunicación de dispositivos IoT haciendo uso de IP cabe destacar CoAP (*Constrained Application Protocol*) lanzado en 2013 por IETF, y MQTT

(*MQ Telemetry Transport*) desarrollado por IBM. CoAP es un protocolo especializado para el uso de nodos inalámbricos con recursos limitados y baja potencia que pueden comunicarse de forma interactiva a través de Internet, su modelo de interacción cliente/servidor es similar al de HTTP con la diferencia que CoAP realiza estas interacciones de forma asíncrona por medio del protocolo de transporte UDP. Y MQTT es un protocolo de publicación/suscripción ligero que usa como protocolo de transporte TCP.

APLICACIONES EN EL ÁMBITO IoT

Actualmente hay numerosos ámbitos en los que las aplicaciones IoT pueden ser potencialmente utilizadas, algunos de ellos aún en estudio pero éstos indican que mejorarán notablemente a la sociedad. La Figura 1 muestra diferentes ámbitos de aplicaciones IoT tales como en smart cities, agricultura, ámbito industrial, ámbito médico, transporte, entre otras.

Con la llegada de IoT a las ciudades se espera que éstas se conviertan en inteligentes favoreciendo un desarrollo sostenible y mejorando nuestra calidad de vida. Son varios los aspectos que se podemos encontrar dentro de una ciudad inteligente. Uno de ellos por ejemplo relacionado con el ahorro energético: el alumbrado inteligente ayudará a reducir el consumo y de forma implícita se reduciría el consumo de los recursos naturales y las emisiones de CO₂. Otro ejemplo de interés es la monitorización de la movilidad y el transporte en las ciudades. Teniendo el conocimiento del estado del tráfico mediante sensores y dispositivos conectados a la nube, posibles retenciones o incluso accesos cortados, se puede informar al ciudadano de alternativas facilitando así la movilidad de estos.

Dentro del ámbito de las smart cities la eficiencia energética en hogares y edificios es un factor determinante. Los dispositivos sensores más comunes para el control de presencia de personas en edificios son sensores RFID en tarjetas únicas para cada persona. Otros dispositivos útiles son sensores que indican cuándo las ventanas están abiertas, cuándo las luces están encendidas, la activación del aire acondicionado, cámaras de vídeo con capacidad para detectar humanos, sensores de las condiciones del entorno, etc. Con la combinación de estos sistemas y mediante el control de actuadores se consigue optimizar el consumo energético en interiores. Aplicaciones como las que se muestran en la Figura 2 permiten el control de espacios inteligentes pudiendo establecer valores consigna para el funcionamiento autónomo del sistema. En el ejemplo de la Figura 2 se realiza el control climático en interiores, utilizando sensores de temperatura en los distintos espacios que permiten conocer la temperatura en tiempo real, y además el sistema tiene en cuenta la temperatura exterior. Con este tipo de sistemas se garantiza una estancia confortable a la vez que se optimizan los recursos energéticos.

La agricultura es otro de los ámbitos susceptibles de la implantación de nuevas tecnologías basadas en IoT. Esto permite por ejemplo la automatización del riego en función del estado hídrico del suelo en cada momento. No solo utilizando

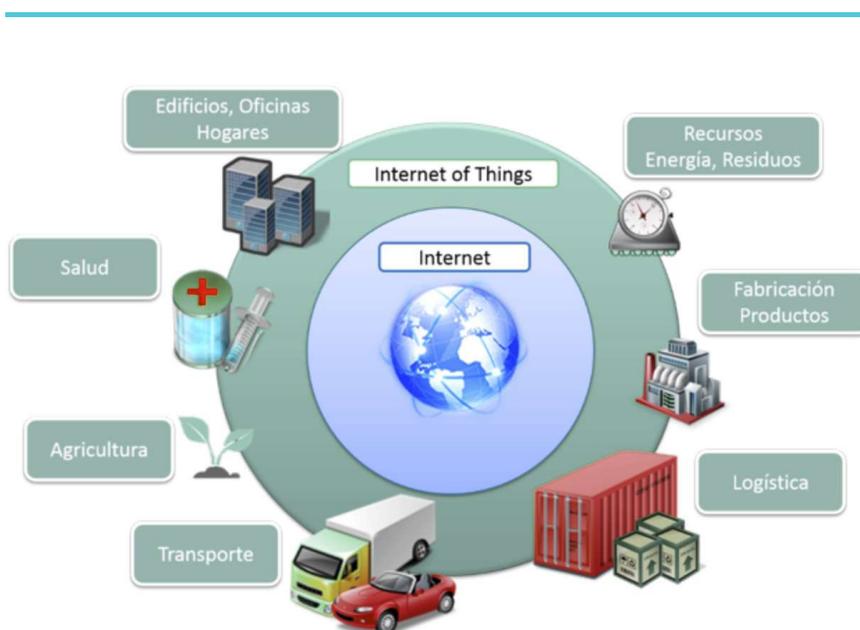


FIGURA 1.
APLICACIONES IoT.



FIGURA 2.
SMART BUILDING.

sensores instalados en ubicaciones estratégicas y representativas del cultivo, sino realizando también mediciones de parámetros ambientales. Esta información es proporcionada al sistema para que sea capaz de realizar un riego inteligente. Con este tipo de aplicaciones, además del ahorro de agua se consigue una mayor calidad del fruto, ya que se riega únicamente lo que la planta necesita y en el momento justo. Citar también la importancia de este tipo de sistemas en invernadero, en los que influyen, además del estado del suelo y la planta, los parámetros ambientales tanto del interior como del exterior del invernadero.

El tercer y último ámbito destacado en este artículo sobre aplicaciones IoT es la monitorización

del estado de una persona. La disposición de sensores en el cuerpo del paciente mediante *wearables* va a permitir a los médicos realizar un seguimiento diario del estado de ciertos pacientes. Ante cualquier anomalía detectada por el sistema se alerta al médico para que pueda actuar en consecuencia. Con esto se garantiza la tranquilidad del paciente ya que está siendo monitorizado y cuidado en todo momento, y un tiempo de respuesta menor ante un posible despliegue médico a realizar. Estos *wearables* permiten también aplicaciones muy utilizadas en el sector *fitness* para el seguimiento de una actividad física en la que puede ir consultando su estado.

A lo largo de estos últimos años se ha potenciado el desarrollo de este tipo de aplicaciones gracias también a la existencia de plataformas y aceleradoras que fomentan su uso. En 2011 surgió de la colaboración público-privada entre grandes empresas del sector TIC y la Comisión Europea. Así la Unión Europea impulsó y financió la plataforma FIWARE con el objetivo de favorecer el desarrollo y despliegue global de aplicaciones IoT [6]. Para ello nació el programa *FIWARE Accelerator* con aceleradoras de diferentes ámbitos entre los que se encuentran smart cities, eHealth, transporte y energía. Esto a su vez fomenta el emprendimiento en las nuevas tecnologías generando un gran crecimiento del sector.

CONCLUSIONES

IOT ES UN SECTOR EN CRECIMIENTO CON LA CONTINUA APARICIÓN DE NUEVOS CONCEPTOS. UNO DE LOS MÁS RECIENTES ES EL PARADIGMA SOCIAL IOT (SIOT) QUE NACE CON EL OBJETIVO DE MEJORAR LA EFICIENCIA DE LAS SOLUCIONES SOCIALES HACIENDO USO DE SENSORES DISTRIBUIDOS Y OTROS DISPOSITIVOS CONECTADOS. SE TRATA DE LA CONVERGENCIA ENTRE IOT Y EL PARADIGMA DE SOCIAL NETWORKING PARA LA CREACIÓN DE REDES SOCIALES EN LAS QUE LAS THINGS SON NODOS QUE ESTABLECEN VÍNCULOS SOCIALES.

LAS PLATAFORMAS DE SENSORES IOT ENVÍAN LOS DATOS A LA NUBE PERO ESTA INFORMACIÓN NECESITA SER EXPLOTADA POR TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO MASIVO (BIG DATA), Y MEDIANTE LA APLICACIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL, SOFT COMPUTING Y TÉCNICAS DE DATA MINING. EL CRUCE DE INFORMACIÓN DE LOS SENSORES IOT JUNTO CON LAS TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO APLICADAS EN LA NUBE PERSIGUE ESTABLECER RELACIONES DE INTERÉS, QUE PUEDEN SER MODELADAS PARA ANTICIPAR Y RESPONDER DE FORMA EFICIENTE ANTE CIERTOS EVENTOS.

LA PROYECCIÓN DEL SECTOR TECNOLÓGICO APLICADO A LAS IOT JUNTO CON LAS TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS EN LA NUBE BIG DATA ESTÁ EN AUJE POR LO QUE SE PREVÉ QUE PARA LOS PRÓXIMOS AÑOS SIGAN APLICÁNDOSE MUCHAS DE LAS APLICACIONES ACTUALMENTE EN DESARROLLO. ■

AGRADECIMIENTOS

EL PRESENTE TRABAJO SE HA REALIZADO GRACIAS AL PROYECTO EUROPEO LIFE DRAINUSE (LIFE14 ENV/ES/000538) Y AL PROYECTO NACIONAL CICYT EDISON (TIN2014-52099-R) SUBVENCIONADO POR EL MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD DE ESPAÑA (INCLUYENDO FONDOS FEDER).

REFERENCIAS

- [1] Michael Weyrich and Christof Ebert. "Reference architectures for the Internet of Things", IEEE Software, 33, 112-116, 2016.
- [2] Ivan Stojmenovic and Sheng Wen. "The fog computing paradigm: Scenarios and security issues", Computer Science and Information Systems, 1-8, 2014.
- [3] IoT-A ARM Booklet. "Introduction to the Architectural Reference Model for the Internet of Things", 2014.
- [4] Nicholas D. Lane, Emiliano Miluzzo, Hong Lu, Daniel Peebles, Tanzeem Choudhury, and Andrew T Campbell. "A survey of mobile phone sensing", Communications Magazine, IEEE, 48, 140-150, 2010.
- [5] A. J. Jara, L. Ladid and A. Skarmeta. "The Internet of Everything through IPv6: An Analysis of Challenges, Solutions and Opportunities", Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications, volume 4, 3, 97-118, 2013.
- [6] FIWARE: <https://www.fiware.org>