

Incorporación de Internet de las Cosas (IoT) en la docencia universitaria en dos etapas: hardware y software*

Santiago Felici Castell¹, Jaume Segura Garcia¹, Juan J. Pérez Solano¹, Miguel García Pineda¹ y Antonio Soriano Asensi¹

¹Dpt Informàtica - Universitat de València

Abstract

IoT is a concept referred to a network of common objects interconnected through the Internet. This is one of the main areas with growing interest and also necessary for the Telecommunication and Telematics Engineering students. The main constraints which face the students with IoT are the integration of the hardware as well as the need for management systems to handle the amount of data they generate by specific software. This work shows some experiences done by a group of students in the Telematics Engineering Degree and the Master of Telecommunications.

Keywords: *IoT, experiences, FIWARE, Raspberry Pi, ThingSpeak.*

Resumen

IoT es un concepto que hace referencia a una red de objetos cotidianos interconectados a través de Internet. Ésta es una de las áreas de creciente interés y necesario conocimiento para los estudiantes de Ingeniería de Telecomunicaciones/Telemática. Los principales obstáculos a los que se enfrentan los estudiantes con IoT son por un lado la integración del hardware, así como la necesidad de disponer de sistemas de gestión para manejar el volumen de datos que generan. Este trabajo muestra unas experiencias realizadas con un grupo de estudiantes en el grado de ingeniería telemática y en el máster de telecomunicación.

Keywords: *IoT, experiencias, FIWARE, Raspberry Pi, ThingSpeak.*

*Proyecto financiado por la Universitat de València UV-SFPIE RMD17-587626

1 Introducción

En la nueva sociedad digital, los ecosistemas de plataformas orientadas a la Internet de las Cosas (IoT) serán la base de las creaciones con valor añadido, y un motor para el desarrollo de aplicaciones innovadoras IoT para el usuario final. Es por ello que en los próximos años será necesaria la actualización de los planes de estudio de las titulaciones en el ámbito de las TIC, con el fin de incorporar todas las tecnologías relacionadas con la IoT. El término IoT suele hacer referencia a una red de objetos cotidianos interconectados a través de Internet. Es una de las áreas de creciente interés por parte de la industria y la investigación, abarcando también otras áreas como la gestión de recursos, vigilancia y seguridad. Las tecnologías basadas en IoT se están convirtiendo en un elemento casi indispensable en las ciudades inteligentes, que estamos incorporando en nuestro modus vivendi.

La percepción sensorial del entorno urbano por parte de los seres humanos ha sido ampliamente estudiada desde el final de la Segunda Guerra Mundial en Europa (Meer y col. 2011). En las últimas décadas, la percepción de la contaminación ambiental ha aumentado considerablemente y ha llegado a ser un problema muy serio en entornos urbanos. La contaminación acústica (WHO 2011), del aire (Anderson, Thundiyil y Stolbach 2012) o lumínica son fuentes importantes de molestia a los ciudadanos en las ciudades y tiene un impacto negativo sobre su salud, afectando a los colectivos más vulnerables, como niños y ancianos, o personas alérgicas. Además, la OMS ha estimado que el 23% de todas las muertes mundiales están relacionadas con el medio ambiente, 1,4 millones en Europa (Anderson, Thundiyil y Stolbach 2012).

Las plataformas del IoT se están convirtiendo en una poderosa herramienta de monitorización y de recogida de información para la toma de decisiones. Estas plataformas de IoT permiten a las instituciones y a los investigadores supervisar y controlar los puntos finales (ya que son los nodos de la WSN), crear aplicaciones para satisfacer las necesidades de la administración y la industria digitales, y serán una herramienta esencial en el desarrollo y la evolución de la sociedad/mercado digital. Los principales obstáculos a los que se enfrentan las IoT para que puedan ser implementadas a gran escala son por un lado la integración del hardware así como la necesidad de disponer de sistemas de gestión con características adecuadas que den solución a uno de los principales retos que presenta la gestión del gran volumen de información que se genera en IoT.

Una plataforma IoT debería facilitar la comunicación, el flujo de datos y la gestión de dispositivos, permitiendo la funcionalidad de aplicaciones específicas en el marco del IoT. Estas aplicaciones permiten la conexión entre máquinas, dispositivos, aplicaciones y personas a centros de datos y control. La integración de diferentes sensores o actuadores y protocolos de comunicación es otra característica intrínseca del concepto IoT. Las plataformas IoT están basadas en hardware embebido y software específico. Por lo que las aplicaciones desarrolladas en este ámbito requieren del desarrollo de arquitecturas ad-hoc, y de nuevas tecnologías que faciliten la comunicación, el control y la gestión de los dispositivos. Con especial énfasis en la seguridad de los puntos finales y la interconexión entre diferentes plataformas del entorno de la IoT.

En este trabajo se presenta una prueba piloto orientada a los estudiantes de las asignaturas de Redes Avanzadas I del Grado de Ingeniería Telemática (GIT) de la ETSE y Redes de Comunicaciones Móviles en el marco del Máster de Ingeniería en Telecomunicaciones (MITUV). El objetivo de esta experiencia es en primer lugar que

el estudiante se familiarice con los dispositivos hardware IoT, por ejemplo los nodos Raspberry Pi o computador de placa simple (*single board computer* o SBC) de bajo coste. En segundo lugar, también se pretende formar a los futuros ingenieros en el uso de aplicaciones dedicadas a la recogida y gestión de información (como FIWARE, ThingSpeak, Kaa, etc.)(Wang y col. 2015).

2 Trabajos relacionados

En este punto vamos a introducir diversos trabajos previos donde se ha utilizado la tecnología relacionada con arquitecturas IoT en entornos docentes para acercar al alumnado los últimos avances en las arquitecturas de red.

El artículo (Donelkys Santana Medina 2016) tiene como finalidad identificar los antecedentes, la realidad actual y las proyecciones de las arquitecturas IoT en la dinámica de la actividad educativa en espacios universitarios. Según sus autores los resultados alcanzados hasta estos momentos evidencian la factibilidad que tienen las universidades en impulsar la preparación de las condiciones para la introducción y utilización de la Internet de las Cosas en el proceso de enseñanza-aprendizaje. La introducción de IoT constituye un reto a la ingeniería relacionada con la internet, la informática, la computación y la comunicación, las cuales han de innovar creadoramente, con vistas a personalizar este proceso en las prácticas del proceso docente educativo de las universidades.

Un ejemplo materializado de la introducción de la tecnología IoT en las aulas universitarias se puede ver en (Martínez 2015). En este artículo se muestra la aproximación que en la asignatura Dispositivos y Redes Inalámbricas (DRI), del Grado de Ing. Informática impartida en la ESII de Albacete, se hace al desarrollo de competencias en el mundo de IoT, mediante el estudio del estándar de comunicación BLE. En este caso el bloque temático dedicado a IoT en la asignatura se limitó a cuatro semanas y las actividades a realizar fueron: a) Estudio del protocolo BLE, b) Descubrimiento de dispositivos y servicios y c) Consumo de servicios de la IoT. Todas estas actividades fueron desarrolladas con dispositivos IoT. El artículo concluye que el incluir la tecnología IoT en el temario de una titulación de Grado en Ingeniería TIC es una decisión que no debe verse condicionada por la falta de recursos hardware y/o software disponible, que como se ve en este trabajo son más que suficientes para el diseño de una asignatura. Y, tampoco el grado de madurez de la tecnología IoT, ni la dificultad de sus contenidos son excusa para no incluir la IoT en el plan de estudios de una Ingeniería TIC.

Finalmente, en (Catalán Cantero y Blesa Gascón 2016) se propone un modelo de programación basado en Arduino para Raspberry Pi, con el objeto de facilitar la programación de sistemas empujados enmarcados en los paradigmas CPS e IoT. Este tipo de sistemas requieren multitarea y comunicación mediante TCP/IP. Dicho modelo, junto con su framework, ha empezado a utilizarse en una asignatura orientada a proyectos impartida a alumnos con carencias en la programación de aplicaciones con dichos requisitos. Los primeros resultados indican que los alumnos ven simplificado el desarrollo de sus proyectos, por lo que estos pueden tener un nivel mayor de complejidad con soluciones divergentes, facilitando así el empleo de la mencionada metodología docente.

Como se puede observar se están empezando a desarrollar estrategias para introducir nuevas arquitecturas de red en la enseñanza universitaria. Esto es debido a la evolución que están sufriendo las redes, además como docentes universitarios debemos de enseñar todo aquello que se está implementado hoy en día en la empresa y dar algunas pinceladas de aquello que está por venir.

3 Metodología

El desarrollo metodológico que ha motivado el proyecto que nos ocupa está basado en la apreciación y necesidad de renovar materiales para el desarrollo teórico-práctico de los laboratorios de las asignaturas de Redes Avanzadas I del Grado de Ingeniería Telemática (GIT) de la ETSE y Redes de Comunicaciones Móviles en el marco del Máster de Ingeniería en Telecomunicaciones (MITUV) en base a los planteamientos que demanda la sociedad de la información y la industria para los próximos años.

Este desarrollo metodológico se basa en la introducción de una serie de experiencias/prácticas en el contexto de las asignaturas mencionadas. Estas prácticas tendrán en cuenta los conocimientos de las tecnologías con las que se implementan las aplicaciones orientadas a IoT (i.e. tecnologías de comunicación, protocolos de routing y comunicación de mensajes/información, arquitectura del sistema IoT, etc.).

Para ello, y como elementos básicos, usaremos sensores (por ejemplo, DHT11 para recoger temperatura y humedad, FSR para recoger información de presión táctil, etc.), Raspberry Pi como *IoT edge* y *Gateway* del sistema IoT, ThingSpeak como *Back-end IoT* a nivel de grado y FIWARE a nivel de máster.

Los estudiantes participantes de GIT, dentro de la asignatura Redes Avanzadas I (1er cuatrimestre) y los estudiantes de MITUV dentro de la asignatura Redes de Comunicaciones Móviles (2do cuatrimestre), deben de realizar un proyecto (o práctica) que involucre el diseño e implementación de una red basada en IoT.

Los estudiantes de grado realizarán una práctica enfocada al hardware de las IoT y los estudiantes de máster otra práctica enfocada al software y la integración de las IoT. Además cada grupo elaborará un enunciado en los idiomas anteriores. Estas prácticas se explicarán a los estudiantes de estas asignaturas por los propios alumnos participantes en sesiones especiales organizadas, tanto a nivel informativo como para poder realizarlas en sus respectivos cursos. La figura 1 muestra los respectivos esquemas de desarrollo para GIT y MITUV.

Al finalizar los alumnos rellenarán unos cuestionarios donde valorarán la nueva tecnología docente e introducirán sugerencias y/o posibles mejoras.

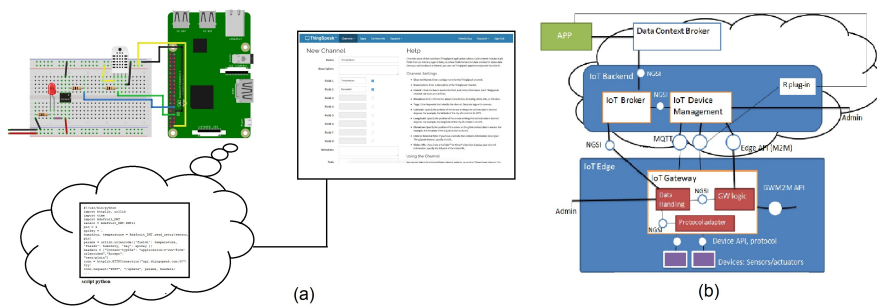


Fig. 1: (a) Esquema de desarrollo en GIT; (b) Esquema de desarrollo en MITUV

4 Desarrollos del proyecto

La consecución de los objetivos del proyecto, a partir de la metodología establecida ha permitido el desarrollo de las siguientes experiencias/prácticas por parte de los estudiantes participantes en el programa piloto.

4.1 Experiencia en GIT: Raspberry Pi, Sensor DHT y ThingSpeak

El objetivo de esta experiencia realizada en el laboratorio de Redes Avanzadas I es servir como introducción a IoT mediante el uso de materiales económicos y comunes con una Raspberry Pi (RPi) (Raspberry Pi 2017) como elemento central, debido a su bajo coste, versatilidad y facilidad de uso. Los componentes usados se encuentran disponibles en cualquier tienda de electrónica. Como material adicional se preparó un video en el cual se indican los pasos necesarios para la preparación de la RPi, los programas y librerías necesarias.

La experiencia continúa montando el circuito sensor que se muestra en la figura 2 que está compuesto por la RPi como elemento principal que se encargará de gestionar todo el sistema, un sensor de temperatura y humedad DHT11, el optoacoplador “4N35” como actuador, que separa el circuito principal, del secundario que es un LED aislado del circuito anterior.

La RPi incorpora una serie de scripts en Python para control de envío de la información. También permiten leer el sensor y actuar sobre el optoacoplador. Finalmente, incorpora un pequeño programa servidor en PHP.

4.2 Experiencia en MITUV: Raspberry Pi y FIWARE

A nivel de Máster, se realiza otra experiencia relacionada con sistemas IoT basada en FIWARE (FIWARE 2018). La plataforma FIWARE fue creada por Telefónica como un framework modular de herramientas *Open-Source*. El proyecto fue financiado principalmente por la Unión Europea a través del programa FP7 en 2011.

Proporciona un conjunto de APIs/Aplicaciones bastante simples pero potentes, que facilitan el desarrollo de aplicaciones inteligentes en múltiples sectores. Las especificaciones de estas APIs son públicas y sin derechos de autor. Además, existe publicada

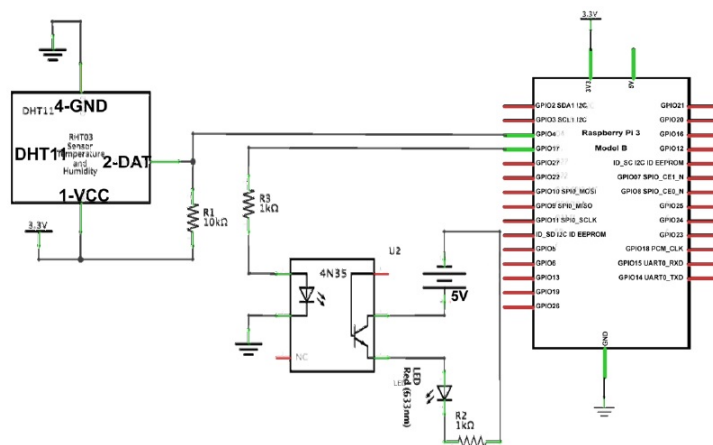


Fig. 2: Circuito esquemático

una documentación libre de cada implementación de todos los componentes de FIWARE, de tal forma que se puedan desarrollar soluciones de forma rápida y a bajo coste.

Estas aplicaciones son llamadas *Generic Enablers* (GE) que suelen ser usados de forma general y común en cualquier proyecto que se base en FIWARE. Por otra parte, la plataforma agrupa estos GEs dependiendo del contexto de utilización de estos, creando así 6 bloques: *Context Management, Internet of Things (IoT) Services Enablers, Applications/Services Ecosystem and Delivery Framework, Advanced Web-based User Interface, Security, Cloud Hosting, Interface to Networks and Devices* (I2ND).

Implementar una solución con FIWARE básicamente consiste en utilizar los distintos GEs que proporciona FIWARE. Esto no implica que sea necesario implementar todos los GEs existentes,

Por otra parte, para la instalación de cualquier GE existen 4 formas distintas:

1. Compilación desde su código de github
2. Mediante repositorios de paquetes en distribuciones de Linux (apt-get, yum, ...)
3. Utilizando contenedores de Docker¹
4. Utilizando Instancias en su Laboratorio (FIWARE)

En este caso se ha descartado el uso de la compilación del código fuente debido a las complicaciones de dependencias y su lentitud, errores de compilación y complejidad. También se ha descartado la instalación mediante repositorios de paquetes, ya que no

¹Docker es un proyecto de código abierto que automatiza el despliegue de aplicaciones dentro de contenedores de software, proporcionando una capa adicional de abstracción y automatización de virtualización a nivel de sistema operativo en Linux.

todas los GEs están en uno, ni todos los GEs están disponibles para todos los SO. Un ejemplo es Orion y Wirecloud; mientras Orion está disponible en repositorios para Centos/Fedora, Wirecloud sólo está disponible para Ubuntu/Debian. Esto hace que sea necesario tener varias máquinas virtuales con distintos SO y distintas versiones de estos para poder instalar toda la solución de FIWARE.

Una opción interesante es utilizar el laboratorio online que proporciona la plataforma de FIWARE para el desarrollo de soluciones, pero presenta varios inconvenientes: No se tiene control de la plataforma (puede ser válido para el desarrollo, pero no para implementaciones) y el acceso no es libre (debe ser aprobado).

Con todo esto se ha decidió utilizar Docker, ya que permite crear contenedores que virtualizan un entorno completo de Linux. Es decir, en una máquina con Centos 5, es posible simular un Ubuntu 16.04 para así implementar todas las herramientas y características que posee, como puede ser el uso de su repositorio de paquetes.

Como se ha comentado anteriormente FIWARE es modular, por lo que en la elaboración de esta experiencia sólo se han utilizado los GEs necesarios para los servicios de recogida de información sobre IoT que se desea implementar:

- Orion (*Context Broker*): El centro de FIWARE. Es el encargado de manejar el estado actual de los objetos. Además permite la creación de suscripciones/notificaciones.
- Cygnus (*Context Manager*): Es un conector que se encarga de guardar los estados (información de contexto) de Orion de forma persistente.
- IDAS (*IoT Agent*): Se encarga de comunicar los dispositivos IoT con Orion.
- Keryrock (*Identity Manager*): Componente central de seguridad para FIWARE. Proporciona una interfaz web para la creación de aplicaciones, usuarios y roles.
- AuthZForce (*Authorization*): Implementa decisiones de autorización basadas en políticas y peticiones de del PEP (*Policy Enforcement Point*).
- PEP Proxy: Proxy que permite implementar seguridad a los accesos a GEs.
- Wirecloud (*Application Mashup*): Implementa un dashboard que permite la utilización de *widgets* para crear una aplicación propia.

La figura 3 presenta la arquitectura completa de la plataforma FIWARE para la recogida de información basada en IoT.

Además de estos GE, también se ha utilizado otras aplicaciones necesarias para el funcionamiento de estos:

- Mongo DB: Base de datos no SQL, encargada de guardar toda la información recibida por Cygnus (versión recomendada de mongodb es 3.2).
- Postgress: Base de datos SQL, encargada de almacenar los datos del GE Wirecloud.
- NGINX: Utilizado como proxy para el acceso a los GEs Wirecloud y Keyrock, proporciona una capa de seguridad.

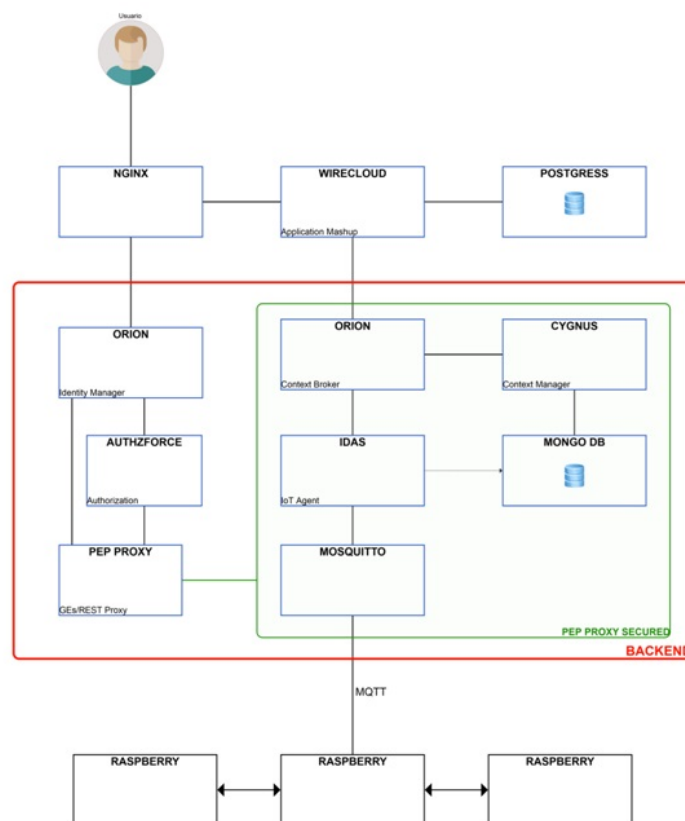


Fig. 3: Esquema de módulos para la implementación de una plataforma IoT para recoger información de una red de Rpi sensoras

- Mosquitto: Aplicación que implementa el protocolo MQTT para la intercomunicación entre el GE IDAS y las Rpi.

Finalmente, en esta experiencia los estudiantes después de su instalación, deben configurar los diferentes módulos con sus correspondientes contenedores y lanzar los servicios necesarios para el correcto funcionamiento de la aplicación diseñada.

4.3 Resultados de la encuesta a los estudiantes

Con el objetivo de analizar la percepción que los estudiantes han tenido sobre las experiencias planteadas en las asignaturas de comunicaciones en redes en el GIT y MITUV, se les ha planteado una pequeña encuesta diseñada 'ad-hoc' para recoger las valoraciones que pretendemos analizar en el proyecto.

Dentro de este pequeño estudio, se les preguntó a los estudiantes 3 preguntas a las que contestaron después de la sesión de práctica sobre IoT. La tabla 1 muestra los resultados

- Q1: Antes de esta sesión, ¿habías experimentado con tecnologías IoT?
- Q2: ¿En qué grado valoras (de 1 -muy poco- a 5 -mucho-) la introducción de experimentalidad en las asignaturas de comunicaciones?
- Q3: ¿En qué grado consideras positiva (de 1 -muy poco- a 5 -mucho-) la experiencia realizada respecto a su implicación industrial y social?

En la figura 4 se puede ver un momento de la realización de la práctica guiada por los estudiantes que han redactado y llevado a cabo el desarrollo de la práctica, haciendo una actividad dinámica y trabajo colaborativo en grupo.



Fig. 4: Fotografía de la experiencia en la asignatura de GIT

Tabla 1: Respuestas de los estudiantes

	Porcentaje positivo (%)	Promedio de valoración
Q1	58 %	-
Q2	-	4.5
Q3	-	4.8

5 Conclusiones

En este artículo se presenta el trabajo realizado en colaboración con algunos estudiantes en relación a la introducción de conceptos y experiencias relacionados con IoT en el ámbito de las asignaturas de Redes Avanzadas I de GIT y Redes de Comunicaciones Móviles de MITUV.

Las experiencias diseñadas y desarrolladas combinan todas las fases de un sistema IoT. A nivel de grado se trabaja más la parte hardware y se utiliza una plataforma propietaria como ThingSpeak y por tanto se da más importancia a la fase sensora, de comunicación y enrutamiento de la información. Por otro lado, a nivel de máster se trabaja más la parte de recolección y tratamiento de esa información por parte del *back-end*.

En la encuesta a los estudiantes, se evidencia que la apreciación global ha sido muy positiva en lo que respecta a la introducción de conceptos innovadores que la industria y la sociedad reclaman con un alto grado de experimentalidad en estas asignaturas.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Servei de Formació Permanent i Innovació Educativa - Centre de Formació i Qualitat "Manuel Sanchis Guarner" de la Universitat de València por la ayuda concedida para el soporte parcial de este proyecto de innovación docente (ref: UV-SFPIE RMD17-587626).

Referencias bibliográficas

- Anderson, Jonathan O., Josef G. Thundiyil y Andrew Stolbach (2012). "Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health". En: *Journal of Medical Toxicology* 8.2, págs. 166-175. ISSN: 1937-6995. DOI: [10.1007/s13181-011-0203-1](https://doi.org/10.1007/s13181-011-0203-1).
- Catalán Cantero, Carlos y Alfonso Blesa Gascón (2016). "Enseñanza de sistemas empotrados: de Arduino a Raspberry Pi". En: *Actas de las XXII JENUI*. Universidad de Almería, págs. 351-354.
- Donelkys Santana Medina, Mariano Isla Guerra y Manuel Ramírez Pérez y (2016). "El internet de las cosas en contextos universitarios: realidad y retos". En: *Congreso Universidad*. ISSN: 2306-918X.
- FIWARE, Foundation (2018). *FIWARE Developer website*. [Online]. <https://www.fiware.org/developers/>.
- Martínez, Francisco Manuel Delicado (2015). "Una incursión docente en el mundo de la "Internet of Things"". En: *Experiencias Docentes en Redes de Computadores* 1.1.
- Meer, E. van der y col. (2011). *Human Perception of Urban Environment and Consequences for its Design*. Springer, págs. 305-331.
- Raspberry Pi, Foundation (2017). «*Raspberry Pi 3 Model B*,» 1 Febrero 2016. [Online]. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>.
- Wang, Feng y col. (2015). "Software Toolkits: Practical Aspects of the Internet of Things—A Survey". En: *International Journal of Distributed Sensor Networks* 11.9, pág. 534378. DOI: [10.1155/2015/534378](https://doi.org/10.1155/2015/534378).
- WHO (2011). *Burden of Disease From Environmental Noise-Quantification of Healthy Life Years Lost in Europe*. [Online]. http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/e94888.pdf?ua=1 (accessed on 18 February 2018).