

# Aprendizaje basado en Proyectos en una Asignatura de Electrónica Industrial

F. Barrero, A. Ruiz, I. González-Prieto, C. Martín, F. Gañán, M. Perales

Departamento de Ingeniería Electrónica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Camino de los descubrimientos s/n, 41092 Sevilla  
mperales@us.es

**Abstract**—La mejora reciente del binomio enseñanza-aprendizaje se caracteriza, entre otros, por la búsqueda de procedimientos alternativos que optimicen la capacitación adquirida por los alumnos y su evaluación. Uno de los procedimientos referenciados que ha recibido mayor interés en los últimos tiempos en relación a la enseñanza de la Ingeniería es la realización de proyectos colaborativos. Se buscan métodos de evaluación que se centren tanto en el proceso como en el resultado del aprendizaje, y la cooperación entre los alumnos en la realización de un proyecto realista relacionado con la asignatura cursada representa una opción muy interesante y plausible. En este trabajo se muestra el procedimiento de aprendizaje cooperativo diseñado como metodología docente y de evaluación en una asignatura optativa de 4º curso en el grado de Ingeniería de las Tecnologías Industriales (especialidad de Electrónica Industrial) impartido en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla. Se describe la experiencia, que se basa en la comprensión y rediseño de un sistema real, y se muestra un ejemplo de trabajo desarrollado por dos alumnos, consistente en la implementación del sistema de control de una impresora 3D.

**Keywords**—PBL, teaching process.

## I. INTRODUCCIÓN

La enseñanza en el entorno universitario continúa basándose en el mismo paradigma docente que ha imperado durante siglos, centrado en la programación de la transmisión de contenidos [1]. Las características fundamentales que definen este paradigma son: el docente planifica al detalle todo lo que va a ocurrir en clase y plantea las tareas que hará el alumno en casa. Si el docente no puede hacer lo que tenía planificado para sus clases, el programa del curso y los resultados académicos se resienten, aunque el hecho de que el alumnado no haga sus tareas no afecta al desarrollo del programa. Desde hace tiempo se conoce que este paradigma no es eficaz y se sabe que es necesario planificar una migración hacia otras estrategias educativas que eviten que el alumnado se convierta en un receptor pasivo de información [2].

La realidad es que muchas de estas nuevas estrategias educativas se han quedado en la teoría y todavía no se han aplicado de manera general debido, fundamentalmente, a la “inercia” que hace que los sistemas educativos sigan aferrados al paradigma tradicional. El nuevo paradigma educativo centrado en el alumnado debe crear las condiciones adecuadas

para que éste se implique en su propio aprendizaje [3]. Existen diversas estrategias para lograr este objetivo tales como el aprendizaje basado en proyectos (*project based learning*, PBL) o el aprendizaje colaborativo [4], que es el uso de pequeños grupos de alumnos de manera que estos trabajen juntos para maximizar su propio aprendizaje y el de los demás. Los ambientes de aprendizaje acompañados de proyectos colaborativos como estrategia revierten en actividades de muy diferente índole y en la utilización de espacios diversos que hacen que las experiencias de los estudiantes no se centren en el aula de clase, ni siquiera en la vida misma de la institución universitaria. En definitiva, buscan el aprovechamiento del entorno cercano al alumno para el aprendizaje, fomentando la creación de una comunidad de aprendizaje donde se interactúa, se colabora, se respeta y se desarrolla el conocimiento.

En este trabajo se muestra cómo puede emplearse una estrategia de aprendizaje colaborativa en una asignatura de la especialidad de Electrónica Industrial de 4º curso en el Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales, impartido en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla. Por un lado, los objetivos docentes de la asignatura se centran en profundizar en competencias específicas del diseño de sistemas electrónicos digitales a partir de sistemas basados en el uso de un microprocesador. Por otro lado, se pretende avanzar en la idea de aplicación de PBL en el entorno lectivo mediante la introducción al alumno de dispositivos comerciales de interés como impresoras 3D, robots de aplicación industrial, juguetes electrónicos, drones o dispositivos similares que motiven al alumno y, en paralelo, potencien el desarrollo de competencias transversales inherentes a un grado de ingeniería en tecnologías industriales. En la propuesta que se presenta, el alumno debe en primer lugar analizar el sistema, para posteriormente afrontar un rediseño del mismo en base a un dispositivo microprocesador introducido en clase. Se trata de una propuesta ambiciosa por su complejidad, que no permite implementar en su totalidad el rediseño, habida cuenta el escaso número de créditos asignados. Para adecuar el trabajo y los objetivos docentes a los créditos asignados a la asignatura, se limitan los objetivos evaluables a la puesta en marcha del sistema microprocesador rediseñado, con el manejo de los periféricos más importantes relacionados con el control industrial (CAD, PWM y Timers), ofreciéndose al alumno la posibilidad de continuar el trabajo hasta su conclusión durante el segundo cuatrimestre de cuarto curso, para la realización de

un Trabajo de Fin de Grado. Con la reforma de los planes de estudio y la creación de los programas de Grado y Máster, muchos alumnos encuentran serias dificultades para completar el Grado y finalizar sus Trabajos Fin de Grado a lo largo del cuarto curso de la titulación. La propuesta pretende asimismo iniciar a los alumnos en la realización del Trabajo Fin de Grado, favoreciendo su realización durante el curso.

En la siguiente sección se describe el contexto docente de la asignatura, centrada en el análisis y desarrollo de sistemas electrónicos basados en el procesador digital de señal (DSP) TMS320F28335 del fabricante Texas Instruments. Posteriormente se describe la experiencia desarrollada por dos alumnos de la asignatura durante el curso académico 2017-2018, consistente en el desarrollo del sistema electrónico de control de una impresora 3D. Finalmente se exponen las conclusiones obtenidas.

## II. CONTEXTO DOCENTE

La experiencia docente que se presenta en este trabajo se refiere a la asignatura Electrónica Industrial, adscrita al cuarto curso de la titulación de Grado de Ingeniero en Tecnologías Industriales, e impartida durante el primer cuatrimestre en la Escuela Técnica Superior de Ingenierías de la Universidad de Sevilla. El plan de estudios y la descripción de la asignatura aparecen recogidos en las resoluciones de 20 de julio de 2011 y 15 de abril de 2015 de la Universidad de Sevilla, en las que se publica el plan de estudios de Graduado en Ingeniería de Tecnologías Industriales, BOE de 11 de Octubre de 2011, Núm. 245, y BOE de 19 de Mayo de 2015, Núm. 119, respectivamente. En ellas se establece que la asignatura es obligatoria para la especialidad de Electrónica Industrial, con 4.5 créditos asignados, de los cuales 3 corresponden a créditos teóricos y 1.5 a créditos prácticos o de laboratorio (2 horas de clases teóricas más 1 hora de clases prácticas a la semana durante el primer cuatrimestre lectivo).

Los objetivos docentes específicos se definen como “profundizar en el conocimiento del diseño sistemas electrónicos digitales a partir de sistemas basados en microprocesador, conocer periféricos y microprocesadores de aplicación industrial y aprender a manejarlos”. Las competencias específicas a desarrollar son “conocimiento de los fundamentos y aplicaciones de la electrónica digital y microprocesadores” y “capacidad para diseñar sistemas electrónicos analógicos, digitales y de potencia”. Se destacan otras muchas competencias transversales genéricas diversas, difícilmente alcanzables con un método de enseñanza tradicional o en base a experiencias PBL específicas que se diseñen para la asignatura. Este es el caso particular de las competencias genéricas, centradas en la concepción generalista de la titulación, y que incluyen en nuestro caso:

- La capacidad para la redacción, firma y desarrollo de proyectos en el ámbito de la ingeniería industrial que tengan por objeto, la construcción, reforma, reparación, conservación, demolición, fabricación, instalación, montaje o explotación de: estructuras, equipos mecánicos, instalaciones energéticas, instalaciones eléctricas y electrónicas, instalaciones y plantas industriales y procesos de fabricación y automatización.

- La capacidad para la dirección de las actividades objeto de los proyectos de ingeniería de estructuras, equipos mecánicos, instalaciones energéticas, instalaciones eléctricas y electrónicas, instalaciones y plantas industriales y procesos de fabricación y automatización.
- La capacidad de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Industrial.
- La capacidad para el manejo de especificaciones, reglamentos y normas de obligado cumplimiento.
- El conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar la legislación necesaria en el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial.

En nuestro caso, centramos la experiencia PBL en un sistema comercial para acercar la experiencia al alumno y añadir una concepción generalista acorde con la titulación, sin perder de vista los objetivos específicos perseguidos.

Los descriptores que definen la asignatura incluyen los sistemas lógicos programables, microprocesadores y periféricos, microcontroladores, procesadores digitales de señal, sistemas empujados y codiseño hardware/software, siendo la metodología docente empleada la siguiente:

- Clases magistrales de teoría en pizarra con apoyo gráfico de transparencias, centradas en el diseño de sistemas electrónicos basado en microprocesador y en la arquitectura del DSP TMS320F28335, ver Figs. 1 y 2.
- Prácticas de laboratorio obligatorias para introducir al alumno en el manejo del entorno de programación Code Composer Studio, así como en la programación del DSP TMS320F28335 y sus periféricos, Fig. 3.
- Diseño de un sistema electrónico de aplicación industrial, basado en el DSP TMS320F28335, que incluye el montaje del mismo por parte de los alumnos.

Para entender la complejidad y volumen del trabajo desempeñado por los alumnos, nos centraremos en este documento a la descripción de uno de los proyectos que se han desarrollado durante el curso 2017-2018, desempeñado por dos alumnos y centrado en una impresora 3D comercial.

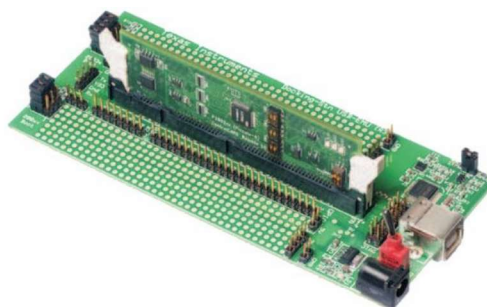


Figura 1. Plataforma “*delfino c2000 kit*”, sistema de desarrollo para el DSP TMS320F28335 del fabricante Texas Instruments.

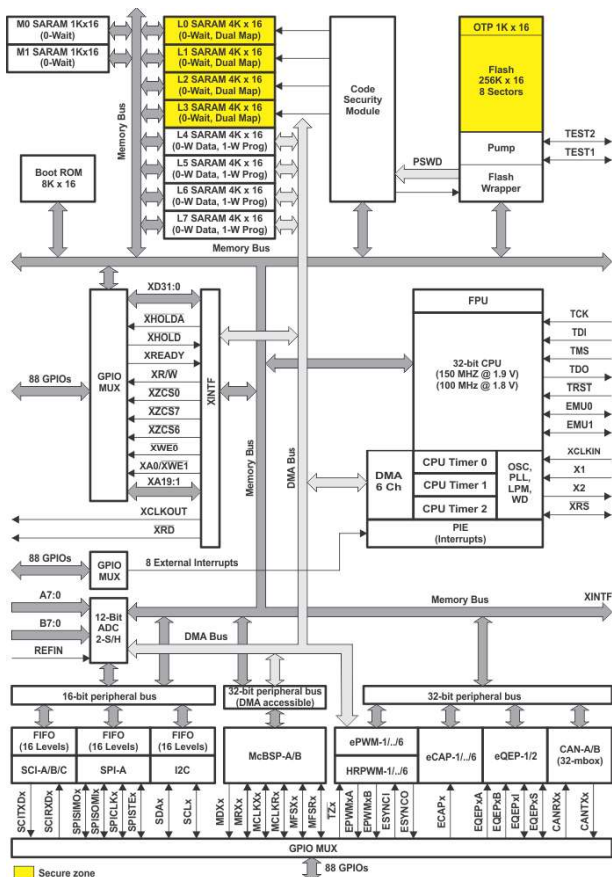


Figura 2. Arquitectura interna del DSP TMS320F28335 del fabricante Texas Instruments.

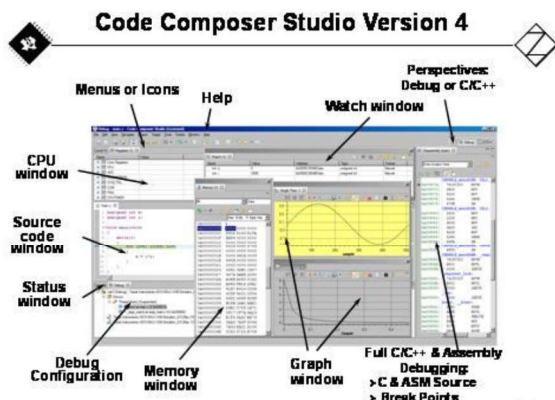


Figura 3. Entorno "Code Composer Studio" para el desarrollo y depuración de microprocesadores del fabricante Texas Instruments.

### III. EJEMPLO DE EXPERIENCIA PBL

Durante el reciente curso 2017-2018, se realizaron tres trabajos en grupos de entre dos y tres alumnos. Desde el inicio se dejó libertad a los alumnos para que plantearan los mismos, con la supervisión del profesorado para limitar el alcance del trabajo a realizar, llegándose a los siguientes:

- Desarrollo del sistema de control de una impresora 3D.
- Desarrollo del sistema de control de un vehículo 4x4 controlado vía Bluetooth.

- Desarrollo de un sistema afinador de instrumento musical de cuerda.

En este artículo se describe el proyecto realizado por dos alumnos inscritos en la materia, consistente en el desarrollo del sistema de control de una impresora 3D. Para situarnos en contexto y comprender la concepción generalista que aporta, comentaremos brevemente la situación actual en el mundo de la impresión 3D.

#### A. Introducción a las impresoras 3D

La fabricación aditiva, como también se la conoce, presenta una nueva posibilidad de producción. Las piezas se fabrican por adición de material abriendo la puerta a la creación de piezas complejas en un solo bloque, sin necesidad de dividir las piezas en subpartes. Esta tecnología se puede usar desde el prototipado rápido hasta la producción industrial, teniendo como ventaja la posibilidad de producir infinitos diseños con un mismo aparato, sin necesidad de adaptar la máquina por un cambio del producto a fabricar. Obviamente existen ciertas desventajas asociadas al proceso de producción, como son la velocidad de producción, bastante lenta en la actualidad. También pueden surgir problemas con los derechos de autor, pues con un escáner 3D y la impresora podríamos replicar prácticamente cualquier pieza existente. Sin embargo, la impresión 3D puede ser considerada como uno de los pilares de la llamada industria 4.0, de la que muchos analistas se están haciendo eco en la actualidad, poniéndola en los cimientos de la cuarta revolución industrial. Así, se estima que una vez que esta tecnología alcance su máximo potencial, quedará al alcance de todos los seres humanos la fabricación de pequeñas piezas u objetos en casa, desapareciendo la necesidad de comprar el producto terminado, que quedaría reemplazada por la compra de la materia prima involucrada en el proceso de fabricación. Podríamos por ejemplo imprimir una cuchara, un abridor o casi cualquier cosa que se nos pueda ocurrir o que podamos necesitar.

En este caso, la impresora que se ha empleado utiliza la tecnología FFF, del inglés *fused filament fabrication*, que consiste en depositar capas de filamento fundido unas sobre otras, formando así una figura final en tres dimensiones. Para esto es necesario el uso de máquinas de control numérico que alcancen la precisión necesaria para la correcta impresión 3D. Existen en el mercado diferentes modelos y arquitecturas de impresoras 3D, si bien la más común hoy en día en cuanto a uso personal y doméstico es la Prusa i3 [5], es decir, la tercera iteración del modelo Prusa, Fig. 4.

Según su arquitectura, las impresoras 3D ofrecen distintas prestaciones, pero el trabajo se centró en el modelo mencionado anteriormente por ser el más utilizado y por disponer de una estructura para realizar el proyecto. Por otro lado, la arquitectura seleccionada goza de tanta popularidad por encontrarse bajo licencia GPL y ser de fácil montaje. Utiliza los tres ejes cartesianos X, Y y Z para definir el espacio a utilizar, siendo independientes los ejes X e Y, que trabajan simultáneamente, y solo funcionando el eje Z cuando se acaba una capa y es necesario cambiar altura para continuar la impresión.

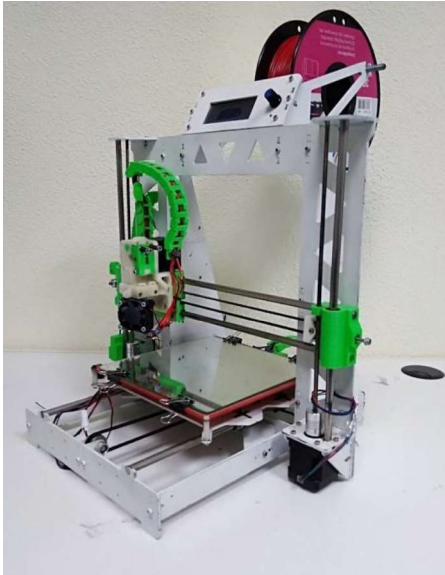


Figura 4. Impresora 3D empleada en el trabajo.

El movimiento RepRap también tiene mucho que ver no solo con el auge del modelo Prusa i3 sino con el desarrollo de las impresoras 3D domésticas a un coste asequible para el bolsillo de un ciudadano medio. Este movimiento promueve el desarrollo de las impresoras 3D de forma libre y sin licencias. El creador del modelo Prusa pertenece a esta comunidad, así como el creador del firmware Marlin que usan las impresoras. Son usuarios que no dudan en poner su trabajo a disposición del mundo para fomentar el uso de esta tecnología. El hecho de que sea libre permite a muchos fabricantes proporcionar kits de montaje o la impresora ya terminada al usuario final reduciendo de forma importante los costes en los que incurrir. El movimiento RepRap aporta en su wiki las instrucciones de montaje necesarias para la construcción de una impresora 3D, tanto de la parte mecánica como electrónica, de forma que cualquier persona puede construir su propia máquina.

La relación de estas máquinas con la electrónica es indudable, su nombre ya nos da la primera pista: máquinas de control numérico o máquinas CNC. La máquina debe leer un código que define la pieza a fabricar (normalmente Gcode) y actuar según lo que indique. El código, en el caso de una impresora 3D convencional, no solo indica las posiciones a las que debe llegar el extrusor, sino la velocidad del éste o de movimiento, la aceleración, la temperatura de impresión, etc. Esto genera una necesidad de controlar la máquina según estas instrucciones, y debe ser de manera totalmente automatizada por lo que se requiere de un código previo que satisfaga todas las instrucciones posibles que puedan llegar a través del Gcode. En la mayoría de las impresoras 3D de uso doméstico este control lo realiza un Arduino, siguiendo un firmware de libre distribución llamado Marlin. La elección de Arduino tiene sentido pues tiene las prestaciones necesarias, un bajo coste y facilita la accesibilidad a personas no versadas en electrónica. El trabajo que se plantea consiste en sustituir el sistema de control basado en el sistema Arduino por el DSP TMS320F28335, de mucha más capacidad y que podría usarse como base para controlar varias impresoras en paralelo, lo que aumentaría el ritmo de producción de una pieza.

Los elementos de la impresora a controlar son varios: motores paso a paso, sensores de temperatura, ventiladores y sensores fin de carrera, así como una boquilla que se calienta, el denominado Hot End. También, se recomienda incluir una pantalla LCD que facilita de manera notable el uso del dispositivo, si bien no es estrictamente necesaria. Estos elementos combinados con las piezas mecánicas, como correas, permiten el movimiento de la impresora. Son necesarios, en resumidas cuentas, 5 motores paso a paso: uno para el eje X, otro para el eje Y, dos para el eje Z y un último motor que extruye el plástico al pasarlo por el Hot End. Los sensores fin de carrera son interruptores colocados tanto al final como al principio de los ejes, necesarios para la calibración inicial de la impresora aunque por software podrían eliminarse los que indican el final. Por último, con los sensores de temperatura y los ventiladores se debe controlar la temperatura de impresión para que se mantenga estable en el valor deseado.

La Fig. 5 resume, a título ilustrativo y por sencillez, el comportamiento de una impresora 3D convencional.



Figura 5. Diagrama de flujo básico sobre el funcionamiento general de una impresora.



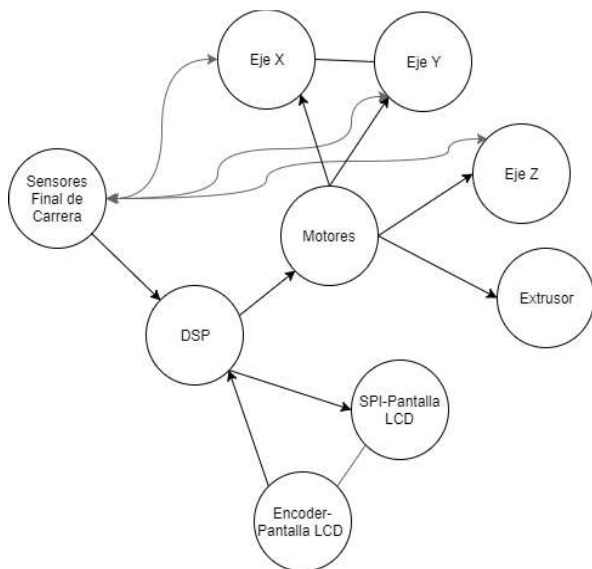


Figura 6. Organigrama básico de componentes en la experiencia PBL basada en la impresora 3D, desarrollada en el curso 2017-2018.

### B. Experiencia PBL

En el proyecto realizado se desmontó toda la electrónica y se estudió toda la parte eléctrica, mecánica y sensorial de la impresora para localizar más fácilmente el hardware controlable, sustituyéndose el sistema Arduino por el DSP estudiado en clase, Fig. 6. Se identificó la información relevante para el funcionamiento de la impresora 3D, como por ejemplo la relativa al correcto manejo de los motores paso a paso, las conexiones de la pantalla LCD, etc. También se compró un kit de sensores fin de carrera para ampliar el número de sensores disponibles de 3 a 6, mejorando el sistema inicial al dotarle de medidas extra de seguridad y calibración en funcionamiento. Finalmente, el kit también incluye un PCB (*Printed Circuit Board*) con pantalla LCD, lector de tarjeta SD y un encoder, que se ha utilizado para ser fieles al diseño original del sistema comercial (este PCB es muy usado en los modelos de impresora 3D comerciales), aunque su uso complicaba el desarrollo del proyecto respecto a la situación de búsqueda de elementos de utilidad similar pero mayor simplicidad en su manejo.

El trabajo de rediseño se dividió finalmente en dos bloques en los que se centraron cada uno de los alumnos del grupo. El primero de estos bloques incluía la configuración general del DSP. Se estudió e implementó el conexionado con el PCB de la pantalla, se realizó la conexión y manejo del encoder y del periférico SPI que permite controlar la pantalla LCD, si bien aún no se ha puesto en funcionamiento por falta de tiempo. Los finales de carrera se añadieron al sistema como interrupciones hardware de tipo no enmascarables, debido a que deben de ser considerados como elementos de protección del sistema (es imprescindible que funcionen en este modo pues si la impresora siguiese ejecutando código de movimiento cuando llega al final de carrera, la máquina podría dañarse). El segundo bloque se centra en el movimiento de la impresora, simplificado en la actualidad al plano XY (el control del eje Z, que permitirá integrar la tridimensionalidad en las piezas impresas, se incluirá de forma análoga en el segundo

cuatrimestre del curso). Para conseguir controlar el movimiento de los motores paso a paso se emplea el driver A4988 y una señal PWM generada por el DSP. El movimiento de los motores debe sincronizarse, para lo que se emplea una función específica. Se diseñó un algoritmo que mantuviera siempre una velocidad constante, pudiendo ésta cambiarse a voluntad. Así, los movimientos necesarios en los ejes X e Y se producen en la línea recta entre dos puntos y a la velocidad definida, lo que permite crear figuras complejas simplemente usando gran cantidad de puntos. En su estado actual, la impresora se desplazaba por el plano, si bien está previsto mejorar el código para controlar la velocidad y la aceleración y conseguir una mayor precisión en los desplazamientos.

Una vez que cada alumno completó su bloque de tareas, se procedió a unificar los trabajos realizados para desarrollar el algoritmo básico de manejo de la impresora, implementándose la función de inicialización del sistema con el establecimiento de la referencia inicial de impresión (coordenadas cero) y a la calibración de los sensores final de carrera para evitar daños en el equipo. Con la finalización del proyecto adscrito a la asignatura, se ha dado un primer paso en controlar el movimiento de la impresora 3D comercial, lo que se traducirá en un sistema comparable al inicial cuando se complete el desarrollo del software que traduzca el Gcode en instrucciones.

Sin entrar en detalle y a título informativo, los otros dos proyectos de la asignatura desarrollados por los alumnos han incluido el manejo de los motores de un vehículo 4x4 controlado vía Bluetooth desde una app y un afinador para instrumento musical de cuerda.

## IV. RESULTADOS OBTENIDOS

Desde un punto de vista subjetivo, destacar el interés mostrado por los alumnos al realizar la asignatura, valorada en general muy positivamente por estos. Al tratarse de una asignatura con pocos alumnos matriculados (7 en el curso 2017-2018 y habitualmente menos de 10), el desarrollo de este tipo de experiencias se considera adecuado porque permite una evaluación y seguimiento del proceso de aprendizaje mucho más personalizado que la realización de un examen, si bien puede ser razonable complementar la evaluación de los trabajos con algún examen que permita modular de forma individual las calificaciones obtenidas.

De los 7 alumnos que han cursado la asignatura, sólo 4 estaban en disposición de completar el grado este curso, y de estos 4, dos continuarán el trabajo realizado hasta la finalización del mismo con la presentación de sus Trabajos Fin de Grado. Se espera que ambos puedan entregarlos antes del comienzo del Máster. Como comentario indicar que los otros dos alumnos ya tenían asignado el trabajo final de grado cuando comenzaron el curso.

## V. CONCLUSIONES

En este trabajo se describe el contexto docente de una asignatura optativa de 4º curso en el grado de Ingeniería de las Tecnologías Industriales (especialidad de Electrónica Industrial) impartida en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla y denominada Electrónica Industrial. Al tratarse de la última asignatura que verán los alumnos de grado relacionada con el diseño

electrónico basado en microprocesador, se ha planteado un procedimiento de aprendizaje de tipo PBL, basado en la realización de un trabajo práctico cooperativo y en un producto comercial. Se ha presentado asimismo uno de los trabajos que han desarrollado los alumnos, consistente en la implementación del sistema de control de una impresora 3D basado en el DSP TMS320F28335. Dada la complejidad del proyecto, los objetivos evaluables se limitan a la puesta en marcha del prototipo, ofreciéndose al alumno la posibilidad de continuar el desarrollo durante el segundo cuatrimestre del curso como parte de su trabajo Fin de Grado. En general se puede deducir que la experiencia ha sido interesante para los alumnos, que continúan con los trabajos planteados si bien requiere de un importante esfuerzo por parte del profesorado para el correcto seguimiento de los proyectos.

#### REFERENCIAS

- [1] Zabalza, Miguel A. (2002). La enseñanza universitaria: El escenario y sus protagonistas. Editorial Narcea. ISBN: 9788427713765.
- [2] High Level Group on the Modernisation of Higher Education (2014). Report to the European Commission on New modes of learning and teaching in higher education. On-line (04/05/2018) accessible at [http://ec.europa.eu/dgs/education\\_culture/repository/education/library/reports/modernisation-universities\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/education_culture/repository/education/library/reports/modernisation-universities_en.pdf)
- [3] Gallardo, S., Barrero, F., Martínez-Torres, M.R., Toral, S.L., Durán, M.J. (2007), Addressing Learner Satisfaction Outcomes in Electronic Instrumentation and Measurement Laboratory Course Organization, IEEE Transactions on Education, Vol. 50, no. 2, pp. 129-136.
- [4] Vélez de C., A. M. (1998), Aprendizaje basado en proyectos colaborativo en la educación superior, IV Congreso RIBIE, Brasilia.
- [5] Wiki del proyecto RepRap sobre el modelo Prusa i3 y sus características: [http://reprap.org/wiki/Prusa\\_i3](http://reprap.org/wiki/Prusa_i3)