

Una incursión docente en el mundo de la “Internet of Things”

Francisco M. Delicado

Depto. Sistemas Informáticos, Universidad de Castilla-La Mancha
francisco.delicado@uclm.es

Resumen Una de las obligaciones de los docentes universitarios es el desarrollo de competencias en nuestros alumnos que los preparen para los retos profesionales, tanto presentes como futuros, que deberán afrontar una vez egresados.

Parece más que evidente, que uno de los campos de mayor evolución, tanto a corto como a medio plazo, es el llamado “Internet de las Cosas” (*Internet of Things (IoT)* en inglés). Por lo que parece necesario que los graduados en Ingeniería Informática dispongan de ciertos conocimientos y competencias sobre la IoT.

El objetivo de este trabajo no es otro que mostrar cuál ha sido la aproximación docente que al campo de la IoT, se le ha dado en la asignatura optativa Dispositivos y Redes Inalámbricas (DRI), del Grado en Ingeniería Informática que se imparte en la Escuela Superior de Ingeniería Informática de Albacete (Universidad de Castilla-La Mancha).

Keywords: IoT (*Internet of Things*), Aprendizaje basado en proyectos, redes inalámbricas, BLE (*Bluetooth Low Energy*).

1. Introducción

El concepto de “*Internet of Things (IoT)*” se refiere desde el punto de vista tecnológico a una infraestructura de comunicación entre cualquier objeto, ya sea físico o virtual, que permite proporcionar, mediante la identificación de los mismo, el intercambio de datos de servicios avanzados [8].

Este concepto que parece abstracto, se traduce, desde el punto de vista práctico, en la posibilidad de interconexión de cualquier dispositivo físico con cualquier otro dispositivo, o proceso virtual, que proporcione un servicio. Así pues, uno de los retos para la implantación de la IoT, es la estandarización de métodos de interconexión de dispositivos, que permitan la identificación, e intercambio seguro tanto de las características de los dispositivos a interconectar, como de los datos que dichos dispositivos requieran o generen.

Uno de estos estándares de comunicación, es el denominado *Bluetooth™ Low Energy (BLE)* [11], también llamado *Bluetooth™ Smart*. El cual es una variación a nivel de capa de enlace de datos del estándar de red *Bluetooth™*. El objetivo principal de BLE es la reducción del consumo energético en la comunicación,

para un aumento de la duración de las baterías. Esta reducción del consumo conlleva algunas modificaciones a nivel de capa de enlace de datos, como son: la reducción del radio de cobertura de la comunicación, así como la limitación de la velocidad de transmisión y la modificación en el protocolo de comunicación entre dispositivos.

Actualmente el protocolo BLE está implementado en todos los teléfonos móviles que se comercializan, por lo que cada vez hay más aplicaciones que valiéndose de este protocolo de comunicación obtienen datos de otros dispositivos físicos, como puede ser pulsómetros, termómetros, auriculares, altavoces, etc.

Aunque la IoT es un paradigma de reciente creación, es una realidad, y cada vez hay más dispositivos que explotan dicho concepto para proporcionar al usuario nuevos servicios. De hecho, es uno de los campos en los que se prevé un mayor crecimiento en los próximos años [10], tanto en número de dispositivos conectados entre sí, como en volumen de negocio.

Teniendo en cuenta estas premisas, y dado que la Universidad tiene como responsabilidad principal la de formar a los estudiantes en aquellas competencias profesionales que reclama la sociedad, tanto actualmente como en el futuro; desde nuestro punto de vista se hace imprescindible el desarrollo de competencias, aunque sean básicas, en la tecnología de la IoT.

De esta forma, el trabajo presentado aquí, pretende mostrar la aproximación que en la asignatura Dispositivos y Redes Inalámbricas (DRI), del Grado de Ingeniería Informática impartido en la Escuela Superior de Ingeniería Informática de Albacete (ESII-AB), se hace al desarrollo de competencias en el mundo de la IoT, mediante el estudio del estándar de comunicación BLE.

El artículo comenzará con una descripción de la asignatura DRI, sección 2. En la sección 3, nos centraremos en la descripción de la metodología y el material utilizado para el desarrollo de las competencias asociadas con el paradigma IoT. Por último, el artículo finalizará con las conclusiones a las que hemos llegado.

2. La asignatura DRI

2.1. Contexto docente

En el plan de estudios correspondiente al Grado en Ingeniería Informática, que se imparte en la Escuela Superior de Ingeniería Informática del Campus de Albacete perteneciente a la Universidad de Castilla-La Mancha, la asignatura Dispositivos y Redes Inalámbricas (DRI) está programada en el 8º cuatrimestre de la titulación. Siendo una asignatura incluida en el módulo de Optatividad en Redes y Sistemas [7].

En concreto la asignatura Dispositivos y Redes Inalámbricas tiene un total de 6 créditos ECTS de carácter optativo, a impartir en el segundo cuatrimestre del cuarto curso de la titulación. Comentar que debido a la situación de la asignatura dentro de plan de estudios la titulación, y al carácter optativo de la misma, el número medio de alumnos matriculados en ella durante los últimos años ha sido

15 alumnos. Este limitado número de alumnos, unido a la motivación por la temática que dichos alumnos tienen, ya que han elegido la asignatura libremente de entre una amplia oferta de optatividad, facilita el uso de una metodología docente que fomenta la participación del alumno en su proceso de aprendizaje.

2.2. Contenido curricular

Según la Memoria de la Titulación [7], los contenidos de DRI deben de abarcar la siguiente temática: “*Protocolos y arquitecturas de redes inalámbricas. Configuración avanzada de redes inalámbricas. Seguridad y auditoría de redes inalámbricas. Dispositivos portables. Sistemas operativos para dispositivos portables. Conectividad inalámbrica de dispositivos móviles. Desarrollo de aplicaciones portables. Fundamentos de las redes de sensores. Componentes hardware y software de las redes de sensores. Arquitectura de las redes de sensores*”. Como se puede observar, su temática está directamente relacionada con el paradigma de la IoT.

Para cumplir con los contenidos de la asignatura, ésta se ha dividido en tres bloques temáticos:

■ **Bloque 1: Redes WiFi**

Este bloque se imparte durante las primeras 8 semanas aproximadamente del cuatrimestre. En el primer tema el alumno aprenderá a elegir entre distintas configuraciones de red WiFi, según los requerimientos topológicos de la infraestructura a desplegar.

El tema 2 de este primer bloque está destinado a la protección de redes WiFi. En este tema el alumno aprenderá el funcionamiento de las distintas técnicas de encriptación utilizadas, y como configurarlas. Y al final del mismo sabrá como elegir la técnica más adecuada a cada caso. Por último, el alumno aprenderá a detectar puntos de acceso falsos, y como evitar ese tipo de ataques.

■ **Bloque 2: Redes WiMax**

Este bloque se desarrollará durante aproximadamente 4 semanas, centrándose sobre el estudio y configuración de redes WiMax. En él, el alumno aprenderá a describir el funcionamiento de una red WiMax, y sabrá cuales son los parámetros más importantes que determinan el rendimiento de una red de estas características.

Afortunadamente en el campus de Albacete, se dispone de una infraestructura WiMax, que se adquirió para la realización de un proyecto de investigación, y que el grupo RAAP cede amablemente para su utilización en labores docentes. Esto permite que los alumnos puedan experimentar con una red WiMax real, y así aprendan qué parámetros de configuración son los más importantes a la hora de poner en funcionamiento este tipo de redes, y cuales son imprescindibles a la hora de dar soporte de QoS a las distintas conexiones de la red.

■ **Bloque 3: Bluetooth™ Low Energy (BLE).**

La duración de este bloque temático es de 4 semanas, y en él el alumno

estudiará la tecnología BLE utilizada en la IoT. Siendo capaz de explicar el funcionamiento de la misma, además de desarrollar pequeñas aplicaciones de comunicación entre dos o más dispositivos que utilizan esta tecnología de red.

Este es el bloque en el que se centra el trabajo que aquí se presenta. Una descripción más detallada de su contenido, actividades que en él se programan, y material utilizado durante su desarrollo se verán en la sección 3

2.3. Metodología y evaluación

Desde el punto de vista metodológico, la asignatura se centrará en el empleo de técnicas docentes que fomentan la participación del alumno en su proceso educativo. Así, el papel que toma el profesor en el proceso educativo, en esta asignatura, es puramente de guía y apoyo. Él es el encargado de proporcionar al alumno el material necesario para la adquisición de competencias, el preparar las actividades que los estudiantes deben de realizar, y como no, durante la realización de dichas actividades ayudará al estudiante en la resolución de las dudas que se le presenten.

En concreto se utilizarán conjuntamente dos técnicas docentes: por un lado, la técnica de educación inversa, y por otro el aprendizaje basado en proyectos. Ambas técnicas se combinarán adecuadamente para que el alumno adquiera las competencias previstas para esta asignatura.

Educación inversa y DRI

La Educación inversa (en inglés *flipped learning*) [5] es una modelo pedagógico que replantea drásticamente los roles de cada uno de los participantes en el proceso educativo, y el proceso educativo en sí mismo.

La idea que subyace en la metodología de la educación inversa es hacer al alumno responsable de su aprendizaje, ya que es él quien debe controlar su proceso educativo, y por tanto debería ser el agente más activo durante toda su formación.

Por ello, en el caso de la educación inversa algunos procesos de aprendizaje se sacan fuera del aula. Así la teoría, que habitualmente se impartía mediante una clase magistral, ahora se saca fuera de clase. Al alumno se le proporciona la documentación necesaria, no solo escrita, sino en cualquier soporte audiovisual, para que éste la estudie fuera del aula. Quedando el tiempo del aula liberado de teoría, y pudiéndose dedicar casi exclusivamente a realizar problemas, prácticas o cualquier otro tipo de actividad destinada al desarrollo de las competencias prácticas del alumno.

Es evidente, que esta nueva metodología implica un cambio de la perspectiva con la que el profesor debe de afrontar una clase. Ahora, el docente no se puede limitar a ser un simple ponente de teoría en una clase magistral. Sino, que al contrario, será un guía en el aprendizaje del alumno. Es decir, las funciones del profesor cambian, y ahora se centran en:

1. Seleccionar el material a proporcionar al alumno para que este sea capaz de adquirir los conocimientos teóricos necesarios para superar la asignatura. Así como, determinar el mejor mecanismo para comunicar dicha teoría: texto, presentación, animaciones, vídeos, o cualquier otro soporte audio-visual.
2. Programar un conjunto de actividades que: por un lado, obliguen al alumno a trabajar en el material teórico proporcionado. Y por otro, permitan el desarrollo de habilidades directamente relacionadas con las competencias a tratar en la asignatura en cuestión.
3. Ser el guía en el aprendizaje de sus alumnos. En contra de lo que a primera vista puede parecer, esta nueva metodología no aleja al profesor del alumno sino todo lo contrario. Al sacar la teoría de la clase, y dedicar el tiempo de aula a la realización de actividades prácticas, el profesor es capaz de identificar los problemas y/o dudas que tienen sus alumnos, interactuando más estrechamente con ellos, y reaccionar resolviendo dichas dudas, o proponiendo nuevas actividades que ayuden a los alumnos a superar dichas dificultades.

Como se puede ver, esta nueva metodología requiere una mayor implicación del alumno en su aprendizaje, como es razonable: el que algo quiere (si quieres aprender) algo le cuesta (debes estudiar). Pero no solo a él, sino que el profesor debe de estar más activo en clase, identificando a los alumnos que presenten problemas, y ayudándoles. Y como no, adaptando el ritmo de aprendizaje a las características de sus estudiantes.

Aprendizaje Basado en Proyectos y DRI

La metodología denominada Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) [9], se basa en la investigación y reflexión de los alumnos para llegar a solucionar un problema que se les plantea.

El objetivo es que el estudiante, basándose en la información que el profesor le proporciona, y en su propia búsqueda de recursos; sea capaz de dar una solución a un determinado problema, que no tiene por que ser muy complejo.

Una de las principales ventajas de esta metodología docente es el aumento de motivación en los estudiantes. Estos al enfrentarse al reto de resolver un determinado problema, ven la utilidad de lo aprendido, y cómo poner en práctica las competencias trabajadas en la asignatura. Es evidente, que la experiencia de aprendizaje es mucho más satisfactoria cuando el estudiante comprueba la utilidad de lo estudiado.

Claro está, que el éxito de esta técnica depende mucho de: el material proporcionado por el profesor a los estudiantes, del problema a resolver, y de la actitud del profesor durante el periodo de resolución del problema por parte del alumno.

El material proporcionado debe de centrarse en aquello que es necesario para la resolución del problema. No tiene por qué incluir toda la información necesaria, ya que si queremos que los estudiantes realicen tareas de documentación deberíamos dejar que sean ellos los que busquen dicha información. Pero sí que al alumno le deberemos dar una guía clara de lo que necesitaría saber.

Por otro lado, el problema a resolver deberá de ser de una dificultad acorde al nivel de aprendizaje que el alumno tiene en el momento de abordarlo. Un problema de mucha dificultad provoca la desmotivación del alumnado, mientras que un problema sencillo no anima al aprendizaje. Además, el problema es aconsejable que sea lo más realista posible. Y si tenemos oportunidad, su resolución debería dar como resultado algo tangible, no solo un resultado numérico o la solución a una pregunta. Es preferible que el resultado sea algo como: un programa que haga una tarea, aunque ésta sea sencilla, una configuración determinada de dispositivos de red que nos proporcione determinada conectividad, o cualquier cosa cuya utilidad sea, aunque limitada, palpable.

Como en el caso de la educación inversa, en esta metodología el alumno es el protagonista de su aprendizaje, y toma un papel totalmente activo en el mismo. Al profesor se le reserva el papel de guía, y será el encargado de: proporcionar la documentación necesaria, o las indicaciones necesarias para poder obtenerla; también tendrá la responsabilidad de diseñar problemas motivadores y de dificultad abordable por sus alumnos. Y evidentemente, a lo largo de todo el proceso el profesor deberá estar al lado del alumno para ayudarle a resolver cualquier duda que a éste se le plante.

Evaluación

El proceso de evaluación no debe ser entendido simplemente como un mecanismo para determinar el grado de consecución de objetivos de aprendizaje por parte del alumnado. De ser entendido así, limitaríamos mucho el potencial de la misma.

La evaluación nos da la oportunidad de conocer el estado del proceso de aprendizaje del alumno, cuales son sus carencias y cuales sus logros. Una buena planificación temporal de la evaluación nos permitirá reaccionar a tiempo a problemas en el proceso de aprendizaje, ya sean estos, particulares de un pequeño grupo de alumnos o generalizados en toda la clase.

También la evaluación se deberá usar como una herramienta motivadora del estudio. El alumno como cualquier persona intenta rentabilizar al máximo sus esfuerzos, por lo que concentrar el mayor porcentaje de la calificación final de la asignatura en un número limitado de pruebas, que además la mayor parte de las veces están agrupadas temporalmente, alienta al estudiante a limitar sus esfuerzos de aprendizaje solo en la preparación de dichas pruebas y durante un periodo de tiempo cercano a las actividades que más peso tienen en su calificación final.

Siguiendo las ideas expuestas, la evaluación de la asignatura se centra en lo que comúnmente se conoce como evaluación continua. Se ha optado por eliminar el clásico examen final, que aportaba generalmente la mayor parte de la nota final de la asignatura, por un conjunto de actividades evaluables distribuidas a lo largo de la asignatura. Estas actividades son las siguientes:

- **Cuestionarios de asimilación.** Dado que la metodología de aprendizaje tiene uno de sus pilares en la educación inversa, es conveniente que el profesor conozca, en cada momento del proceso de aprendizaje, el nivel de asimilación de conocimientos que tienen sus alumnos. Este es el principal objetivo de

esta actividad evaluadora. Por ello, la actividad es individual, y consiste básicamente en un cuestionario donde se plantean cuestiones relacionadas con la comprensión de los conceptos que el alumno debería de haber adquirido tras el estudio de la documentación proporcionada por parte del profesor.

El objetivo no es tanto el calificar el estudio del alumno, sino el identificar posibles problemas a la hora de adquirir conocimientos o relaciones de ideas, fundamentales para la realización de las actividades posteriores.

La corrección de estos cuestionarios deberá de ser rápida, para detectar los problemas de aprendizaje lo antes posible, y de esta forma plantear soluciones a tiempo.

Es evidente que el éxito de esta prueba de evaluación es que los alumnos trabajen el material proporcionado por el profesor. Pero para ello deberán tener una motivación. Ésta se intenta proporcionar asignando a esta actividad de evaluación el 10 % de la calificación final de la asignatura.

- **Prácticas de laboratorio.** Como su nombre indica estas actividades de evaluación consisten en la realización en el laboratorio de algún tipo de trabajo orientado al diseño e implementación de alguna configuración de red o aplicación que resuelva algún problema previamente planteado.

La metodología a seguir para la realización de las prácticas de laboratorio es la del aprendizaje basado en proyectos: al alumno se le ha proporcionado documentación y material para adquirir determinados conocimientos. El nivel de asimilación es evaluado mediante los cuestionarios de asimilación comentados en el punto anterior, y si este nivel no es satisfactorio se corrige dudas o problemas de asimilación. Cuando el nivel de asimilación de los conceptos es el adecuado, el alumno deberá de utilizarlos para dar solución al problema planteado en la práctica que se desarrollará en el laboratorio. Para fomentar el aprendizaje colaborativo la actividad se realizará en grupos de dos o tres alumnos.

La práctica tendrá distintos objetivos a conseguir o realizar, determinado la calificación final de la actividad el número de objetivos alcanzados. El peso de esta actividad de evaluación en la calificación final será de un 60 %.

- **Pruebas de progreso.** Esta actividad de evaluación consistirá básicamente en la realización de un pequeño cuestionario donde se pongan a prueba los conocimientos y destrezas adquiridos por el alumno tras la finalización de un tema o bloque temático de la asignatura.

El objetivo de la actividad es la evaluación del nivel de asimilación final de competencias que cada alumno ha adquirido al final de cada tema o bloque temático. Como se puede deducir son actividades individuales, y se les ha asignado un porcentaje del 30 % de la calificación final de la asignatura.

Como soporte para la impartición de la asignatura se utilizará el espacio de que dispone la asignatura DRI dentro del campus virtual de la UCLM. Dicho campus virtual utiliza el sistema de gestión de contenidos docentes Moodle [4].

La herramienta Moodle se utilizará tanto para la distribución de contenidos a los alumnos, como para la presentación de los resultados de las prácticas de laboratorio, realización de las pruebas de progreso y cuestionarios de asimilación, así como para la calificación de los logros conseguidos por el alumno.

3. La IoT en la asignatura DRI

Como ya se ha introducido en la sección 2.2 uno de los contenidos que debe desarrollar la asignatura DRI según la memoria de verificación de los estudio de grado es el relacionado con la IoT. En concreto estos contenidos se desarrollan en el tercer bloque temático de la asignatura (Bloque 3: Bluetooth™ Low Energy).

El bloque temático se desarrollará durante un mes, por lo que la carga crediticia asignada a esta temática será de 1.5 créditos ECTS, lo que corresponde a unas 37 horas de dedicación (contando las 4 horas de clase presencial semanal que tiene asignada la asignatura).

3.1. Objetivos docentes

Los objetivos de aprendizaje que el alumno debe alcanzar al finalizar este bloque temático son:

1. Poder explicar el funcionamiento de BLE.
2. Determinar en qué circunstancias el protocolo BLE puede proporcionar una comunicación entre dos dispositivos, y en qué situaciones no es una solución válida.
3. Identificar los principales problemas que hay que solucionar a la hora de desarrollar aplicaciones para la IoT.
4. Diseñar e implementar pequeñas aplicaciones, usando BLE, que comuniquen dispositivos de la IoT.

Para la consecución de estos objetivos se han planteado una serie de actividades a realizar que se comentarán más adelante. Además parece más que conveniente el uso de dispositivos reales para la realización de las práctica de laboratorio. Esta conveniencia se ve reforzada por el bajo coste de este tipo de hardware que permite la adquisición de un pequeño laboratorio BLE por un coste no superior a 600€.

A continuación se detallará tanto el hardware como el software necesario para la realización de las actividades que se describirán más adelante en esta misma sección.

3.2. Hardware y Software necesarios

La infraestructura que deberemos tener para poder realizar las actividades destinadas a la consecución de los objetivos que se plantean para esta parte de la asignatura es muy simple.

En referencia al hardware, los requerimientos por alumno o grupo de alumnos (no más de tres alumnos por grupo) son:

- Un PC con tarjeta WiFi.

- Un *smartphone*. No es necesario disponer de un *smartphone* por alumno en el laboratorio, sino que se pueden utilizar los propios *smartphone* de los alumnos para la realización de las actividades.
 Esto tiene la ventaja de motivar al alumno en la realización de las actividades, ya que le permite comprobar como algo que él está implementando funciona, no solo en un elemento del laboratorio, si no en un aparato de uso cotidiano para él. Es decir, tiene una retroalimentación positiva al ver como el fruto de su esfuerzo se plasma en algo tangible que él puede utilizar, llevárselo en su bolsillo, y luego enseñárselo a sus familiares y amigos.
- Un **BLE sniffer**. En nuestro caso hemos optado por el fabricado por Adafruit™ [1]. Este es un dispositivo USB que proporciona conectividad BLE a nuestro PC; con soporte tanto para Linux, Windows como OS X.
 Se utiliza para capturar cualquier tráfico BLE transmitido en el radio de cobertura del dispositivo. De esta manera mediante la herramienta de análisis de protocolos wireshark se puede estudiar el funcionamiento del protocolo BLE, analizando el contenido de las tramas transmitidas, su temporización y significado.
- Un **microcontrolador Arduino con conectividad BLE**. En nuestro caso hemos seleccionado el LightBlue™ Bean [3], aunque podría ser otro. Este es un microcontrolador Arduino con sensor de temperatura, movimiento y un LED RGB, que funciona con una pila de botón CR2032.
 Su elección se realizó porque permite realizar operaciones de captura de datos del dispositivo, temperatura y movimiento, y también operaciones de escritura, modificación del nivel RGB con el que iluminar el LED.
 Además LightBlue™ proporciona la aplicación *LightBlue Explorer* para iOS que permite la interacción directa con el dispositivo desde un iPhone.

En referencia al software necesario, éste se limita a lo siguiente:

- El analizador de protocolos **wireshark** [6]. Esta aplicación es distribuida bajo licencia GNU GPL, y su código está disponible. Por ello es compatible con cualquier sistema operativo Linux, Windows u OS X.
 Su uso será la captura y análisis de tráfico BLE para su estudio. De esta forma el alumno podrá comprobar como lo visto en teoría sobre el funcionamiento del protocolo BLE se da en una comunicación real entre dos dispositivos BLE.
- La herramienta de desarrollo **Evothings Studio** [2]. Este entorno de desarrollo permite mediante el uso de HTML5 y JavaScript la implementación rápida y sencilla de aplicaciones para interactuar con dispositivos de la IoT desde un móvil, ya sea Android o iOS.
 La sencillez de uso, y sobre todo el rápido ciclo de desarrollo que la herramienta implementa permite que: directamente desde el PC donde se está desarrollando la *app*, se instale en un *smartphone* conectado a la misma red WiFi que el PC, quedando dicha *app* lista para su uso. Además, cualquier modificación que se realice en el código, es trasladada en tiempo real al *smartphone* asociado.

A esto hay que añadir que la herramienta tiene un gran número de librerías para interactuar con dispositivos de distintos fabricantes, y que soporta las tecnologías de comunicación más utilizadas en la IoT, entre ellas BLE.

3.3. Actividades

Dado que el bloque temático dedicado a la IoT en la asignatura se limita a cuatro semanas, las actividades a realizar deberán programarse dentro de este periodo de tiempo. Además, hay que tener en cuenta que aquellas actividades que deban utilizar tanto los dispositivos LightBlue™ Bean como los Adafruit™ BLE Sniffer, deberán realizarse en el laboratorio única y exclusivamente, ya que los alumnos no disponen, por regla general de este hardware.

Así pues teniendo en mente las restricciones temporales y los objetivos docentes vistos en la sección 3.1, las actividades a programar son:

Actividad 1: Estudio del protocolo BLE

La actividad se realizará durante la primera semana de las cuatro de que disponemos, y se ha de realizar en el laboratorio durante las cuatro horas lectivas semanales.

Previamente al comienzo de la actividad el alumno deberá de realizar un estudio autónomo del material que el profesor le ha proporcionado en la plataforma Moodle. El material describirá el funcionamiento del protocolo BLE, centrándose en los procesos de descubrimiento de dispositivos, establecimiento de conexión, obtención de lista de servicios prestados por un dispositivo y acceso a los servicios de un dispositivo BLE. En el material se analizará para cada caso tanto el formato de los mensajes a intercambiar como la temporización y el significado de los mismos.

Antes del comienzo de la actividad se realizará un pequeño cuestionario sobre los conceptos estudiados, para que el profesor pueda detectar problemas de asimilación de los mismos, y así poder resolver dichas dudas y corregir errores de comprensión antes de realizar la actividad.

La actividad en sí consiste en capturar tráfico BLE intercambiado entre un *smartphone* en el que se ejecuta la aplicación *LightBlue Explorer* o una similar. La captura se realiza mediante el Adafruit™ BLE Sniffer, y más tarde es analizada utilizando Wireshark. Un esquema de la topología de red utilizada en la actividad se muestra en la Figura 1.

El objetivo del análisis de los mensajes capturados es identificar cada una de las etapas por las que pasa la comunicación BLE entre dos dispositivos de la IoT. Este análisis puede hacerlo el alumno en casa, una vez posea los ficheros de captura. Por lo que el tiempo de la primera sesión de laboratorio, una vez capturado el tráfico, se empleará en analizar la influencia en la calidad de la comunicación del número de dispositivos de la IoT presentes, o de la distancia entre los mismos.

Una vez realizado el análisis de la captura, y resueltas todas las dudas por parte del profesor. Antes de la finalización de la segunda sesión de laborato-



Figura 1. Topología a utilizar en la Actividad 1.

rio de la semana se realizará una prueba de progreso que medirá el nivel de conocimiento que el alumno ha alcanzado sobre el protocolo BLE.

Actividad 2: Descubrimiento de dispositivos y servicios Esta tarea se realizará durante la segunda semana y primera sesión de la tercera semana, del mes dedicado a la temática de la IoT. Y su objetivo principal es que el alumno demuestre que ha entendido los procesos de descubrimiento de dispositivos vecinos y de sus servicios. Además de diseñar e implementar una pequeña aplicación para dispositivos de la IoT.

Como en la actividad anterior antes de la primera sesión de laboratorio de esta actividad, al alumno se le habrá proporcionado material para que lo trabaje de manera individual mediante trabajo autónomo.

En concreto el material que se le proporciona al alumno es:

- Enunciado de la actividad.
- Un tutorial sobre el funcionamiento de la herramienta de desarrollo Evot-hings que deberán de utilizar durante la realización de esta actividad práctica.
- Una descripción de las APIs incluidas en Evothings Studio para el descubrimiento tanto de dispositivos como de servicios.

Antes del comienzo de la actividad, antes de la primera sesión de laboratorio dedicada a esta actividad se realizará un prueba o cuestionario de asimilación



Figura 2. Topología a utilizar en la Actividad 2 y 3.

de contenidos. Esta irá destinada a asegurarnos de que los alumnos entienden los pasos a realizar para el descubrimiento de dispositivos y servicios ofertados por los mismos. Aprovecharemos el cuestionario para resolver posibles dudas o lagunas.

La actividad consistirá en realizar, dada la topología de la Figura 2, un programa mediante Evothings Studio para el *smartphone* del alumno (ya sea Android o iPhone). La aplicación debe ser capaz de descubrir todos los dispositivos BLE que están en su área de cobertura. Los debe listar por pantalla y permitir la selección de uno de ellos. Tras la selección del dispositivo la aplicación deberá de mostrar la lista de servicios que el dispositivo es capaz de ofrecer.

Una vez realizado el programa el alumno deberá hacer la entrega del mismo mediante la plataforma Moodle, para que sea evaluado por el profesor.

Actividad 3: Consumo de servicios de la IoT Esta última actividad práctica del bloque, a la que se le asigna un tiempo de semana y media (un total de tres sesiones de laboratorio), tiene como objetivo el desarrollar una aplicación que acceda al servicio proporcionado por un dispositivo de la IoT y haga uso del mismo.

Para la realización de la práctica se utilizará la misma topología de la Actividad 2, mostrada en la Figura 2. Y al igual que en la actividad anterior, al alumno se le proporcionará antes del comienzo de la primera sesión de laboratorio asociada a esta actividad el material necesario para la realización de la misma. Este material consistirá en:

- Enunciado de la actividad
- Descripción de la API de Evothings necesaria para el acceso y utilización de los servicios de un dispositivo de la IoT.

Del mismo modo que en la actividad anterior, se programará un pequeño cuestionario o prueba en la que se detecte si el conjunto de estudiantes ha asimilado correctamente los contenidos necesarios para la realización de la práctica.

En concreto, si son capaces de identificar los pasos a seguir para el acceso y utilización de un servicio de la IoT.

Esta práctica es una continuación directa de la Actividad 2. De hecho, el alumno lo que debe hacer es completar la funcionalidad del programa desarrollado en dicha actividad. En él se descubrían los dispositivos y servicios que ofertaba la IoT. Pues ahora en esta actividad, el alumno deberá de seleccionar un determinado servicio de los descubiertos y acceder a él.

Hay que tener en cuenta que los dispositivos de los que disponemos, LightBlue™ Bean, ofrecen los siguientes servicios: lectura de la temperatura ambiente, lectura de la aceleración en las tres dimensiones de manera independiente, e iluminación de un LED RGB según los valores que le proporciona el usuario.

De los tres servicios el alumnos deberá de seleccionar dos: uno de lectura, y el de iluminación del LED. De tal forma, que el programa deberá, por ejemplo, leer periódicamente el valor de la temperatura (o aceleración espacial), mostrarla en la pantalla de su *smartphone*, y actualizar el valor de iluminación del LED RGB, también periódicamente, con un valor variable. El cálculo de este valor puede ser aleatorio, o dependiente del valor de temperatura (o aceleración) leído; pero en cualquier caso deberá de cambiar de una actualización a otra para que visualmente se pueda ver directamente en el LightBlue™ Bean dichos cambios.

La actividad se evaluará analizando código del programa que, una vez finalizado, ha de ser entregado en la plataforma Moodle de la asignatura.

Por último, al final del bloque dedicado a la IoT se realizará una prueba de progreso individual en la que el alumno demuestre el nivel de competencias alcanzado.

4. Conclusiones

Una de nuestras responsabilidades como docentes universitarios es la de adaptar el contenido de nuestras asignaturas a la evolución del conocimiento, y así ofertar a nuestros alumnos una formación acorde con la evolución tecnológica y la demanda social.

Es indudable que la IoT es un nuevo paradigma de comunicación, cuyo uso está creciendo exponencialmente en los últimos años, y del que se espera que en la próxima década se convierta en algo omnipresente en la sociedad del mundo desarrollado. Por ello, como docentes, no deberíamos dar la espalda a esta realidad, e intentar formar lo antes posible a nuestros alumnos en la tecnología a la que, con toda seguridad, se van a enfrentar en un corto periodo de tiempo.

En realidad el esfuerzo a realizar por el profesorado para la impartición de esta temática, no es mucho mayor que el que se ha de realizar para otra temática distinta. La tecnología está lo suficientemente madura como para encontrar software y hardware de fácil configuración y uso, a un coste muy bajo: un dispositivo de la IoT puede estar rondando los 30€, y la mayor parte del software de desarrollo de aplicaciones es de código abierto y libre acceso.

Desde el punto de vista del alumnado, los conceptos a tratar, no son mucho más difíciles que los estudiados en otra asignatura de redes. Además, existen

herramientas de desarrollo de aplicaciones para la IoT, que utilizan lenguajes como HTML5 y JavaScript, y permiten el desarrollo de “apps” (para Android o iOS) de manera rápida y sencilla. Lo que produce una motivación extra en el alumno, que ve como puede desarrollar aplicaciones para su *smartphone* que interactúan con dispositivos de la IoT.

Por todo ello, el incluir la tecnología IoT en el temario de una titulación de Grado en Ingeniería Informática es una decisión que no debe verse condicionada por la falta de recursos hardware y/o software disponibles, 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 el plan de estudios de una Ingeniería Informática.

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a Teresa Olivares Montes, profesora del Dpto. de Sistemas Informáticos de la UCLM, a Vicente López Camacho, Técnico de Laboratorio del Instituto de Ingeniería Informática de Albacete, a Diego Hortelano Haro, estudiante de doctorado del Dpto. de Sistemas Informáticos, y a Celia Garrido Hidalgo, estudiante de Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, por ayudarme a entender y conocer tanto la tecnología IoT, como las herramientas software y hardware que actualmente existen para ella.

Referencias

1. Adafruit™ Bluefruit LE Sniffer, <https://learn.adafruit.com/introducing-the-adafruit-bluefruit-le-sniffer>
2. Evthings Studio, <https://evthings.com/>
3. Lightblue™ Bean, <http://legacy.punchthrough.com/bean/>
4. Moodle, <https://moodle.org/>
5. Proyecto “*The Flipped Classroom*”, <http://www.theflippedclassroom.es/>
6. Wireshark, <https://www.wireshark.org/>
7. Escuela Superior de Ingeniería Informática de Albacete: Memoria para la solicitud de verificación de títulos oficiales. Propuesta de título de Grado en Ingeniería Informática. Universidad de Castilla-La Mancha (2015), http://www.esiiaab.uclm.es/grado/docs/Grado_Ingenieria_informatica.pdf
8. ITU-T: Recommendation ITU-T Y-2060: Overview of the Internet of Things. ITU (International Telecommunication Union) (January 2012), <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11559>
9. Servicio de Innovación Educativa de la Universidad Politécnica de Madrid: Aprendizaje Basado en Problemas (2008), http://innovacioneducativa.upm.es/guias/Aprendizaje_basado_en_problemas.pdf
10. Reddy, A.S.: Reaping the benefits of the Internet of Things. Tech. rep., Cognizant (2014), <http://www.cognizant.com/InsightsWhitepapers/Reaping-the-Benefits-of-the-Internet-of-Things.pdf>
11. Bluetooth SIG: Bluetooth core specification 4.2. Tech. rep., Bluetooth SIG (Diciembre 2014), https://www.bluetooth.org/DocMan/handlers/DownloadDoc.ashx?doc_id=286439