

La asignatura “Internet de las Cosas” en el master DATCOM de la UGR

M. Damas¹, F. Gómez¹, S. Moreno¹, C. Bailón¹, A. Olivares²

1) Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores. ETSI Informática y de Telecomunicación. Universidad de Granada.

{mdamas, frgomez}@ugr.es, {smoreno94, cbailon37}@correo.ugr.es

2) Nazaries Information Technologies S.L. (<http://www.nazaries.com>)
alberto.olivares@nazaries.com

Resumen. En este artículo se presenta tanto la motivación como la metodología docente de la asignatura Internet de las Cosas, una optativa que se imparte en la ETSIIT de Granada dentro del módulo de “Sistemas de Aplicaciones Específicas” de la especialidad en Ingeniería de Computadores y Redes del Master de Ciencia de Datos e Ingeniería de Computadores (DATCOM) de la Universidad de Granada. Se pretende con ello justificar la inclusión de esta asignatura en el master DATCOM y su vinculación con el resto de asignaturas impartidas en dichos estudios de posgrado. Concretamente, en este trabajo se muestra que hay detrás del concepto de Internet de las Cosas y por qué precisamente ahora se ha convertido en una verdadera revolución, también cómo se ha organizado la asignatura para lograr los objetivos propuestos en la guía docente, así como la metodología y herramientas que se van a utilizar, y finalmente se indican las principales conclusiones del trabajo.

Palabras Clave: Internet de las Cosa, Computación física, Ciencia de Datos, Cloud Computing, Ingeniería de Computadores.

Abstract. This paper shows the motivation and teaching methodology of the elective course 'Internet of Things', which is imparted in the ETSIIT of Granada within the Specific Application Systems module of the Computer and Network Engineering specialty of the Master in Data Science and Computer Engineering (DATCOM) of the University of Granada. It is intended to justify the inclusion of this subject in the master DATCOM and its linkage with the rest of subjects taught in these postgraduate studies. Specifically, this paper shows what is actually behind the Internet of Things concept and why it has now become a real revolution. It also shows how the course has been organized to achieve the objectives proposed in the teaching guide, as well as the methodology and tools to be used. Finally, the main conclusions of this work are presented.

Keywords: Internet of Things, Physical computing, Data Science, Cloud Computing, Computer Engineering.

1 Introducción

Desde sus inicios, Internet ha ido incorporando nuevos actores conforme los avances tecnológicos lo han permitido. Primero fueron los dispositivos móviles, luego las personas a través de las redes sociales y en estos últimos años también los objetos cotidianos [1], a lo que se ha denominado Internet de las Cosas (o IoT por sus siglas en inglés, *Internet of Things*). Este concepto, atribuido al investigador del MIT Kevin Ashton en 1999, se podría definir por tanto como la convergencia en la evolución de distintos tipos de tecnologías hardware y software que están permitido que cada vez más objetos heterogéneos se puedan interconectar entre sí, dotándolos de mayor inteligencia, y permitiendo además crear nuevos servicios y oportunidades de negocio. Precisamente, desde hace 4 años la consultora Gartner considera el Internet de las Cosas como una de las tecnologías con mayores expectativas, y al igual que otras compañías como CISCO y ERICSSON, predice que para el año 2020 habrá más de 25.000 millones de objetos conectados en el mundo, con el consiguiente impacto que esto supondrá tanto a nivel económico como social (Figura 1). En pocos años tendremos tantas cosas conectadas a nuestro alrededor que no nos daremos ni cuenta que Internet estará ahí, tal como decía Mark Weiser ya en el año 1991.

En este artículo se hará en primer lugar un breve recorrido histórico de hitos importantes de este nuevo paradigma y se analizará su repercusión actual. A continuación se mostrarán algunos productos comerciales de objetos conectados representativos en distintos ámbitos (salud, deporte, industria, hogar y ciudades inteligentes, etc.), se introducirán las tecnologías habilitadoras (desarrollo rápido de prototipos, estándares y protocolos de comunicaciones, ciencia de datos, cloud computing, plataformas IoT, etc.), y se mencionarán brevemente los retos a los que se enfrenta. Seguidamente, y una vez argumentados los motivos por los que consideramos apropiado impartir dicha asignatura en el master DATCOM, también se muestra la metodología docente que se va a seguir y los equipos y herramientas que se van a utilizar en la parte práctica de dicha asignatura. Finalmente se presentan las conclusiones más importantes de este trabajo.

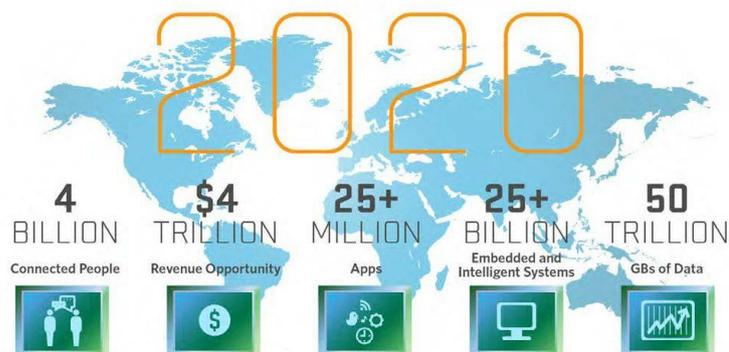


Figura 1. Predicciones sobre IoT en 2020 (fuente: IDC)

2 ¿Por qué esta asignatura en el Master DATCOM?

2.1 Breve recorrido histórico

A continuación se indican algunas pinceladas sobre hitos representativos en relación a la breve historia del IoT, que no pretende ser exhaustiva, pero que dan idea de sus inicios y de cómo ha ido evolucionando este concepto:

<p>□ 1965: "Las ventajas de la integración brindarán una proliferación de electrónica, insertando esta ciencia en muchas áreas nuevas ... como controles automáticos para los autos y dispositivos de comunicación personales." Gordon Moore.</p>	
<p>□ 1991: "Las tecnologías más importantes son las que desaparecen. Son las que se entrelazan con el tejido de nuestra vida cotidiana hasta que ya no son distinguibles de ella". Mark Weiser.</p>	
<p>□ 1995: Siemens lanza "M1" un módulo GSM para comunicaciones M2M en aplicaciones industriales.</p>	
<p>□ 1999: Primera mención al concepto "Internet de las Cosas". Kevin Ashton.</p>	
<p>□ 2000: LG anuncia su primer frigorífico conectado a internet.</p>	
<p>□ 2005: Arduino aparece como proyecto de estudiantes.</p>	
<p>□ 2008: Cisco afirma que IoT nace entre 2008 y 2009.</p>	
<p>□ 2011:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nest Labs introduce su Termostato inteligente Nest • IPv6 – Nuevo protocolo que permite 2^{128} direcciones • Ericsson predice que para 2020 habrá 50 mil millones de dispositivos conectados. 	
<p>□ 2012: Google lanza su prototipo de Google Glass.</p>	
<p>□ 2013: Intel forma su grupo IoT.</p>	
<p>□ 2014: Google compra Nest. Amazon lanza Echo. Samsung adquiere SmartThing.</p>	
<p>□ 2015: Mattel anuncia Wi-Fi Barbie.</p>	
<p>□ 2016: Apple HomeKit. Alphabet Google Home, ...</p>	

2.2 Situación actual

Para entender en qué situación nos encontramos actualmente, Gartner, una consultora americana que representa gráficamente mediante una curva la evolución de las tecnologías (https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_sobreeexpectación), ha situado

durante varios años el Internet de las Cosas en el pico de gran expectativa, como se puede apreciar en la figura 2, y de ahí que se escuche tanto hablar de esta tecnología. No obstante, en la última curva publicada en agosto de 2016 (<http://www.gartner.com/newsroom/id/3412017>), ya no aparece explícitamente el IoT, lo cual se puede interpretar de varias formas: que se ha considerado que otros conceptos como el hogar conectado o las plataformas IoT la representan, que ya está consolidada y no es una expectativa sino una realidad, o sencillamente que no han sabido situarla en ninguna parte de la curva.

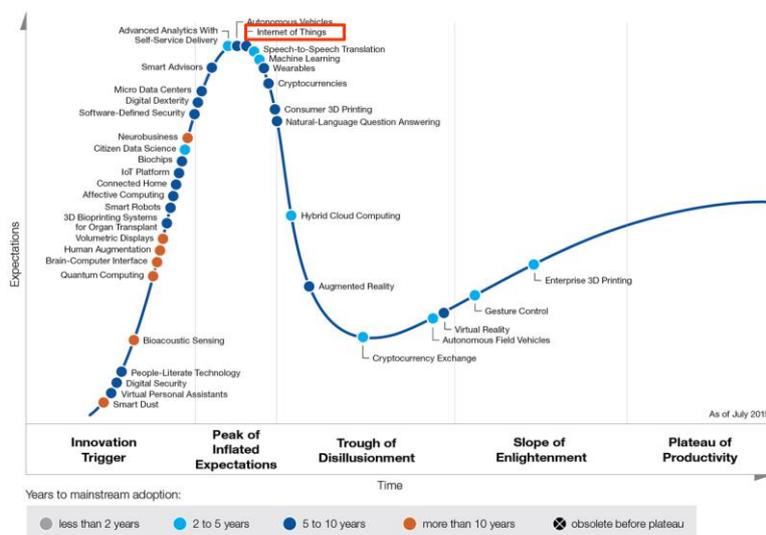


Figura 2. Curva de Gartner para tecnologías emergentes (<http://www.gartner.com/newsroom/id/3114217>)

Pero la realidad es que este concepto sigue siendo muy popular, como se puede ver también según las tendencias de búsqueda en Google (ver figura 3), donde se observa que desde hace 4 años dicha popularidad empieza a crecer muy rápidamente, frente a otros conceptos relacionados.

Desde el punto de vista económico, los ingresos globales del Internet de las Cosas también está creciendo de forma significativa y todas las predicciones apuntan a que este incremento se va a mantener e incluso crecer a lo largo de los próximos años. No obstante, lo que sí es una realidad es que sólo en el año pasado (2016) se produjeron una serie de adquisiciones muy significativas relacionadas con el IoT, como por ejemplo:

- **Qualcomm** compra **NXP** por 47.000 millones de dólares
- **SofBank** compra **ARM** por 31.000 millones de dólares
- **Cisco** compra **Jasper** (plataforma IoT) por 1.400 millones de dólares
- **TDK** compra **InvenSense** Inc. (fabricante sensores IoT) por 1.300 millones de dólares
- **Cypress Semiconductor** adquiere **Broadcom** por 550 millones de dólares, ...

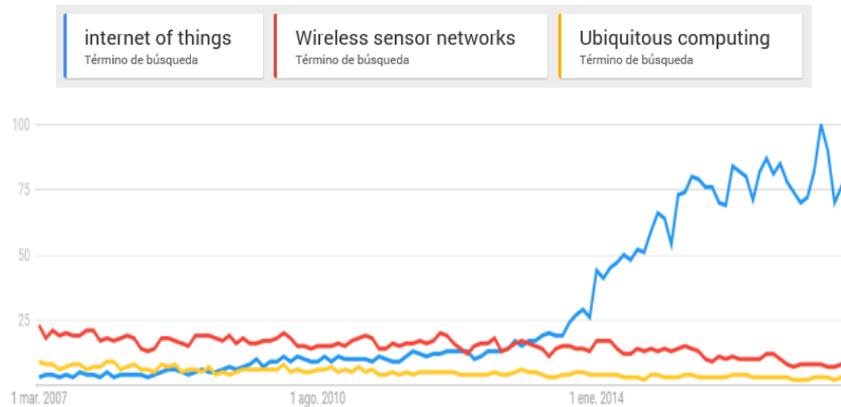


Figura 3. Popularidad de IoT según las tendencias de Google

En cuanto al impacto en investigación, si se busca en las bases de datos donde se encuentran las publicaciones científicas con prestigio a nivel internacional, también se puede observar (ver figura 4) un incremento exponencial en el número de publicaciones donde aparece el tópico “Internet of Things”. Comentar además que en los documentos de trabajo que se acaban de publicar del HORIZONTE 2020, donde se marcan las líneas de investigación que se van a incentivar a nivel Europeo, se puede comprobar también que el IoT aparece en un lugar muy destacado. Y concretamente en España, en abril de este año, el Gobierno, y más específicamente el ministro de Fomento Íñigo de la Serna, ha aprobado un plan para potenciar la digitalización, el Internet de las cosas y la transformación energética.

ARTÍCULOS

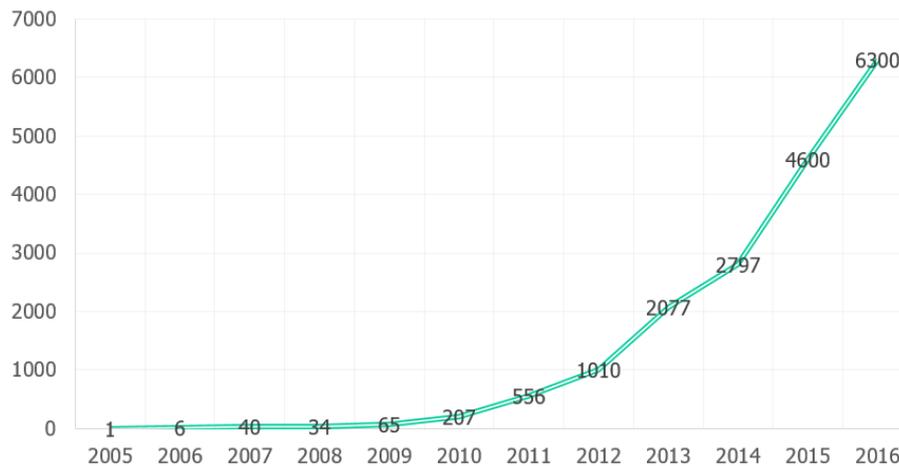


Figura 4. Impacto del IoT en investigación

2.3 Ejemplos de objetos IoT representativos

Los ámbitos de aplicación relacionados con el IoT son diversos y heterogéneos, de tal forma que existen dispositivos para la casa inteligente, objetos vestibles, para ciudades inteligentes, para la industria, para el coche conectado, para salud, ganadería, comercio, agricultura, etc. [2, 3, 4]. Precisamente, en la siguiente tabla se muestran como ejemplo algunos dispositivos IoT representativos o curiosos.

Nombre	Descripción	Enlace
Báscula Withings 	Báscula que te reconoce, y envía tu peso y % de grasa corporal a tu teléfono móvil. Uno de los primeros productos IoT comerciales.	http://www.withings.com/
Trackdot 	Objeto conectado que rastrea tus maletas cuando viajas.	http://www.trakdot.com/es
Sen.se Mother 	Dispositivo que te cuida como una madre, ya que permite conectar muchos sensores que se harán cargo de su salud, seguridad y bienestar	https://sen.se/store/mother/
Jawbone Up 	Pulsera de actividad, que junto con los relojes inteligentes son de los dispositivos IoT de mayor éxito.	https://jawbone.com/up
SSE-TNIW 	Dispositivo de Sony para ayudar a mejorar su nivel de tenis. Existen otros dispositivos similares para el golf, ciclismo, gimnasios, etc.	https://www.sony.es/electronics/dispositivos-inteligentes/sse-tn1w
Parrot Pot 	Macetero que integra distintos sensores para monitorizar el estado de las plantas mediante una aplicación móvil.	https://www.parrot.com/es/jardin-conectado/parrot-pot
HapiFork 	Tenedor inteligente que ayuda a comer mejor.	https://www.hapi.com/product/hapifork
Smart electric bike 	Bicicleta inteligente que ayuda a circular mejor por las ciudades	https://www.smart.com/id/en/index/smart-electric-bike.html

	<p>Timbre Wifi, para responder de forma remota y visualizar en el móvil quién está llamando a nuestra puerta.</p>	<p>http://www.skybell.com/</p>
	<p>Bombilla inteligente controlada por Wifi desde el teléfono móvil.</p>	<p>http://lifx.co/</p>
	<p>Plataforma que permite añadir sensores de todo tipo a nuestro entorno doméstico.</p>	<p>http://www.smartthings.com/</p>
	<p>Termostato inteligente que se ajusta automáticamente para ahorrar energía en función de las preferencias del usuario.</p>	<p>https://nest.com/</p>
	<p>Dispositivo Wifi que te permite pedir un producto pulsando un botón.</p>	<p>http://www.amazon.es/dashbutton</p>
	<p>Vehículo autónomo que actualiza su software por internet.</p>	<p>http://www.tesla.com</p>

De estos productos comerciales destacar tanto la plataforma SmartThings, una empresa pequeña comprada por Samsung por 200 millones de dólares, como el termostato inteligente de Nest, en este caso una empresa comprada por Google por nada menos que 3.200 millones de dólares, con el objetivo en ambos casos de tratar de posicionarse estratégicamente con dispositivos de gran éxito comercial en un sector, el del hogar inteligente, donde se prevé que en el futuro habrá miles de aplicaciones [5].

Para mostrar además el potencial de esta revolución del IoT, incluso para generar nuevos modelos de negocio, señalar los dos últimos ejemplo, el botón de Amazon y el coche de Tesla. En el caso de Amazon, con un dispositivo extremadamente sencillo, que incluso se regala una vez hecho el primer pedido, ha conseguido crear un nuevo producto claramente IoT, que le permite incrementar sus ventas. Y en el caso de

Tesla, Elon Musk (CEO de la compañía), está proponiendo también un modelo de negocio disruptivo, consistente en ofrecer un precio único a la hora de comprar un Tesla que englobe al propio coche, el coste de asegurarlo y sus hipotéticos arreglos, ya que su creador está convencido de que tendrá menos averías y menos accidentes.

2.4 Tecnologías habilitadoras

¿Pero cuales son las tecnologías habilitadoras, facilitadoras o potenciadoras de este concepto que hemos visto que está tan de moda, y que está revolucionando el mercado?. Para entenderlo mejor hay una frase de Peter Senge que dice “La innovación depende de la integración de tecnologías”, frase que explica muy bien lo que está sucediendo, ya que lo que se ha producido es una convergencia de tecnologías y circunstancias que han hecho posible el IoT, como se puede observar en la siguiente figura:

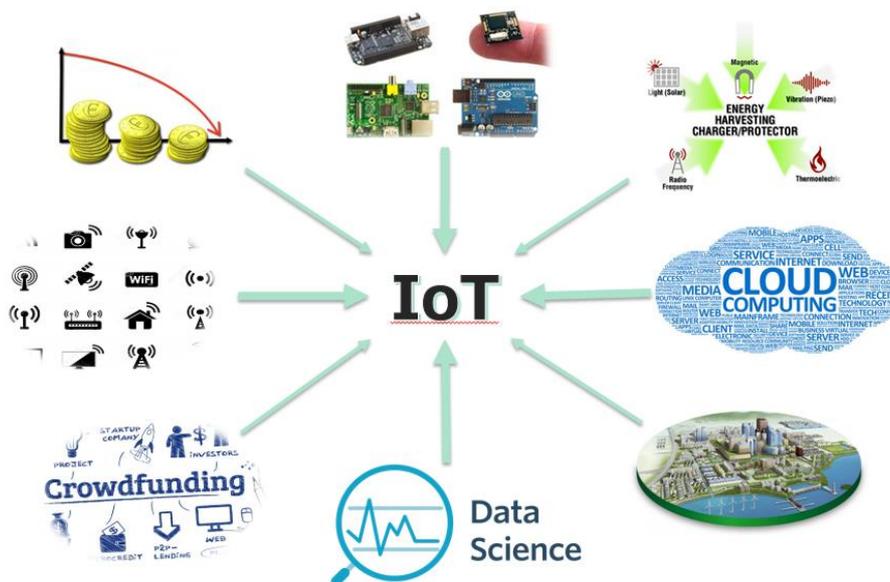


Figura 5. Tecnología y circunstancias que han hecho posible el IoT

En primer lugar, el abaratamiento de la tecnología ha sido clave para conseguir que este concepto sea una realidad, ya que ha permitido que el coste necesario para poder poner un dato en internet sea lo suficientemente bajo como para que no sea un impedimento a la hora de desarrollar un producto IoT. Otros avances que están impulsando el IoT es la posibilidad de usar fuentes de energía alternativas para estos dispositivos, utilizando para ello los logros que se están consiguiendo en los últimos años relacionados con el concepto de *Energy Harvesting* [6], y que pueden hacer realidad el que ciertos productos IoT sean totalmente autónomos, incluso energéticamente.

Además y aunque no sean tecnologías, tampoco hay que olvidar que están ayudando los nuevos modelos de negocio que están apareciendo, impulsados por las estrategias de mecenazgo y financiación colectiva como las aceleradoras y el *crowdfunding*, que están facilitando crear muchas startups y empresas; y ciertas políticas Gubernamentales (en determinados países y ciudades), que han financiado sobre todo proyectos relacionados con las Smart City, para mejorar temas como el tráfico, la iluminación, la polución, etc.

Y por supuesto, también están siendo claves en el impulso de este nuevo paradigma la facilidad para el desarrollo rápido de prototipos, la evolución en estándares y protocolos de comunicación, la computación en la nube y en gran medida la ciencia de datos, tecnologías que se van a tratar con algo más de detalle a continuación.

2.4.1 Desarrollo rápido de prototipos

A la hora de crear un dispositivo IoT lo más razonable es empezar por un prototipo [7], donde tendremos:

- El diseño del objeto físico (para lo cual la fabricación aditiva es decir las impresoras 3D están ayudado mucho).
- La electrónica (es decir los periféricos IoT y las plataformas de desarrollo hardware). Plataformas de desarrollo existen muchas, las más conocidas son Arduino y Raspberry PI (que recientemente han comercializado productos muy enfocados al IoT), pero existen otras muy interesantes como las de Libelium (nacional), BeagleBone, Intel Curie, NanoPi, ESP8266, ESP32, etc.
- El servicio de Internet con el que se conectará, y que le va a proporcionar un valor añadido al objeto. Para la implementación de estos servicios las API juegan un papel muy importante, ya que son como el lenguaje necesario para que los programas se puedan comunicar entre sí a través de Internet.

Destacar aquí que la comunidad de código abierto en los últimos años ha impulsado mucho todo este concepto del IoT, ya que han facilitado el acceso al hardware y al software necesario para desarrollar dispositivos de este tipo. Remarcar además, que a la hora de escribir código para estos dispositivos IoT, que suelen tener recursos limitados, habría que tener en cuenta técnicas para optimizar la gestión de la memoria, la vida de la batería e incluso el rendimiento.

2.4.2 Estándares y protocolos de comunicación

Otra de las tecnologías que están influyendo en el IoT son las comunicaciones. Se pueden usar todos los estándares de infraestructuras de redes existentes, tanto por cables como por radio, aunque las preferidas para el IoT son la comunicaciones inalámbricas. Existen muchos estándares de comunicaciones inalámbricas dependiendo por ejemplo del ámbito de aplicación. Concretamente tenemos redes como NFC, ZigBee, Bluetooth, WiFi, etc., para redes de área personal o local, y redes para mayor cobertura como por ejemplo WiMAX y las redes celulares.

Speed	1Mbit/s+	~100kbit/s	<10kbit/s
Example technology	4G	2G, LTE-M	LoRa, SIGFOX, NB-IoT
Spectrum	Licensed	Licensed	Licensed or unlicensed
Example use cases	 Smart phone  Connected car  CCTV	 Smart grid  Smart watch  High value object tracking	 Low value object tracking  Smart meter  Smart parking  Smart street lights

Tabla 1. Redes inalámbricas celulares para IoT (Fuente: Analysys Mason, 2015)

Concretamente en la tabla 1 se muestran las redes inalámbricas celulares que más se están usando actualmente según el ámbito de aplicación. El 4G para los dispositivos que necesitan mayor velocidad y transferencia de información, como los teléfonos móviles, las cámaras de vigilancia o los coches conectados. Para los dispositivos con menores requerimientos en cuanto a velocidad y tamaño de los mensajes se puede usar el 2G o el LTE-M (o 4G para IoT), y lo destacable es que precisamente para las aplicaciones donde se necesite cubrir también zonas extensas, pero con menores consumo y a un precio mucho más bajo (contadores y farolas inteligentes, o gestión de aparcamiento en grandes ciudades), han surgido recientemente nuevas soluciones de redes, como por ejemplo Sigfox, Lora o NB-IoT entre otras. Es decir, que el IoT también está impulsando y generando nuevas oportunidades de negocio en el sector de las comunicaciones. No obstante, para 2020 parece ser que el 5G será la solución para el IoT en cuanto a las comunicaciones inalámbricas se refiere para la mayoría de las aplicaciones, ya que según sus especificaciones permitirá un consumo eficiente, bajo coste y una gran cobertura, y habrá que ver cómo afecta esto a las nuevas soluciones comentadas.

Añadir que además de los estándares a nivel de infraestructuras de red, también existen protocolos como los que se muestran en la tabla 2, que facilitan y simplifican el trabajo a los programadores de aplicaciones y proveedores de servicios para IoT, y que dependiendo de los tiempos de respuestas que se requieran y para qué se vayan a utilizar será mejor usar unos u otros. Concretamente, para la comunicación en tiempo real entre dispositivos en la industria se suele utilizar DDS o OPC UA, para enviar datos desde los dispositivos a los servidores en la nube mejor usar MQTT o CoAP, para la comunicación entre los servidores un protocolo adecuado es AMQP, y para que los usuarios accedan a los datos en la nube lo recomendable es usar XMPP o REST [8].

Application Protocol		DDS	CoAP	AMQP	MQTT	MQTT-SN	XMPP	HTTP REST
Service Discovery		mDNS			DNS-SD			
Infrastructure Protocols	Routing Protocol	RPL						
	Network Layer	6LoWPAN				IPv4/IPv6		
	Link Layer	IEEE 802.15.4						
	Physical/Device Layer	LTE-A	EPCglobal	IEEE 802.15.4	Z-Wave			
Influential Protocols		IEEE 1888.3, IPSec				IEEE 1905.1		

Tabla 2. Protocolos de aplicación para IoT [9]

2.4.3 Computación en la nube

Por supuesto otra tecnología que está potenciando el IoT es el Cloud Computing o computación en la nube, ya que a medida que se van recibiendo más y más datos de dispositivos IoT se necesitará más capacidad de procesamiento y memoria. Es decir, se requiere que las infraestructuras puedan crecer, y precisamente esta escalabilidad la proporciona las soluciones cloud, como por ejemplo las de Amazon Web Services, Microsoft Azure, Heroku, OpenStack, OpenShift, etc., que van a permitir tener servicios que se ajustan a la demanda, que es un requerimiento clave en muchas de las aplicaciones IoT.

2.4.3 Ciencia de datos

Pero sin duda alguna, una de las tecnologías que más han influido en esta revolución del IoT es la Ciencia de Datos. Para entenderlo hay que saber que para el 2020 se prevé que haya alrededor de 40 Zettabytes, y gran parte de estos datos van a venir de las cosas o las máquinas conectadas a internet, que de forma autónoma generan información. Luego, el IoT es ante todo una enorme fuente de datos que pueden convertirse en conocimiento mediante las técnicas y procedimientos adecuados que va a proporcionar la Ciencia de Datos, apoyándose en sus paradigmas de Big Data, minería de datos, aprendizaje automático, etc. Concretamente, se utiliza el Big Data para poder afrontar de forme eficiente ese gran volumen de datos heterogéneos, y los algoritmos de minería de datos y de aprendizaje automático para poder realizar predicciones, clasificaciones (por ejemplo para resolver los problemas de atascos de tráfico o gestión del aparcamiento en grandes ciudades, o para la detección de

enfermedades cardiovasculares), dar recomendaciones, reconocer patrones o coincidencias (por ejemplo para ayudar a los clientes de un supermercado a encontrar los productos que están buscando), también para descubrir comportamientos o detectar anomalías en el funcionamiento de máquinas industriales, entre otras cosas, y todo ello analizando los distintos datos que llegan de los miles e incluso millones de sensores que se pueden tener en determinadas aplicaciones [10,11].

2.5 Plataformas IoT

Precisamente para abstraernos de la complejidad de todas estas tecnologías que se acaban de presentar, están proliferando en estos últimos años unas herramientas en la nube, denominadas Plataformas IoT, que facilitan el desarrollo integral de soluciones para el Internet de las Cosas. Concretamente, como se puede ver en la figura 6, las funcionalidades de estas herramientas son: simplificar la conectividad y la normalización ofreciendo el código o las interfaces necesarias para acceder a las plataformas hardware de desarrollo; gestionar los dispositivos de forma centralizada para poder por ejemplo hacerles a todos a la vez una actualización del firmware; añadir reglas para disparar eventos y construir interfaces gráficas para visualizar los datos; almacenar los datos y realizar el tratamiento analítico sobre dichos datos, es decir, facilitar la aplicación de la ciencia de datos; ofrecer las interfaces externas necesarias para poder integrarse con otras aplicaciones de terceros a través fundamentalmente de las API; y por supuesto también dotar de la seguridad y privacidad necesarias a las aplicaciones IoT.

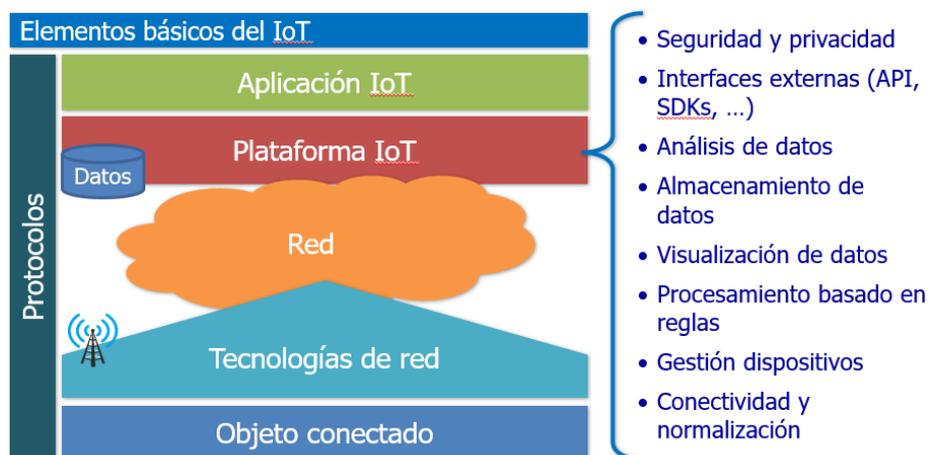


Figura 6. Ubicación y funcionalidad de las Plataformas IoT

Precisamente en la última curva de Gartner, estas plataformas están ascendiendo hacia el pico de máximas expectativas, y se están convirtiendo en una de las herramientas en las que se está trabajando e invirtiendo más actualmente. Ejemplos de este tipo de plataformas que ya están disponibles son: Xively, Thingworx, Comulocity, Thing+, Axeda, MyDevies, Relayr, ThingSpeak, Temboo, Thethings.io,

Thingier.io, Carriots, Sofia2, etc. Incluso las grandes compañías, como Microsoft, Google, Amazon, Oracle, Intel, IBM, etc., también se están posicionando desarrollando nuevas plataformas o adaptando las ya existentes para el IoT, como por ejemplo, IBM con su Plataforma Watson IoT. De hecho, según algunos estudios se estima que existen ya más de 300 plataformas de este tipo [12].

2.6 Obstáculos

Pero también existen problemas u obstáculos que están frenando el despliegue masivo de productos IoT, como son por ejemplo:

- La seguridad en las redes de comunicaciones. Según algunos estudios, el 70% dispositivos IoT tienen vulnerabilidad en contraseñas, cifrado o permisos de acceso, y el 50% de las aplicaciones no encriptan las comunicaciones (Hewlett Packard, 2015). Esto lo están aprovechando los delincuentes informáticos que están focalizando su atención en estos dispositivos vulnerables para lanzar sus ciberataques.
- La privacidad de los datos personales de los usuarios del IoT, que desconfían de dejar sus datos en manos de compañías que pueden utilizarlos para otros fines para los que fueron solicitados.
- Los desafíos en el plano ético o jurídico, es decir, ¿quién es el responsable en el caso de un atropello de un vehículo autónomo o en el caso de que un enfermo con un marcapaso IoT sufra un ciberataque?
- La inversión de las empresas, es decir, aunque se han realizado importantes adquisiciones de empresas pequeñas por grandes compañías (como hemos visto en la sección 2.2), y también se está invirtiendo mucho en el desarrollo de plataformas IoT, falta que las empresas dediquen más recursos a la hora de proponer nuevos productos finales para los usuarios.
- La falta de estandarización, es decir, como se ha comentado en las secciones anteriores existen multitud de plataformas de desarrollo hardware, estándares y protocolos de red, plataformas IoT, Sistemas Operativos, etc., que están complicando la interoperabilidad de las soluciones propuestas hasta ahora.

2.7 Adecuación de la asignatura IoT en el Master DATCOM

Luego teniendo en cuenta todo lo comentado en los apartados anteriores, está claro que esta asignatura es fundamental en el Master de Ciencia de Datos e Ingeniería de Computadores, ya que introduce y muestra una visión global y unificada de todas las tecnologías necesarias de este nuevo y popular paradigma del Intenten de las Cosas, y enlaza perfectamente con otras asignaturas del master tal como: Sistemas Empotrados y Co-Diseño Hw/Sw, Minería de Datos, Big Data y Cloud Computing, Servidores Seguros, Modelado de Sistemas y Predicción de Series Temporales, Computación de Altas Prestaciones para Clasificación y optimización, etc.

3 Temario Teórico y Práctico

En la guía docente elaborada para la asignatura Internet de las Cosas aparecen los siguientes objetivos expresados como resultados de aprendizaje:

- Comprender los conceptos básicos correspondientes a IoT
- Adquirir conocimientos sobre herramientas, lenguajes, y plataformas de desarrollo de IoT.
- Conocer los protocolos normalizados de comunicación definidos para IoT
- Conocer los escenarios de aplicación de IoT
- Adquirir la capacidad de concepción, diseño y caracterización de proyectos IoT

En base a estos objetivos se ha planteado el siguiente temario teórico y práctico para esta asignatura:

TEMARIO TEÓRICO:

Tema 1. Introducción al Internet de las Cosas (IoT)

- 1.1. ¿Qué es el Internet de las Cosas?
- 1.2. Un poco de historia y situación actual
- 1.3. Aplicaciones y ejemplos
- 1.4. Tecnologías habilitadoras
- 1.5. Plataformas IoT
- 1.6. Obstáculos

Tema 2. Tecnologías de comunicaciones para IoT

- 2.1. Identificación de las cosas y direccionamiento. RFID. NFC. IPv6 y 6LoWPAN.
- 2.2. Comunicaciones de corto alcance. WSN. IEEE 802.15.4, ZigBee, Bluetooth LE.
- 2.3. Redes de área amplia y baja potencia (LPWAN). LoRaWAN, Sigfox.
- 2.4. Tecnologías LTE para IoT y conectividad M2M. LTE_M, NB_IoT.
- 2.5. Comunicaciones IoT por cable. Tecnologías PLC.
- 2.6. Comunicaciones para la domótica y la inmótica. Z-Wave, EnOcean, KNX.
- 2.7. Otras tecnologías de comunicación.

TEMARIO PRÁCTICO:

Seminarios sobre Smart Health, Smart City, Smart Grid, Smart Home, etc.
Prácticas sobre redes inalámbricas de sensores y plataformas IoT.

Como se puede observar en el temario teórico, el capítulo 1 se corresponde prácticamente con los contenidos resumido en la sección 2 de este artículo, aunque en la asignatura se profundiza y se dan más detalles de los conceptos que se tratan. En cuanto al capítulo 2, al ser las comunicaciones uno de los aspectos claves del Internet de las Cosas, se ha decidido incluir este tema específico para tratar con mayor

detenimiento y a nivel teórico todo lo relacionado con cómo conectar cualquier tipo de objeto al mundo digital, independientemente de donde se encuentre.

En cuanto al temario práctico, en primer lugar se realizan una serie de seminarios en grupos sobre los distintos escenarios de aplicaciones IoT actuales, para a continuación, ya de forma individual, realizar un proyecto concreto donde se diseñe por completo un prototipo de producto en algunos de los escenarios IoT introducidos previamente.

4 Equipos, herramientas y metodología a utilizar

Utilizar un material adecuado de prácticas que motive al alumno en su aprendizaje es un factor muy importante a tener en cuenta. En nuestro caso, hemos optado por utilizar el módulo NodeMCU con el chip ESP8266 (ver figura 7), una de las placas de desarrollo hardware más interesante teniendo en cuenta sus prestaciones, precio y soporte. El ESP8266 es un SOC que integra una CPU de 32 bits (similar en prestaciones a un Pentium de mediados de los noventa), pero además con conectividad Wifi, 10 puertos GPIO y buses de comunicaciones SPI, I2C y UART. Este chip se ha popularizado de tal forma que se puede comprar integrado dentro de distintos diseños de PCB. Uno de los módulos de este tipo con mayor éxito es el NodeMCU, una iniciativa *Open Source* de Espressif systems, con un precio que ronda los 5€, y que a diferencia de otros módulos, viene con todo lo necesario para empezar a trabajar de forma autónoma, ya que incluye un adaptador serie/USB, se alimenta a través del microusb, y dispone de firmware que permite programarlo en lenguajes como LUA, Python, Basic o JavaScript.

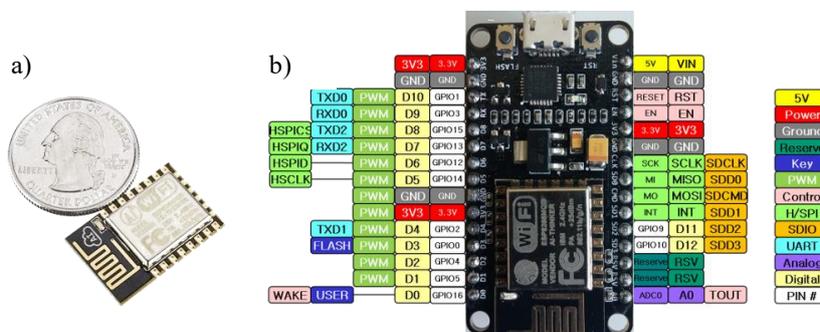


Figura 7. Plataforma de desarrollo hardware elegida para las prácticas:
a) ESP8266, b) NodeMCU

En cuanto a la metodología que se propone, como se ha indicado en la guía docente de la sección 3, se basa en una serie de seminarios y prácticas, acordes con el temario teórico, para que el alumno pueda abordar de forma práctica todas las fases necesarias a la hora de realizar un primer prototipo de producto IoT. Concretamente, a lo largo de la teoría, seminarios y prácticas al alumno se le describe un sistema

completo para la medida, comunicación y visualización del nivel de un depósito de líquidos (gasoil, agua, etc.), a partir de un sensor de ultrasonidos, la placa de desarrollo NodeMCU descrita anteriormente y una Plataforma IoT de las introducidas en la teoría. Para ello se dispone en el laboratorio del material necesario para que cada alumno pueda realizar dicha práctica guiada, tal como se muestra en el esquema de la figura 8. Los alumnos deben realizar el circuito eléctrico necesario para interconectar adecuadamente el sensor con el módulo NodeMCU, programar dicho módulo con el IDE de Arduino [13], elegir los protocolos de comunicación a utilizar para el intercambio de información (MQTT, REST, etc.), configurar y programar varias Plataformas IoT para conectar y gestionar la placa NodeMCU, y realizar una comparativa de las funcionalidades de las Plataformas IoT probadas. Otra de las fases a realizar en el desarrollo de un prototipo IoT está relacionada con el diseño del producto, y para ello también se le propone al alumno imprimir en 3D una carcasa que permita albergar el circuito implementado, y que además se pueda instalar en algún depósito estándar del mercado.

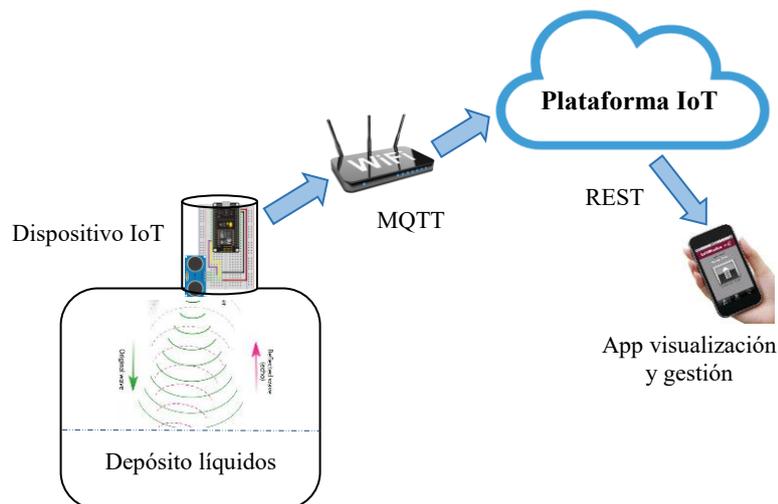


Figura 8. Esquema general de la práctica a realizar en el laboratorio

5 Conclusiones

En este trabajo se ha mostrado la popularidad del paradigma del Internet de las Cosas, así como las tecnologías y circunstancias que están haciendo posible que este concepto se haya convertido en una verdadera revolución tanto a nivel económico como social. Dicha exposición inicial ha permitido esclarecer la necesidad de incorporar una asignatura sobre este concepto en el Master de Ciencia de Datos e Ingeniería de Computadores que se imparte en la Universidad de Granada, ya que en dicho master se cursan asignaturas que complementan perfectamente al Internet de las Cosas. Remarcar que esta asignatura dentro de la especialidad en Ingeniería de

Computadores y Redes del Master, es además un pilar básico para la especialidad en Ciencia de Datos y Tecnologías Inteligentes, ya que como se ha indicado previamente, se puede considerar como uno de los afluentes principales a la ingente cantidad de información que requieren los algoritmos relacionados con los paradigmas de Big Data, minería de datos, aprendizaje automático, etc.

Se ha presentado además la metodología, así como los equipos y herramientas que se van a utilizar en la asignatura, y todo ello en torno a una práctica guiada en el laboratorio que permite abordar todas las fases necesarias en el desarrollo de un prototipo de producto IoT, fundamental para poder evaluar adecuadamente que los alumnos hayan adquirido las competencias necesarias.

Por lo tanto, se considera que el esquema de trabajo presentado para la asignatura Internet de las Cosas tiene, a nuestro parecer, un gran potencial didáctico, ya que permite que el alumno pueda trabajar con herramientas de programación y equipos reales que se emplean habitualmente en la implementación de soluciones IoT, sin que su disponibilidad, coste, tamaño, o ubicación sean un problema.

Referencias

1. C. Perera, A. Zaslavsky, P. Christen, D. Georgakopoulos: "Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey", IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014.
2. O. Vermesan, P. Friess: "Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems". River Publishers, 2013.
3. M.A. Razzaque, et al.: "Middleware for Internet of Things: A Survey", IEEE Internet of Things Journal, Vol. 3, no. 1, February 2016.
4. Fundación Telefónica. "Internet Industrial: Máquinas inteligentes en un mundo de sensores", Grupo Planeta, 2016.
5. A. Vazhnov: "La Red de Todo: Internet de las Cosas y el Futuro de la Economía Conectada", <http://castellano.andreivazhnov.net/cuando-internet-desaparezca-libro-iot/>, Accedido el 25/07/2017.
6. M. Ku, W. Li, Y. Chen, K. J. Ray Liu: "Advances in Energy Harvesting Communications: Past, Present, and Future Challenges", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 2, 2016.
7. A. McEwen, H. Cassimally: "Internet de las Cosas. La tecnología revolucionaria que todo lo conecta", Anaya Multimedia, 2014.
8. Stan Schneider: "Understanding the Protocols Behind The Internet Of Things", Electronic Design, Oct 09, 2013.
9. A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, M. Ayyash: "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 17, No. 4, 2015.
10. R. Ciobanu et al.: "Big Data Platforms for the Internet of Things", in Big Data and Internet of Things: A Roadmap for Smart Environments, Springer, 2014.
11. T. Chun-Wei et al.: "Data Mining for Internet of Things: A Survey", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 16, No. 1, 2014.
12. IoT Platforms: Market Report 2015-2021, IoT Analytics 2016.
13. M. Banzi, M. Shiloh: "Introducción a Arduino. La plataforma de código abierto para la creación de prototipos electrónicos", Anaya, 2015.