

# Diseño de un proyecto para aprender Industria 4.0 aplicando IoT a un huerto urbano

Javier Hormigo, y Andrés Rodríguez

**Resumen**—La rápida evolución de las tecnologías fuerza a los profesores a sacrificar contenido por aprendizaje autónomo. El aprendizaje basado en proyectos (ABP) es una de las mejores maneras de promover el aprendizaje autónomo y al mismo tiempo aumentar la motivación. En este trabajo, presentamos nuestra experiencia de diseñar un curso de ABP para Informática Industrial. Ofrecemos todos los detalles del diseño que podrían ayudar a otros profesores a reproducir una experiencia similar. Además, mostramos el impacto que este proyecto tiene en la motivación y satisfacción del estudiante. El nuevo tema de industria 4.0 nos permite llevar a cabo proyectos completos, integrando diferentes herramientas y tecnologías. Además, la selección de software libre y tecnologías estándar de código abierto facilita el acceso libre a las plataformas de hardware y software utilizadas. Las encuestas nos enseñan que orientar los cursos hacia el desarrollo de proyectos reales en esta temática, tiene un gran impacto en la aceptación, el aprendizaje, la consecución de los objetivos y la motivación hacia los contenidos del curso.

## I. INTRODUCCIÓN

ESTE documento es una versión ampliada y mejorada de la ponencia presentada en el TAEE2018 [1], que presenta la implementación de una metodología de aprendizaje basado en proyectos (ABP) en la signatura Informática Industrial. Aquí proporcionamos nuevos detalles del diseño del curso que pueden ser muy útil para alguien que quiera reproducir una experiencia similar. Específicamente, presentamos una descripción detallada de las tareas que el estudiante tenía que entregar y la rúbrica proporcionada con el fin de guiarlos para conseguir un resultado profesional. En cambio, otros detalles descritos en [1] se han resumido para dejar espacio para el nuevo contenido.

Informática industrial es un curso de 60 horas que corresponde al cuarto año del Grado en Ingeniería Electrónica, Robótica y Mecatrónica en la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Málaga. Por lo general, hay unos 40 estudiantes en el curso. En este curso, introducimos el nuevo "Industry 4.0" [2] a través de conceptos como Internet de las cosas (IoT), sistemas cibernéticos y computación en la nube.

Hay varias razones para seleccionar una metodología ABP [3][4]. Primero, teniendo en cuenta la rápida evolución de la tecnología en este campo, preparar a los estudiantes para el aprendizaje autónomo debe ser una prioridad para cualquier plan de estudios de ingeniería. En segundo lugar, al ser una asignatura de último año, se busca un enfoque

más práctico. Tercero, se ha demostrado que el ABP mejora en gran medida la motivación de los estudiantes [5][6]. Esta cualidad es muy importante, ya que nuestros estudiantes suelen ser reacios a adoptar el aprendizaje autónomo. Por otro lado, también se ha usado aprendizaje cooperativo, ya que las habilidades del trabajo en equipo son también fundamentales para cualquier ingeniero. Además de eso, al trabajar en grupos, los estudiantes pueden lograr un proyecto completo y también facilita la supervisión del progreso en el trabajo por parte de los profesores.

Para ser realmente efectiva, la metodología de ABP requiere de un proyecto creíble y tangible [4]. Pensamos que un huerto urbano podría ser un lugar ideal para diseñar un sistema ciberfísico mediante la implementación de varios nodos de IoT. Estos nodos de IoT podrían recopilar datos del huerto y también realizar alguna actuación. Los datos recopilados también podrían procesarse en la nube y el aprendizaje automático podría utilizarse para tomar las diferentes decisiones. Para ello, acordamos una cooperación con el Departamento de Biología Vegetal, donde tienen un huerto urbano, para lanzar un proyecto que podría ser útil tanto para sus estudiantes como para los nuestros. Además, la colaboración interdisciplinar también puede ser una forma interesante de enriquecer la experiencia.

Otro aspecto importante del proyecto es el uso de plataformas de software libre/ hardware libre. La extensa comunidad de desarrolladores que utilizan estos sistemas abiertos ofrece una gran cantidad de ejemplos en línea, tutoriales, vídeos, etc. Estos son materiales que nuestros estudiantes prefieren a los libros de texto clásicos o manuales de referencia. Además, el uso de tales plataformas de hardware libre estimula la curiosidad natural y el deseo de probar y experimentar por su cuenta. Muchos de ellos muestran interés en adquirir estos materiales para usarlos en casa en pequeños proyectos propios.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: la Sección II describe el proyecto asignado a los estudiantes, incluyendo las entregas y la rúbrica para la evaluación; en la Sección III, resumimos la planificación del curso y las actividades para la evaluación; en la Sección IV, mostramos los resultados y discutimos problemas y posibles soluciones; finalmente, la Sección V presenta las conclusiones de este trabajo.

## II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En esta sección, resumimos la descripción del proyecto y las diferentes tecnologías involucradas. Una explicación detallada de éstos, incluyendo el enunciado completo entregado a los

estudiantes, se puede encontrar en [1]. Además, proporcionamos una nueva descripción detallada de las tareas individuales que el estudiante tuvo que entregar, y las diferentes rúbricas que se utilizaron para ayudarlos a completar la tarea con éxito.



Figura 1. Huerto urbano en la Facultad de Ciencias

### II-A. Enunciado del Proyecto

El proyecto se presentó como una colaboración real con el Departamento de biología vegetal para mejorar sus estudios en su huerto urbano (Fig.1). El proyecto consistía en diseñar e implementar un sistema de supervisión y control del huerto urbana. Este sistema debía incluir:

- Nodos IoT basados en el módulo Wi-Fi ESP8266: un "nodo sensor" para medir y transmitir parámetros fundamentales de manera inalámbrica (temperatura, humedad, radiación solar ...), y un "nodo actuador" que recibe órdenes a través de la red de comunicación inalámbrica para controlar válvulas de riego y otros actuadores;
- Una "estación base", basada en la Raspberry Pi, con un sistema SCADA y una base de datos. También sirve como intermediario de mensajes para la comunicación de IoT (mediante el protocolo MQTT) y recibe la información de los "nodos sensores", los almacena y los sube a la nube;
- Una interfaz web gráfica para la interacción con los usuarios, que se aloja en la "estación base" y se programa utilizando Node-RED.

Junto con la descripción del sistema (ver Fig. 2), se detallan los requisitos funcionales y no funcionales. Además, el enunciado del proyecto contiene una lista de tareas, con sus plazos correspondientes y sus ponderaciones en la puntuación final, y una lista de los componentes disponibles en el laboratorio.

### II-B. Tecnologías involucradas

El proyecto se desarrolla utilizando varios programas de software libre y plataformas hardware libres:

- Plataforma ESP8266 para nodos IoT. Es una tarjeta de desarrollo de hardware libre con un microcontrolador y tecnología Wi-Fi. La tarjeta se programa utilizando scripts Lua, gracias al firmware de código abierto NodeMcu, que proporciona un conjunto completo de módulos listos para usar [7]. El firmware se actualiza mediante el entorno de desarrollo (ESPlorer IDE [8]) a través de la interfaz USB integrada.

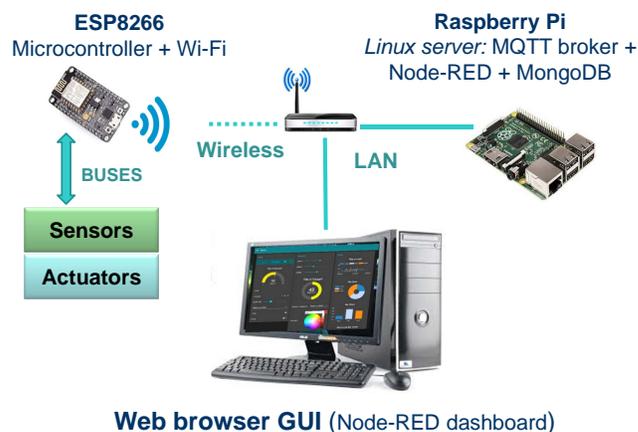


Figura 2. Arquitectura principal del sistema del proyecto

- Plataforma Raspberry Pi para la estación base. La Raspberry Pi ejecuta el último sistema operativo Raspbian.
- Herramienta de programación Node-RED para el SCADA. Node-RED es una herramienta de programación de código abierto basada en flujo [9]. Éste proporciona un editor basado en navegador para la programación mediante la creación de flujos interconectando una amplia gama de nodos.
- Protocolo MQTT para la comunicación entre los nodos IoT y la estación base. MQTT es un protocolo de conexión máquina a máquina (M2M) para IoT, basado en mensajes y un modelo de publicación/suscripción. Requiere la instalación de un agente de mensajes de IoT en la estación base como el agente de MQTT de código abierto Eclipse Mosquitto [10]. Dentro de los mensajes, elegimos usar JSON (Notación de objetos de JavaScript) [11] para formatear los datos.
- Base de datos MongoDB. Es una base de datos No-SQL gratuita, de código abierto, que almacena datos en documentos tipo JSON [12].

### II-C. Descripción detallada de las tareas

A pesar de ser estudiantes en su cuarto año, nuestros estudiantes necesitaban una orientación clara y específica para mantener adecuadamente el desarrollo del proyecto. Además del enunciado del proyecto reproducido en [1], les proporcionamos una descripción específica de cada tarea y la rúbrica para su evaluación. Esta información se proporcionaba para ambos tipos de tareas: prototipos y documentación. Nuestro objetivo para la rúbrica era más formativo que de evaluación, y por consiguiente, las rúbricas eran más cualitativas que cuantitativas. las tareas se planificaron para ayudar al estudiante a alcanzar el plazo final a tiempo. En general, la documentación de una parte del sistema se programó deliberadamente antes del prototipo de esa parte, para que los estudiantes tuvieran que pensar y planificar. A continuación, reproducimos los ejemplos más representativos de las especificaciones de las tareas.

*II-C1. Documento técnico del nodo sensor:* Esto fue lo primero que tuvieron que entregar. A continuación, el contenido del documento que distribuimos:

¿Qué debe contener el documento?

- Contexto y resumen general del funcionamiento del nodo.
- La lista de sensores que se utilizarán, con una descripción y la razón para usarlos.
- El esquema del conexionado del nodo sensor.
- Un diagrama de flujo del funcionamiento del nodo sensor.
- Listado de funciones que se utilizarán para comunicarse con los sensores, incluidos los parámetros de entrada/salida y la descripción del funcionamiento.
- Lista de funciones que se utilizarán para comunicarse con la estación base, incluidos los parámetros de entrada/salida y la descripción del funcionamiento. Nota: esta parte se completará cuando estudiemos los protocolos de comunicación.
- Otras funciones que considere necesarias para el correcto funcionamiento del nodo.
- Otras consideraciones técnicas no descritas anteriormente.

¿Cómo será evaluado el documento?

- Bien escrito y claro
  - Bien: El documento no tiene errores ortográficos. Utiliza un lenguaje sencillo que se entiende perfectamente. El documento está bien editado: tiene una apariencia agradable; las páginas, dibujos, etc., están numeradas; las diferentes secciones están claramente marcadas. Se nota que se lo han tomado en serio.
  - Suficiente: El documento se entiende bastante bien, aunque hay cierto margen de mejora. He encontrado algún error, probablemente atribuibles a un descuido. Podría haber quedado mejor con un poco más de esfuerzo.
  - Insuficiente: he encontrado varias faltas de ortografía y no he entendido muchas de las cosas que se dicen en el documento. El documento está bastante descuidado. Demuestra que no han trabajado lo suficiente.
- Contenido adecuado
  - Bueno: el documento incluye una información completa sobre todos los puntos solicitados. También explican y justifican brevemente las decisiones tomadas.
  - Suficiente: el documento incluye todos los puntos, pero la información no está completa en no más de tres de ellos, o falta algún punto. Veo algunos aspectos oscuros en la descripción de algunos puntos. Algunas decisiones clave no están justificadas.
  - Insuficiente: faltan más de un punto o la descripción es bastante incompleta.
- Planteamiento bueno y efectividad.
  - Bien: El planteamiento es bueno. No puedo pensar en ninguna mejora. El esquema y las operaciones son claras y razonables. Las funciones que se utilizarán están bien descritas, con un comentario claro sobre lo que hacen. Con esta información, creo que no tendría ninguna dificultad para realizar el diseño yo mismo.

- Suficiente: Creo que la propuesta es buena, aunque admite algunas mejoras. Entiendo lo que quieren hacer, pero si tuviera que implementarlo, tendría que pedir algunas aclaraciones adicionales.
- Insuficiente: El enfoque no es bueno. No entiendo el propósito o la necesidad de algunos de los elementos, o algunos de los procedimientos y funciones. Si tuviera que implementar la aplicación, con esta información, no sabría cómo empezar.

*II-C2. Primer prototipo del nodo sensor:* Este fue el primer prototipo. Indicamos las especificaciones funcionales y también las características deseables más generales en este tipo de sistema a través de la rúbrica. Los estudiantes no están acostumbrados a pensar en estas importantes características. A continuación el documento que entregamos:

¿Qué debería hacer?

Este prototipo debe ser completamente funcional desde el punto de vista de los sensores, aunque todavía no necesita comunicarse con la estación base. Por lo tanto, debe tener todas las conexiones y poder leer la información de todos los sensores a una frecuencia determinada y almacenar y/o imprimir dicha información.

¿Qué se debe entregar?

- La documentación técnica actualizada, que incluya una sección al principio con una lista de las modificaciones, correcciones o mejoras realizadas a la primera versión.
- El archivo (o archivos) para programar el nodo sensor.
- En clase, se debe demostrar que el nodo funciona correctamente.

¿Cómo va a ser evaluado?

- Corrección
  - Correcto: el sistema siempre funciona bien con todos los sensores.
  - Suficiente: el sistema ha fallado alguna vez en uno o dos sensores.
  - Insuficiente: el sistema falla muy frecuentemente. Está claro que no está bien.
- Robustez
  - Bien: el sistema no se bloquea considerando todos los errores típicos que pueden aparecer (desconexión del sensor, los valores medidos están fuera del rango lógico, ...). No he conseguido que se cuelgue.
  - Suficiente: Es razonablemente robusto. No fue fácil, pero en uno o dos casos se bloqueó.
  - Insuficiente: el sistema no es robusto en absoluto. Se cuelga frecuentemente con los errores típicos.
- El código está bien organizado y comentado
  - Bien: El código está bien organizado. Es muy fácil encontrar el punto del sistema que se debe cambiar para poder realizar algunas modificaciones en la funcionalidad. Cada función tiene un comentario inicial que explica lo que hace y cuáles son los parámetros. Además, los puntos de código especialmente complicados tienen un comentario suficientemente clarificador. Las variables, procedimientos y funciones tienen nombres que ayudan a entender para qué se usan. El código está bien sangrado.

- Suficiente: Está razonablemente bien organizado y comentado, aunque en algunos casos, la estructura de las funciones podría ser mejor. Los comentarios son suficientes, aunque le faltan algunas aclaraciones en el código en algunos puntos.
- Insuficiente: la estructura del código no tiene lógica, y no hay comentarios (o éstos no aclaran nada). El código no está bien sangrado. No podría modificar este código para agregar alguna nueva funcionalidad o corregir un error.
- La documentación es la apropiada y esta actualizada
  - Bien: la documentación nos permite comprender el funcionamiento del sistema y reproducirlo fácilmente. Se ha actualizado correctamente sobre la anterior versión.
  - Suficiente: la documentación nos permite reproducir el sistema y comprender más o menos sus operaciones, aunque hay algún punto poco claro o no especificado. Se ha actualizado con respecto a la anterior, aunque algunos cambios de última hora no están registrados.
  - Insuficiente: la documentación tiene muchos puntos oscuros que no permiten reproducir y entender el sistema o no se ha actualizado con respecto a la versión anterior.

*II-C3. Plan de pruebas, calibración y seguridad:* Esta documentación se propuso para hacerles pensar en aspectos que generalmente están presentes en proyectos reales, pero que son difíciles de introducir en el mundo académico. Una vez más, queremos que piensen por adelantado y planifiquen antes de hacerlo. A continuación reproducimos solo la descripción de los documentos, ya que la rúbrica es muy similar a la presentada para la documentación del nodo sensor:

¿Qué debe contener el documento?

- Plan de pruebas del nodo sensor. (Qué procedimientos realizaré para verificar que el nodo esté funcionando correctamente y sea lo suficientemente robusto).
  - Pruebas de funcionamiento: lee bien los sensores y envía y responde bien a los mensajes.
  - Pruebas de robustez: responde adecuadamente a los fallos y no se cuelga (el entorno no funciona como esperaba el nodo: un sensor se desconecta o envía datos erróneos, no se recibe un mensaje esperado, ...)
- Plan de pruebas del nodo actuador (qué procedimientos realizaré para verificar que el nodo esté funcionando correctamente y sea lo suficientemente robusto).
  - Pruebas de funcionamiento: abre y cierra el relé, y envía y responde bien a los mensajes.
  - Pruebas de robustez: responde adecuadamente a los fallos y no se cuelga (el entorno no funciona como esperaba el nodo: el relé se desconecta, no se recibe un mensaje esperado, ...).
- Plan de pruebas de la estación base. (Qué procedimientos realizaré para verificar que la estación base funcione correctamente y sea lo suficientemente robusta).
  - Pruebas de funcionamiento: envía y responde bien a los mensajes, almacena los datos correctamente en la base de datos, interactúa correctamente con el usuario ...
  - Pruebas de robustez: responde adecuadamente a los fallos y no se cuelga (el entorno no funciona como la estación base espera. Ejemplos: no se recibe un mensaje esperado, el nodo envía datos o mensajes erróneos, el usuario hace cosas inesperadas, ...)
- Plan de pruebas del sistema completo. (Qué procedimientos realizaré para verificar que el sistema funciona de acuerdo a las especificaciones que se establecieron y es lo suficientemente robusto).
  - Pruebas de funcionamiento: recopila y almacena los datos correctamente, interactúa correctamente con el usuario ...
  - Pruebas de robustez: responde adecuadamente a los fallos y no se cuelga (el entorno no funciona como se esperaba: un nodo se cuelga, el nodo envía datos o mensajes erróneos, el usuario hace cosas inesperadas, ...).
- Plan de calibración (qué procedimientos realizaré o el usuario final deberá realizar para garantizar que las mediciones obtenidas se expresen correctamente en las unidades elegidas).
- Plan de seguridad: lista de vulnerabilidades en nuestros sistemas (si alguien quisiera fastidiarnos, ¿qué podrían hacer para que nuestro sistema no funcione correctamente?) y posibles soluciones (ideas para mejorar la seguridad de nuestro sistema para evitar las vulnerabilidades descritas anteriormente)

*II-C4. Prototipo final:* La información proporcionada para la entrega del sistema final. Incluye puntos similares a las tareas anteriores, pero la rúbrica también incluye dos nuevos: uno para la autoevaluación del proyecto y otro para evaluar las interfaces finales del sistema. Aquí, solo reproducimos los nuevos puntos de la rúbrica:

- Capacidad de autoevaluación.
  - Bien: destaca claramente las especificaciones que se cumplen y las limitaciones y errores de su implementación. También indica los aspectos diferenciadores de su diseño.
  - Suficiente: No indica todas las limitaciones de su sistema. Hay algunas especificaciones que no está claro si se cumplen o no. Los aspectos diferenciadores de su diseño no han sido suficientemente resaltados.
  - Insuficiente: no se ha indicado suficientemente lo que funciona y lo que no funciona. El cumplimiento de las especificaciones es difuso y los aspectos representativos de su diseño no se han destacado.
- Amigable
  - Bueno: el usuario no tiene dudas, en ningún momento, sobre cómo interactuar con la aplicación, qué datos se deben introducir y cómo interpretar los resultados y los mensajes de la aplicación.
  - Suficiente: los mensajes y la información proporcionados por el sistema son suficientes para trabajar

bien. Sin embargo, en algunas ocasiones he tenido algunas dudas sobre lo que hay que hacer o cómo hacerlo.

- Insuficiente: el usuario tiene dudas constantes sobre lo que solicita la aplicación y es difícil entender los resultados y los mensajes por pantalla.

*II-C5. Demostración-presentación del sistema final:* Los estudiantes tuvieron que realizar una presentación final. Esto es relativamente nuevo para muchos de los estudiantes. Por lo tanto, para ayudarlos, proporcionamos una descripción detallada de lo que esperábamos de ellos en términos de contenido y calidad. A continuación, reproducimos el documento:

¿Qué se debe presentar en 10 minutos?

- Mostrar el funcionamiento desde la interfaz de usuario: configuración (frecuencia de muestreo); información obtenida de los diferentes sensores (actuales y almacenados en la base de datos); Otras funciones y operaciones.
- Explicar si se cumple el estándar definido para la comunicación y si se ha realizado alguna extensión, y para qué; las medidas tomadas para ahorrar energía y para hacer que el sistema sea robusto.
- Mostrar y explicar, en general, cómo se han implementado el nodo y la estación base.
- Lo que aún no funciona correctamente y posibles mejoras.
- Responder a las posibles preguntas.

¿Cómo se va a valorar?

- Se muestra cómo funciona el sistema.
  - Bien: la presentación se ha realizado de una manera que muestra qué aspectos funcionan correctamente y cuáles son las limitaciones del sistema. Resalta las especificaciones que se cumplen y las que no, así como los aspectos diferenciadores de su implementación.
  - Suficiente: la presentación se ha realizado de manera que muestra qué aspectos funcionan correctamente pero no aclara todas las limitaciones del sistema. No está claro si hay algunas especificaciones que no se cumplen. Los aspectos diferenciadores de su implementación no han sido suficientemente resaltados.
  - Insuficiente: La presentación no ha demostrado suficientemente qué funciona y qué no funciona. El cumplimiento de las especificaciones es difuso y los aspectos representativos de su diseño no se han destacado.
- Claridad de la explicación
  - Bien: han explicado claramente cada uno de los puntos y responden a las preguntas adecuadamente
  - Suficientes: se han explicado bien en general, pero un par de puntos o preguntas han permanecido oscuros
  - Insuficiente: no explican con claridad.
- Todos los puntos se abordan en los estipulados 10 minutos.
  - Bueno: Han tocado todos los puntos suficientemente en el tiempo estipulado.

- Suficiente: Han estado explicando demasiado tiempo algunos puntos y otros no han podido explicarlos. Se han perdido en algunos puntos.

- Insuficiente: no han controlado bien el tiempo y no han podido terminar. No han explicado varios puntos.

- Comprenden y dominan lo que están explicando.

- Bien: todos en el grupo entienden lo que dicen y responden correctamente a las preguntas

- Suficiente: todos los que han hablado entienden más o menos de qué están hablando, pero tienen algunas dudas en algunos aspectos. No han contestado correctamente algunas preguntas. Un miembro del grupo no controla algún punto.

- Insuficiente: varios estudiantes tienen dudas constantes, no dominan lo que están describiendo o han hecho. No responden adecuadamente.

### III. PLANIFICACIÓN DEL CURSO, ACTIVIDADES DESARROLLADAS Y EVALUACIÓN

Este curso está organizado en 15 semanas con 4.5 horas de clase presencial. Solo hay una sesión por semana. Los estudiantes formaron grupos de 3 o 4 estudiantes para desarrollar el sistema completo. Después de trabajar en temas más generales durante tres semanas, el proyecto se desarrolló en 12 semanas. El aprendizaje de cada tema, a excepción de algunos ejercicios introductorios y una visión inicial de cada tecnología y herramienta, los estudiantes utilizaron principalmente los ejemplos, tutoriales y vídeos disponibles on-line. Dicho aprendizajes se organiza a través de varios puzzles [13][14]. Primero, cada tema se divide en cuatro partes y cada una se asigna a un estudiante dentro de cada grupo. Antes de la próxima clase, cada alumno entrega un resumen de su tema, que incluye preguntas y dudas. En clase, los estudiantes con la misma parte se reúnen en grupos para convertirse en expertos en esa parte y para preparar una presentación. Después de eso, los grupos base se reúnen para que cada uno explique su parte. Finalmente, se realiza una prueba individual.

La evaluación del curso se definió siguiendo [15] de la siguiente forma: 15 % por entregar todos las tareas a tiempo (el hecho de fallar en más del 20 % de tareas significa no aprobar el curso); 25 % en una prueba de conocimientos básicos que es obligatorio pasar con sobresaliente, pero hay varios intentos (esta parte se puntúa según el número de sesiones utilizadas); 50 % con la nota del proyecto; y 10 % por participación en clase y dentro de su propio grupo.

En las primeras cuatro semanas del proyecto, los estudiantes tuvieron que concentrarse en desarrollar el "nodo sensor". Al final de este período, nos mostraron el primer prototipo del nodo sensor, que era capaz de leer la información de algunos sensores. Durante dos semanas, se centraron en la comunicación entre el nodo sensor y la estación base. Después de un intento fallido de acordar una sintaxis y un protocolo estándar para todos los grupos, lo definimos nosotros. Durante las siguientes tres semanas, desarrollaron la comunicación entre el nodo sensor y la estación base mediante unos mensajes y protocolos muy simples definidos en nuestro estándar. Al

mismo tiempo, utilizaron el node-RED en la estación base para procesar los mensajes recibidos desde los nodos de IoT y enviar mensajes de vuelta. Al final de este período, tuvieron que entregar un prototipo del sistema que fue revisado por pares de dos maneras diferentes: usando el nodo sensor y la estación base del mismo grupo, y también usando el nodo sensor de un grupo con la estación base del grupo que estaba evaluando.

Después de las vacaciones navideñas, tuvieron la primera convocatoria de la prueba de conocimientos básicos. Esta prueba consistió en algunas preguntas teóricas muy simples y ejercicios básicos de programación utilizando Lua y Node-RED. Por otro lado, tuvieron dos semanas para terminar el proyecto. En penúltima semana del curso, presentaron sus proyectos y mostraron el prototipo del sistema frente a los profesores y sus compañeros de clase. También tuvieron que responder algunas preguntas generales sobre sus diseños. En la última sesión, solicitamos una extensión de su propio proyecto de forma individual. Propusimos la misma extensión para todos los estudiantes y tuvieron que sugerir los cambios necesarios tanto en el nodo IoT como en la estación base. Este ejercicio se realizó en clase en forma de examen. Aunque este ejercicio parece completamente individual, en realidad debía motivar a ayudar a sus compañeros de grupo porque había un componente de la nota que dependía del hecho de que todos los miembros del grupo aprobaran el ejercicio. En la práctica, si esto sucedía, doblaban la nota. Sin embargo, solo dos grupos lograron este objetivo.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados han sido agridulces. Fig. 3a muestra la distribución de las calificaciones obtenidas en el proyecto para cada alumno. La mayoría de los estudiantes entregaron solo proyectos aceptables e incluso un grupo estuvo en el

límite. Además, las calificaciones de los proyectos bajaron porque solo algunos de los estudiantes lograron la ampliación individual.

Después de incluir el resto de componentes, la mayoría de los estudiantes mejoraron sus calificaciones. Fig. 3b muestra la distribución de las calificaciones finales obtenidas en el curso para cada alumno. Solo alrededor del 50 % de los estudiantes aprobaron el examen básico en el primer intento, aunque, en general, el resto de los estudiantes solo falló en una parte. Aproximadamente el 40 % de ellos aprobaron el examen en el segundo intento y solo 3 estudiantes (8 %) aprobaron el examen al tercero. Al final, ninguno suspendió la prueba básica.

Solo 2 alumnos se abandonaron el curso. Uno de ellos enfermó y tuvo que renunciar. En ambos casos, eso sucedió al inicio del curso. También hay un alumno que no asistió a ninguna clase.

Otra información interesante es la cantidad de horas fuera de clase que cada estudiante usó en este curso. Cerca del final del curso, les pedimos que estimaran de forma anónima la media de las horas por semana que habían dedicado a este curso en casa. El resultado de la encuesta se muestra en la Fig. 4. De acuerdo con el número de ECTS, deberían haber

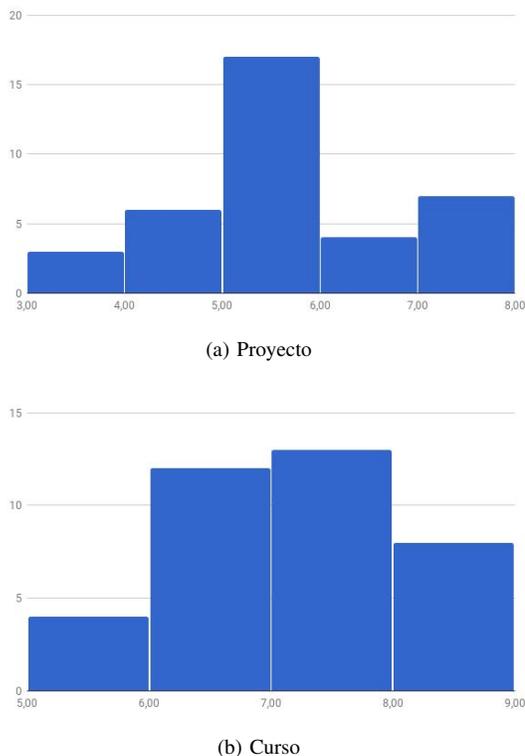


Figura 3. Distribución de las notas finales obtenidas para el proyecto y el curso

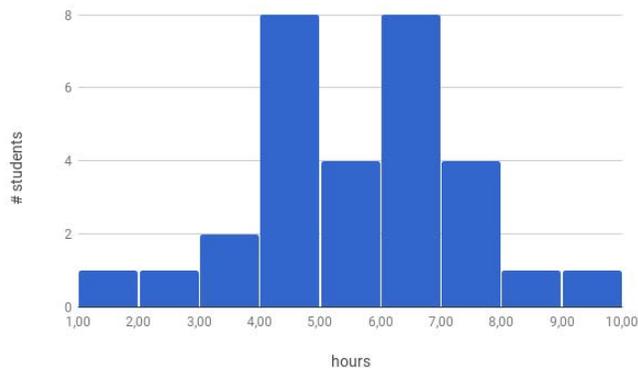


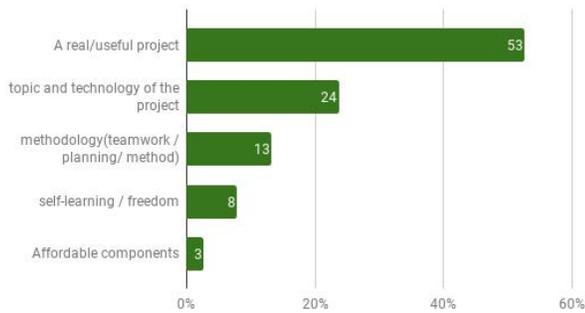
Figura 4. Distribución del número de horas fuera de clase por cada estudiante

pasado unas 6 horas por semana y la mayoría de ellos dijo que utilizaban entre 4 y 8 horas. Aun así, la media, 5.2 horas, es un poco baja y los casos extremos están demasiado dispersos para ser satisfactorios. Por lo tanto, se deben incluir algunas medidas para corregir esto en los próximos cursos.

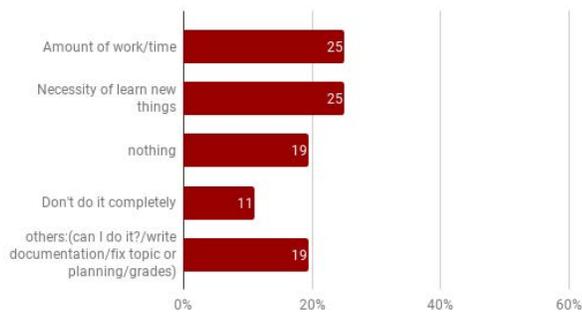
#### IV-A. Percepción de los estudiantes

Hemos realizado tres encuestas rápidas a lo largo del curso. Cada estudiante tenía que escribir anónimamente el mejor y el peor aspecto del curso hasta ese momento en dos minutos. La primera encuesta se realizó después de proporcionarles el enunciado del proyecto. Tuvieron tiempo para leer el documento y discutir el proyecto con sus compañeros de equipo. Los resultados de la encuesta se resumen en la Fig. 5. En la

Fig. 5a, se observa claramente que estaban entusiasmados con el proyecto, especialmente con el hecho de que sonaba (y era) un proyecto real. Apreciaron que el proyecto podría ser útil para alguien. El tema y las tecnologías requeridas también les atrajeron, y en menor medida la metodología y la libertad. Sin embargo, también estaban preocupados por la cantidad de trabajo requerido para desarrollar el proyecto y la necesidad de aprender nuevas tecnologías. Es alarmante que el 25 % de los estudiantes pensaron que "aprender nuevo contenido" era lo peor de la asignatura, cuando supuestamente se inscribieron en este curso para aprender este contenido. Por otro lado, casi el 20 % de los estudiantes no ven ningún aspecto negativo.



(a) Lo mejor

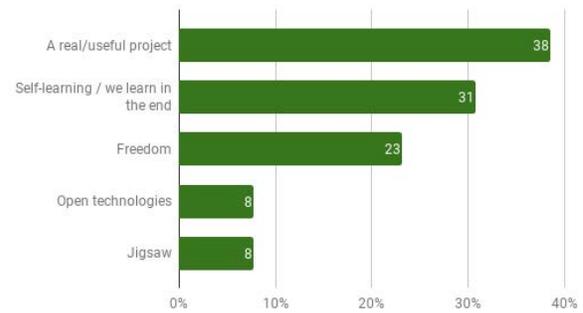


(b) Lo peor

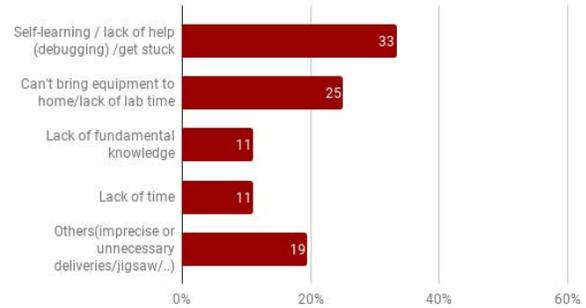
Figura 5. Percepción del estudiante después de darles el enunciado del proyecto

La segunda encuesta se realizó después de trabajar en el proyecto durante varias semanas. Los resultados se muestran en la Fig. 6. Los estudiantes estaban trabajando en el nodo sensor utilizando Lua como lenguaje de programación. La mayoría de ellos tenían dificultades importantes para depurar sus códigos. El proyecto seguía en primera posición como lo mejor del curso, pero el aprendizaje autónomo estaba muy cerca, siendo elegido por el 31 % de los estudiantes (ver Fig. 6a). Por el contrario, otro 33 % de los estudiantes consideraron el aprendizaje autónomo y el no tener la suficiente ayuda como lo peor del curso (ver Fig. 6b). Esto podría explicarse por el hecho de que el primer grupo de estudiantes había superado los pasos descritos en [16] pero el segundo grupo no lo había hecho. También consideraron que el segundo problema importante es el hecho de que no pudieran llevarse el equipo a casa y la falta de tiempo en el laboratorio. Este tema fue una fuente continua de queja.

Los resultados de la tercera encuesta se muestran en la



(a) Lo mejor



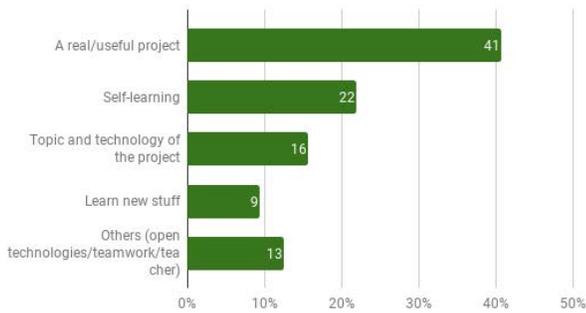
(b) Lo peor

Figura 6. Percepción del estudiante después de trabajar varias semanas en el proyecto

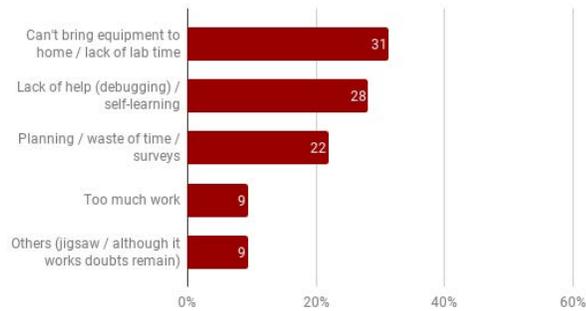
Fig. 7. Se realizó después de terminar el proyecto y antes de defenderlo frente a los profesores. Al igual que en las encuestas anteriores, trabajar en un proyecto real y útil fue la característica más apreciada del curso, elegido por aproximadamente el 40 % de los alumnos (ver Fig. 7a). Además, el 16 % de los estudiantes designaron el tema y las tecnologías involucradas en el proyecto. El aprendizaje autónomo fue el segundo con un 22 % de votos, pero hay más estudiantes (28 %) que pensaron que el aprendizaje autónomo fue realmente lo peor del curso (ver Fig. 7b). Esto fue sólo ligeramente superado por la idea de no poder llevarse el equipo a casa o no tener suficiente tiempo de laboratorio. Otro grupo importante de estudiantes (22 %) piensa que la planificación no fue buena o que algunas actividades les hicieron perder tiempo, como encuestas. Sorprendentemente, solo unos pocos estudiantes (9 %) pensaron que era demasiado trabajo para ellos.

#### IV-B. Percepción del profesor

Desde nuestro punto de vista, los estudiantes se mostraron muy reacios a leer la documentación que proporcionamos. En muchos casos, cuando resolvían un ejercicio, simplemente reunían varios ejemplos sin ajustarlos a su propio problema. Abusan del uso de "prueba y error", y no quieren usar ninguna metodología para depurar sus códigos. Además, los estudiantes tuvieron serias dificultades para entender cómo funciona Lua, en base a eventos. Siguen intentando escribir funciones de forma secuencial, pensando erróneamente que hasta que una función no esté completamente terminada, la siguiente no se ejecutará.



(a) Lo mejor



(b) Lo peor

Figura 7. Percepción del estudiante después de finalizar el proyecto

También es muy difícil hacer que sigan las instrucciones escritas correctamente. Como se muestra en la Sección II, proporcionamos instrucciones exhaustivas y precisas para cada documento o código que debían entregar, incluido el formato y la rúbrica para la evaluación. Sin embargo, fallan siguiendo reglas simples, incluso cuando saben que van a ser evaluados en base a estas reglas. A pesar de eso, creemos que estas rúbricas han sido muy útiles porque, en otros cursos donde no las usamos, los resultados fueron mucho peores.

Hablando de cosas más prácticas, hemos encontrado algunas dificultades en la evaluación de los flujos Node-RED diseñados por los estudiantes. Cuando tienes 40 soluciones individuales propuestas por estudiantes y presentadas como flujos exportados en formato JSON, probarlas es un trabajo muy difícil. Se tiene que importar manualmente cada flujo en tu propia herramienta Node-RED, evaluar el diseño y los aspectos funcionales. Hemos encontrado una solución muy práctica para el próximo año: diseñar un flujo Node-RED para probar automáticamente la funcionalidad de los diseños de los estudiantes. Podemos probar la respuesta del diseño del estudiante y almacenar en la base de datos los resultados de cada tarea del estudiante, facilitando el proceso de evaluación.

#### IV-C. Mejoras requeridas

Está claro que a los estudiantes realmente les gusta el proyecto y esto, junto con el trabajo en equipo, los alienta a seguir el curso. Sin embargo, se requiere algún ajuste para mejorar su experiencia y la calidad del aprendizaje (el proyecto). Primero, necesitan material específico para aprender a depurar sistemáticamente un programa (o sistema). Se deben introducir ejercicios más progresivos para cada tecnología

antes de trabajar directamente en el proyecto, especialmente para Lua. Debemos controlar mejor su progreso individual semana a semana. Para ello, planeamos utilizar un diario individual, donde tendrán que anotar las tareas en las que trabajan y las horas utilizadas.

Otro tema importante que debemos abordar es el problema de llevarse a casa los componentes del prototipo. Este año no les permitimos hacerlo principalmente porque, en nuestra opinión, tenían mucho trabajo que hacer en casa. Tenían que leer la documentación que les proporcionamos, planificar la arquitectura hardware/software, diseñar las funciones, generar la documentación solicitada, etc. En otras palabras, tenían que pensar antes de actuar. Sin embargo, en su forma de trabajar (prueba y error), esas cosas eran una pérdida de tiempo. También hubo otras razones, como evitar la situación de no poder trabajar en el laboratorio porque se olvidaron de traer el equipo de vuelta. Además, si realmente pensaban que lo necesitaban en casa, ¿por qué no lo compraron, si cuesta unos 5 euros? Creemos que esta queja fue más una excusa que un problema real. La solución más sencilla sería permitirles llevarse el material a casa, pero no creemos que vaya a ayudarles realmente. Mejor tenemos que encontrar una manera de reforzar la tarea de planificar y pensar por adelantado.

Creemos que la utilización de hardware y software libre fue una buena decisión y los estudiantes la apreciaron. Sin embargo, teniendo en cuenta que nuestros estudiantes tienen serios problemas con Lua, estamos considerando cambiar a una forma más tradicional de programación utilizando C a través del entorno Arduino. Ellos están acostumbrados a estas herramientas y les puede resultar más fácil.

A pesar de todas las dificultades, creemos que el ABP es la mejor manera de afrontar el desafío de promover el aprendizaje autónomo y aumentar la motivación. Necesitaremos varios ciclos para ajustar la planificación y pequeños detalles de la metodología, pero creemos que estamos en el buen camino.

## V. CONCLUSIÓN

Este artículo presenta el diseño de un curso de ABP para Informática Industrial. Se proporcionan todos los detalles del diseño para facilitar la reproducción de una experiencia similar. Observamos un impacto muy positivo en la satisfacción y la motivación de los estudiantes, aunque tuvimos que enfrentarnos las reticencias de los estudiantes a afrontar el proceso de aprendizaje de manera autónoma. A pesar de todo, estamos satisfechos con los resultados iniciales obtenidos y eso nos lleva a seguir mejorando el diseño del curso ABP para los próximos cursos.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer los profesores Miguel A. Quesada Felice y Antonio J. Matas Arroyo por su asesoramiento sobre el tema del huerto urbano. Este trabajo ha sido financiado por el proyecto TIN2016-80920-R, del Gobierno de España y por el Proyecto PIE17/085 de la Universidad de Málaga.

## REFERENCIAS

- [1] J. Hormigo and A. Rodríguez, "Project based learning on industrial informatics: Applying iot to urban garden," in *2018 XIII Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAE)*, June 2018, pp. 1–9.
- [2] A. Gilchrist, *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*, 1st ed. Berkely, CA, USA: Apress, 2016.
- [3] L. Gil-Sánchez, R. Masot, and M. Alcañiz, "Teaching electronics to aeronautical engineering students by developing projects," *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 10, no. 4, pp. 282–289, Nov 2015.
- [4] A. F. Jiménez López, M. C. Prieto Pelayo, and . Ramírez Forero, "Teaching image processing in engineering using python," *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 11, no. 3, pp. 129–136, Aug 2016.
- [5] J. Larmer, J. R. Mergendoller, and S. Boss, *Setting the standard for project based learning: a proven approach to rigorous classroom instruction*, 2015.
- [6] J. Rodríguez, I. Esparragoza, J. R. Ocampo, and R. Viganò, "Study of motivation of engineering students on multinational design projects," *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 12, no. 4, pp. 218–226, Nov 2017.
- [7] (2018, Jan.) NodeMcu connect things easy. [Online]. Available: [http://www.nodemcu.com/index\\_en.html](http://www.nodemcu.com/index_en.html)
- [8] (2018, Jan.) Integrated Development Environment (IDE) for ESP8266. [Online]. Available: <https://esp8266.ru/esplorer/>
- [9] (2018, Jan.) Node-RED. [Online]. Available: <https://nodered.org/>
- [10] (2018, Jan.) Eclipse mosquito. [Online]. Available: <https://mosquitto.org>
- [11] (2018, Jan.) JSON lightweight data-interchange format. [Online]. Available: <https://www.json.org/>
- [12] (2018, Jan.) Welcome to the MongoDB Docs. [Online]. Available: <https://docs.mongodb.com/>
- [13] M. A. Kousa, "Jigsaw cooperative learning in engineering classrooms," in *2015 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, March 2015, pp. 58–62.
- [14] F. Martínez-Rodrigo, L. C. Herrero-De Lucas, S. de Pablo, and A. B. Rey-Boue, "Using PBL to improve educational outcomes and student satisfaction in the teaching of DC/DC and DC/AC converters," *IEEE Transactions on Education*, vol. 60, no. 3, pp. 229–237, Aug 2017.
- [15] M. Valero and J. Domingo, *Técnicas de Aprendizaje Cooperativo y Aprendizaje Basado en Proyectos*, 2017.
- [16] R. M. Felder, "We never said it would be easy," *Chem. Engr. Education*, vol. 29, no. 1, pp. 32–33, 1995.



**Javier Hormigo** recibió los títulos de Ingeniero y Doctor en Ingeniería de Telecomunicaciones por la Universidad de Málaga, España, en 1996 y 2000, respectivamente. Se incorporó a la Universidad de Málaga en 1997, donde actualmente es Profesor Titular en del Departamento de Arquitectura de Computadores. Sus intereses actuales en investigación incluyen aritmética computacional, arquitecturas de aplicación específicas y FPGAs.



**Andrés Rodríguez** recibió los títulos de Ingeniero y Doctor en Informática por la Universidad de Málaga, España, en 1995 y 2000, respectivamente. Se incorporó a la Universidad de Málaga en 1996, donde actualmente es Profesor Titular en el Departamento de Arquitectura de Computadores. Sus intereses actuales de investigación incluyen modelos de programación de altas prestaciones, programación paralela, computación heterogénea y arquitecturas multiprocesador.