

# Aprendizaje progresivo basado en proyectos en el ámbito de la Ingeniería Biomédica: diseño, construcción y programación de un ECG basado en un microcontrolador de bajo coste

Juan Pedro Domínguez-Morales, Manuel Domínguez-Morales, Elena Cerezuela-Escudero, Manuel Rivas-Pérez, Ángel Jiménez-Fernández, Rafael Paz-Vicente, Gabriel Jiménez-Moreno  
Dpto. Arquitectura y Tecnología de Computadores  
Universidad de Sevilla  
Sevilla

{jpdominguez, mdominguez, ecerezuela, mrvivas, ajimenez, rpaz, gajji}@atc.us.es

## Resumen

En la coyuntura sanitaria y educacional en la que se encuentra la sociedad desde hace unos años, el Campus de Excelencia Internacional Andalucía Tech confeccionó unos planes de estudio para una serie de grados que pretendían cubrir la necesidad del Ingeniero Informático dentro de la rama sanitaria. Estos grados, con un primer ciclo común, se subdividen en el segundo ciclo en tres especialidades. Una de ellas es la denominada Ingeniería Biomédica, que forma a Ingenieros con conocimiento de Informática a nivel de Hardware para el diseño y mantenimiento de maquinaria e instrumentación de aplicación en hospitales y centros sanitarios. Este grado se imparte actualmente en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática de la Universidad de Sevilla.

En este contexto, la asignatura "Instrumentación Biomédica" tiene un papel fundamental para el aprendizaje del funcionamiento y diseño de instrumentos de pequeña y mediana escala dentro del ámbito anteriormente especificado.

En este trabajo se plantea un mecanismo escalonado y basado en problemas [1,2] para el aprendizaje de los diversos instrumentos electrónicos de aplicación sanitaria. El objetivo del mecanismo de aprendizaje es aportar al alumnado conocimientos básicos acerca del funcionamiento y diseño de todo tipo de sensores y actuadores electrónicos, a la vez que se les introduce en la programación de un microcontrolador de bajo coste y basado en Arduino para manejar dichos periféricos.

De forma progresiva se van integrando los conocimientos de todas las prácticas a lo largo del curso para, finalmente, ser capaces de confeccionar y desarrollar un electrocardiógrafo portátil mediante un microcontrolador, una sonda, un amplificador operacional, un display gráfico, una placa de prototipado y diversos componentes electrónicos básicos tales

como potenciómetros, pulsadores y diodos led para el control del funcionamiento del instrumento.

## Abstract

In the current situation of Health and Education. the Andalusia Tech International Excellence Campus drew up a curriculum for three degrees that are intended to cover the need of Computer Engineer within the healthcare industry. These degrees, with a common first cycle of two years, have three specialties in the second cycle. One of them is the Biomedical Engineering, which trains engineers with knowledge of Computer Hardware level for the design and maintenance of machinery and instrumentation for application in hospitals and health centers. This degree is currently offered at the Technical Superior School of Computer Science at the University of Sevilla.

In this context, the course "Biomedical Instrumentation" has a fundamental role for learning the operation and design of small and medium-scaled instruments.

In this paper, a step-by-step and problem-based learning is explained inside the Biomedical Instrumentation course. The main objective of this learning mechanism is to provide basic knowledge about performance and design medical instruments with several types of electronic sensors and actuators, while students are introduced in the programming of a low-cost Arduino-based to handle these peripherals.

Progressively they integrate the knowledge of all practices sessions throughout the course to finally be able to prepare and develop a portable electrocardiograph by a microcontroller, a probe, an operational amplifier, a graphical display, a prototyping board and several basic electronic components such as potentiometers, pushbuttons and leds for controlling the operation of the instrument.

## Palabras clave

Instrumentación Biomédica, Andalucía Tech, aprendizaje basado en proyectos, aprendizaje progresivo, ECG (Electrocardiograma), microcontrolador, display gráfico.

## 1. Motivación

La asignatura Instrumentación Biomédica se encuentra encapsulada dentro del plan de estudios del Grado en Ingeniería de la Salud. Este grado tiene su origen en la necesidad de fomentar el uso de las últimas tecnologías en el ámbito de la salud, centrándose principalmente en el ambiente hospitalario.

Además, este plan de estudios nace propulsado por el recientemente creado Campus de Excelencia Internacional de Andalucía TECH, integrado por las Universidades de Málaga y Sevilla. Andalucía TECH se especializa en tecnología (TIC: Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, TEP: Tecnologías de la Producción; y BIOTECH). Las agregaciones están constituidas según las oportunidades estratégicas que surgen de la acción conjunta de los agentes en torno a seis sectores de especialización llamados Polos de Excelencia Docente e Investigadora. Son los siguientes: Aeroespacial, Biotecnología para una Sociedad Saludable, Comunicaciones y Movilidad, Energía y Medio Ambiente, Transporte, y Turismo y Desarrollo Territorial.

Por lo tanto, dentro del polo de excelencia orientado a biotecnología en la salud es donde se sitúa el plan de estudios mencionado anteriormente. Dicho plan posee un primer ciclo común, que engloba los dos primeros años del grado, en el que se imparten una serie de asignaturas de conocimiento transversal tanto en el ámbito de las nuevas tecnologías como en el ámbito científico-sanitario: las asignaturas que se pueden encontrar abarcan desde asignaturas básicas (como cálculo, bioquímica o arquitectura de computadores) hasta asignaturas más especializadas (como electrónica, genética o control).

El segundo ciclo de dicho plan de estudios se divide en tres especialidades: Informática Clínica, Bioinformática e Ingeniería Biomédica. De estas tres menciones, actualmente se encuentran en ejecución dos de ellas: Informática Clínica e Ingeniería Biomédica. El perfil buscado en la primera especialidad de las citadas anteriormente es el del Ingeniero del Software dentro del ámbito hospitalario, mientras que el perfil de la especialidad de Ingeniería Biomédica se encuentra focalizado al Ingeniero de Hardware dentro del mundo sanitario, focalizándose en diseño, desarrollo, programación y mantenimiento de instalaciones, maquinaria e instrumentación de uso en hospitales y centros sanitarios.

Dentro de este último ámbito se sitúa la asignatura de Instrumentación Biomédica, impartida en el tercer

curso del Grado de Ingeniería de la Salud, en la mención de Ingeniería Biomédica.

El contenido de ella se adecúa de manera formidable a las competencias a desarrollar durante dicho plan de estudios, puesto que se focaliza en el conocimiento, desarrollo y programación de instrumentos para el ámbito de la medicina tales como pulsímetros, medidores de temperatura, electrocardiogramas, pequeños brazos robóticos para operaciones, etc.; además de la necesidad de comprender y manejar sensores, actuadores y diversos periféricos para controlar y visualizar los resultados: displays, leds, potenciómetros. De forma más cercana a la instrumentación electrónica clásica, se hace hincapié en diversas herramientas electrónicas necesarias para la construcción de los anteriores instrumentos médicos, tales como amplificadores operacionales, filtros de paso de banda, etc.

Así pues, el reto de esta asignatura era incluir todos los conocimientos citados anteriormente en una serie de prácticas que ayudaran a los alumnos a comprender los conocimientos impartidos en las sesiones teóricas pero que, a su vez, iniciaran al alumnado en el diseño, construcción y programación de un instrumento médico real, utilizando para ello una metodología pedagógica basada en proyectos [1,2].

A continuación se detallará la temática elegida para las sesiones prácticas de la asignatura, así como la distribución temporal implementada durante el curso para conseguir cumplir los objetivos propuestos.

## 2. Temática para las prácticas

Lejos de convertir las prácticas de esta asignatura en un mero reflejo de la teoría y acercarlas a las prácticas clásicas de instrumentación electrónica, se optó por hacer un cambio radical en los contenidos de las mismas con el fin de motivar al alumnado e introducirlos en el mercado [3].

Si bien todos los instrumentos en el ámbito bio-sanitario aplican tratamientos analógicos sobre determinadas señales de entrada al sistema, casi la totalidad de éstos está gobernado por un computador de propósito específico o, como se le denomina comúnmente, un microcontrolador, que es el encargado de controlar el funcionamiento del instrumento, así como llevar a cabo la toma de muestras y devolución de los resultados.

Es por ello que se llegó a la conclusión de plantear, de entre la totalidad de las sesiones prácticas, una serie de sesiones focalizadas en el aprendizaje y manejo de un microcontrolador para manejar una serie de actuadores y sensores. De entre la gama de microcontroladores susceptibles de poder ser utilizados, se optó por uno que requiriese poco conocimiento previo y cuya curva de aprendizaje tuviera una alta pendiente inicial, siendo el elegido un microcontrola-

dor ATmega328 [4], utilizado en la placa Arduino UNO. La necesidad de hacer uso de un microcontrolador simple quedaba patente en una asignatura con, únicamente, 1.5 créditos ECTS de prácticas (15 horas en la Universidad de Sevilla, divididas en 7 sesiones prácticas de 2 horas y una hora adicional, cuyo uso se detallará posteriormente).

Adicionalmente a estas prácticas, como puede resultar obvio en una asignatura de instrumentación, es necesario introducir al alumno en el material de laboratorio y ciertos aspectos relacionados con las sesiones teóricas pero, a diferencia de las prácticas comunes de instrumentación, se tiende a minimizar este tipo de sesiones a favor del trabajo con microcontroladores.

En la siguiente sección se comentará la distribución y contenido de cada una de las prácticas diseñadas para la asignatura.

### 3. Distribución y contenido de prácticas

Tal como se comentó en el epígrafe anterior, se llevarán a cabo prácticas ligadas estrechamente con las medidas y herramientas vistas en las sesiones teóricas pero, a su vez, se realizará un conjunto de prácticas para trabajar con un microcontrolador concreto.

A continuación se detalla cada una de las sesiones prácticas:

- *Primera sesión:* introducción al material de laboratorio y manejo de los instrumentos básicos, tales como el generador de ondas, la fuente de alimentación y el osciloscopio. Con motivo de hacer uso de ellos, el alumno desarrolla una serie de circuitos básicos con filtros a determinadas frecuencias.
- *Segunda sesión:* introducción al entorno, manejo y programación del microcontrolador ATmega328 [4]. Se introduce al uso de la herramienta de programación, a la placa, al lenguaje utilizado para programarla y se realizan diversos circuitos simples en los que interviene el microcontrolador. Estos circuitos le ayudarán al alumno a comprender el manejo de las entradas y salidas de periféricos en un microcontrolador específico.
- *Tercera sesión:* con el conocimiento adquirido en la sesión práctica anterior, en ésta se hace uso de una serie de sensores de toma de datos para que el alumno aprenda el funcionamiento de dichos sensores a la vez que programa el microcontrolador para la obtención de los datos proporcionados por dichos sensores. Entre los sensores se encuentran: sensores de temperatura, de humedad, de posición, de movimiento, de luminosidad, etc.

- *Cuarta sesión:* está focalizada en trabajar con actuadores. De esta forma, el alumno comprende el funcionamiento de diversos actuadores tales como los servomotores, motores de corriente continua, motores paso a paso, bombas de calor (peltier), bombas hidráulicas, etc.
- *Quinta sesión:* una vez conocidos diversos tipos de sensores y actuadores, se trabaja con displays (siete segmentos, LCDs de dos líneas y displays gráficos) para representar la información obtenida de los sensores, la información de control enviada a los actuadores y ambas a la vez. Hasta ahora, se hacía uso de una comunicación serie por USB para muestrear o tener algún tipo de información de las tareas que se estaban desarrollando; es por ello que esta sesión se focaliza en representación de la información de forma visual.
- *Sexta sesión:* centrada en el estudio e implementación de amplificadores operacionales de los tres tipos (no inversores, inversores y diferenciales). La situación en el calendario de esta práctica puede parecer descuadrada con respecto a las anteriores sesiones, pero su situación está condicionada directamente con la organización del temario teórico, a la vez que su situación es idónea de cara a poder hacer uso de los amplificadores en la siguiente sesión.
- *Séptima sesión:* diseño, construcción y programación de un instrumento complejo. Haciendo uso de los conocimientos adquiridos en las sesiones anteriores y una serie de sensores y accesorios adicionales, se implementan tres instrumentos básicos: un electrocardiógrafo, un pulsímetro y un brazo robótico para operaciones. Estos tres proyectos incorporan el trabajo realizado en prácticas anteriores, tales como visualización en displays y leds, control por pulsadores y joysticks, y el uso de filtros y amplificadores en los casos en los que sean necesarios.

La última hora que quedaría para completar las 15 horas de docencia práctica se completaría con una presentación del trabajo realizado por el alumno durante el curso académico completo.

A continuación, en la siguiente sesión, se detallará la metodología docente utilizada para la impartición del contenido anteriormente detallado.

### 4. Metodología docente

Se ha podido comprobar la complejidad y extensión del temario práctico impartido que, fundamentalmente, se encuentra condicionado a la carga docente práctica de la asignatura.

Para el desarrollo correcto de las sesiones prácticas y con motivo de fomentar el aprendizaje y motivación

del alumnado, se ha trabajado aplicando una metodología pedagógica de aprendizaje basado en proyectos (PBL, project-based learning) [1,2].

La metodología ABP ha sido tratada ampliamente en numerosos trabajos [5,6,7] y a pesar de que es una metodología relativamente nueva, ha demostrado ser eficaz en la enseñanza de las más diversas ramas de conocimiento [7].

Cada sesión práctica está compuesta por un boletín propio, que contiene una introducción teórica de los conocimientos que se imparten en dicha sesión, un estudio previo a desarrollar por el alumno (focalizado en buscar información sobre ciertos aspectos) y una serie de ejercicios a realizar en el laboratorio.

Los ejercicios propuestos se subdividen en ejercicios básicos y avanzados. Los ejercicios básicos tienen el objetivo de introducir al alumno en la materia de dicha práctica, así como obtener cierta soltura en la tarea que se encomienda. Por otro lado, los ejercicios avanzados están pensados para integrarse en un proyecto mayor. En cada práctica se podrán encontrar entre tres y cinco ejercicios básicos, frente a uno o dos ejercicios avanzados.

La finalidad de los ejercicios avanzados es que, sesión a sesión, se vayan integrando hasta obtener un instrumento completo, cuyas partes se han ido desarrollando práctica a práctica. Será la sesión final la elegida para dedicarla íntegramente a unificar los ejercicios avanzados, que se han ido desarrollando durante el curso, y a completar aquellas tareas que hayan quedado sin desarrollarse. Con motivo de fomentar el trabajo en equipo, esta sesión final se realizará por parejas, de forma que integrarán el trabajo realizado por cada uno de los alumnos para desarrollar los instrumentos [8]. Debido a la complejidad de los instrumentos que se plantean y a la falta de tiempo para completarlos todos, se permite a cada pareja elegir dos de ellos. Aun así, los ejercicios avanzados que se han desarrollado en prácticas previas están focalizados a poder ser utilizados en cualquiera de los instrumentos, es por ello que no se necesita elegir qué instrumentos implementar hasta bien avanzado el curso.

Debido a ser una asignatura de tercer curso y contar con un total de alumnos en torno a 20-25 por curso académico, se lleva a cabo una evaluación más personal y cercana al alumno. Los alumnos son, además, divididos en dos subgrupos de prácticas; con el motivo de que cada alumno pueda disponer del material; evitando, de esta forma, la realización de prácticas en grupos durante todas las sesiones. Es bien conocido que en la realización de prácticas en grupo, existe un integrante más activo que es el que lleva la mayor carga de trabajo y que, de forma inconsciente, provoca que el compañero no llegue a adquirir los conocimientos y competencias que se exigen. Por ello, aunque la sesión final requiera

trabajo en grupo, ambos alumnos han debido comprender el funcionamiento de todos los elementos en las prácticas anteriores y, de esta forma, se convierten en dos elementos plenamente activos en la toma de decisiones de la práctica final.

En cuanto a la evaluación de las sesiones prácticas, se contabiliza una serie de factores:

- Asistencia y actitud: no contabiliza un porcentaje fijo sobre la nota, siendo un modificador positivo o negativo de la nota obtenida. Aunque se obliga la asistencia, al menos, a un 80% de las sesiones prácticas.
- Estudios previos: se contabiliza el aspecto investigador del alumno en temas relacionados con cada una de las sesiones prácticas. Conlleva un 20% de la calificación práctica.
- Trabajo diario: el profesor evalúa el aprendizaje del alumno mediante el trabajo de cada sesión. No se requiere que el alumno complete satisfactoriamente la totalidad de los ejercicios propuestos, sino que comprenda y demuestre los conocimientos adquiridos. Puntúa hasta un 10% de la nota de prácticas.
- Memoria final: entrega de una memoria individual por alumno, que constara de dos partes. Por un lado, se detalla el trabajo realizado en todas las sesiones prácticas de la asignatura y, en un segundo punto importante, se explica la integración y desarrollo de la práctica final. Esta última parte de la memoria será similar a su compañero de proyecto, pero la primera parte será diferente para cada alumno. Es importante que esta memoria no detalle únicamente el instrumento final para fomentar el trabajo diario. Supone el 50% de la calificación práctica.
- Presentación final: cada pareja presentará en público uno de los dos instrumentos desarrollados, haciendo especial hincapié en la comparativa con los instrumentos actuales. Debido a la falta de tiempo, esta presentación ha de ser concisa y no superar los 15 minutos. Conlleva el 20% de la calificación de las sesiones prácticas.

Como complemento para completar de forma satisfactoria la asignatura, se habilita un laboratorio propio del departamento a disposición del alumnado. Este laboratorio está reservado para uso íntegro por alumnos de trabajo fin de grado, trabajo fin de máster y alumnos internos. Está equipado por un acceso al laboratorio por tarjeta (siendo tarea fácil controlar los asistentes al laboratorio) y por dos armarios (con apertura con tarjeta) para almacenar material. De esta forma se permite al alumnado poder continuar con los ejercicios de las sesiones prácticas fuera de horario, pero manteniendo control total sobre el material. Este tipo de tareas fuera de clases no son obligatorias,

aunque tendrán su repercusión en la memoria final y el proyecto.

El mecanismo de dejar laboratorios habilitados como si fueran “salas de estudio” donde el alumno dispone libremente del material, ya ha sido probado satisfactoriamente en otros trabajos [9].

Resumiendo, en la integridad de las sesiones prácticas se fomenta el aprendizaje basado en proyectos (metodología pedagógica PBL, o ABP en castellano) [1,2], de forma que práctica a práctica se construye de forma modular un proyecto de gran envergadura; también se fomenta el trabajo en equipo a la hora de contrastar opiniones e integrar las diversas subareas de cara al diseño final del instrumento; y, por último, se permite disponer del material fuera de horario para que, aquellos alumnos interesados en avanzar en la materia o en terminar lo visto en prácticas, puedan disponer del material sin riesgo para el profesor de pérdida del mismo, ya que se controla el acceso al laboratorio y se asigna una placa a cada alumno, siendo cada uno responsable de su propio material.

Una vez comprendida la metodología seguida durante la impartición de la docencia, relacionada con la práctica, en la asignatura de Instrumentación Biomédica, se describe el material del que se hace uso, exponiendo algunos de los elementos utilizados (tanto básicos como complejos) durante el curso.



Figura 1. PCB de Arduino y placa de prototipado

## 5. Descripción del material

En la presente descripción se realizará una subdivisión entre componentes de base (aquellos más relacionados con la electrónica básica) y los componentes especializados (más relacionados con el ámbito médico).

En el primer subconjunto se pueden encontrar, entre otros muchos no citados, los siguientes:

- Placa Arduino UNO Rev3 (ver Figura 1-izquierda): tal como se ha comentado con anterioridad, esta placa está formada por un microcontrolador ATmega328 [4]. Ahondando un poco más en sus características, se podría nombrar o siguiente: posee 32 KB de memoria flash, 2 KB de SRAM y 1KB de EEPROM; posee un reloj de 16MHz; el voltaje operativo

es de 5V y permite alimentar componentes a 5 y 3.3V; posee 14 pines digitales y 6 pines analógicos conectados a un ADC de 10 bits de resolución, permitiendo una intensidad de 40mA por pin; y posee 6 pines conectados a un generador de señales PWM de 8 bits de resolución, compartidos con pines digitales.

- Placa de prototipado (protoboard, ver Figura 1-derecha): utilizada para desarrollar los circuitos utilizados en las sesiones prácticas.

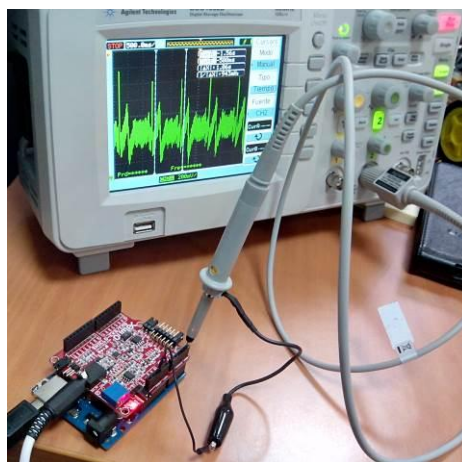


Figura 2. Electrocardiógrafo (arriba) y pulsímetro (abajo)

- Diversos sensores: sensor de temperatura (MCP9700), sensor de aceleración (ADXL335), fotorresistencia (LDR), etc.
- Displays: display LCD de dos líneas (MC1602F), display gráfico (ADM12864H).
- Actuadores: servomotores, motores de corriente continua.

Sin contabilizar entre los anteriores los componentes básicos de todo circuito: resistencias, condensadores, pulsadores, diodos led, cables, etc.

Entre los componentes complejos a manejar pueden encontrarse, principalmente, los dos siguientes:

- Pulsímetro: formado por un diodo led y una fotorresistencia, detecta los cambios de luminosidad en un dedo debido a la variación del oxígeno en los capilares del mismo.

- Electrocardiograma con sonda (ver Figura 2): dispuesto en una placa para encajar perfectamente sobre el pinout del Arduino.

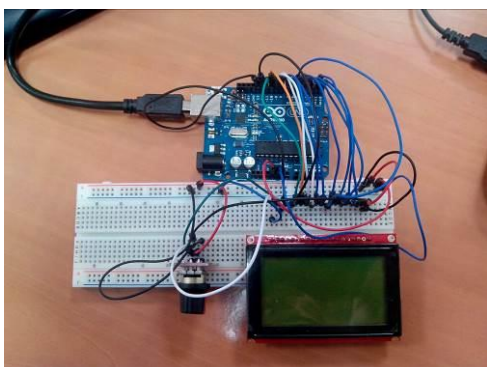


Figura 3. Montaje de Arduino con display gráfico

## 6. Resultados obtenidos

En primer lugar, cabe destacar que se expondrán los resultados en dos aspectos diferenciados: por un lado se mostrarán los resultados académicos relacionados con el presente trabajo y se detallará la influencia que ha tenido esta metodología. Por otro lado, se mostrarán los resultados de una encuesta anónima realizada al alumnado antes de la puesta de calificaciones, en la que se les preguntaba por diversos aspectos relacionados con las prácticas.

Con relación a los resultados académicos cabe destacar que, de entre los 22 matriculados del presente curso académico, 20 de ellos han seguido la evaluación aquí propuesta (habiendo dos alumnos que, bien por motivos personales o académicos, abandonaron la asignatura a mediados de curso). De los 20 alumnos indicados, la totalidad de los mismos ha asistido a más del 80% de prácticas (mínimo solicitado para optar al aprobado por evaluación continua). Únicamente dos de ellos no obtuvieron el aprobado mediante esta evaluación: uno de ellos por culpa de la falta de implicación y esfuerzo en las prácticas y, el otro, por motivos relacionados con la parte teórica. De los 18 alumnos aprobados cabe destacar que, pese a no obtenerse tan buenas calificaciones como se esperaba, 15 de ellos poseen como mínimo un notable en la asignatura: nótese que, aun siendo una asignatura con una parte teórica y práctica evaluadas de forma independiente, se exige aprobar ambas; lo cual demuestra el grado de implicación del alumnado.

Por otro lado, con respecto a la encuesta anónima, se entregó un cuestionario antes de publicar las notas, en el que se solicitaba la opinión del alumno en los siguientes tres aspectos (se citan únicamente aquellos aspectos relacionados con la parte práctica, que es la concerniente a este trabajo):

- *Qué le parecía el mecanismo de evaluación de las prácticas:* en términos generales aceptaban

el trabajo práctica a práctica como mecanismo de motivación para llevar la asignatura al día pero, casi la mitad de ellos, comentaban que la duración de las prácticas no era acorde a lo que se exigía; necesitando, en muchos casos, el trabajo fuera de clase para completar algunas prácticas.

- *Si creía que los microcontroladores tenían cabida en esta asignatura:* todos coincidían en indicar que trabajar con microcontroladores les ha acercado más a la instrumentación de lo que pensaban. De hecho, muchos de ellos confiesan haber comenzado el curso reacios con la asignatura, pero que han ido cogiéndole el gusto a medida que ha avanzado.
- *Qué cambiaría para otro curso:* una mitad reortaría los ejercicios propuestos en las prácticas, mientras que la otra mitad hubiera aumentado el número de créditos prácticos de la asignatura.

Ante dos de las críticas, cabe destacar que este curso es el primero en el que se imparte esta asignatura, así pues el contenido de las prácticas no está optimizado aún para la duración de las mismas. Este contenido irá sufriendo una serie de revisiones hasta adecuarlo a la duración de cada sesión. En cuanto al cambio de créditos teóricos por prácticos, el plan de estudios es inamovible en ese aspecto.

Como nota motivadora, uno de los alumnos ha expresado abiertamente que comenzó sus estudios en este grado porque pensaba que la carrera se focalizaba principalmente en la temática abordada en esta asignatura y, como curiosidad, confiesa que este curso dudaba si continuar en este grado o cambiar de carrera pero que, tras cursar esta asignatura, se alegra de haber continuado.

Si bien un solo alumno es una estadística pobre, esa confesión supone un punto motivador adicional sobre el profesorado de dicha asignatura. Igualmente se espera que, en menor medida, haya más alumnos que no lo hayan confesado pero que se sientan identificados con la materia recibida.

## 7. Conclusiones

En el presente trabajo se ha expuesto una metodología de aprendizaje basada en proyectos, aplicada a la asignatura de Instrumentación Biomédica. Esta asignatura está impartida en la Universidad de Sevilla por el Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores, y se encuentra integrada dentro del plan de estudios del Grado de Ingeniería de la Salud, mención en Ingeniería Biomédica.

La metodología se basa en la realización progresiva de una serie de proyectos a lo largo de las sesiones prácticas [1,2], que concluirán en el ensamblado y construcción de un instrumento complejo a final del



curso. Se fomenta igualmente el trabajo en equipo [8] a la hora de diseñar el instrumento final, además de evaluar la capacidad comunicativa del alumno para exponer su trabajo y compararlo con instrumentos comerciales.

Debido a la falta de conocimiento del alumnado en el ámbito de los sistemas empujados, se ha optado por el uso de placas de la familia de Arduino, y una serie de sensores y actuadores para realizar los circuitos necesarios para prácticas.

Los resultados obtenidos tras la impartición de la asignatura, muestran un alto grado de implicación por parte del alumnado, además de un gran índice de aprobados; a pesar de la complejidad del temario impartido. Estos hechos prueban la eficiencia de hacer uso de metodologías de aprendizaje progresivo, de forma que el alumno se vea recompensado el final por el trabajo que ha ido realizando a lo largo del cuatrimestre.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto BIOSENSE (TEC2012-37868-C04-02) del Plan Nacional de Investigación del Ministerio de Economía y Competitividad con soporte del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

## Referencias

- [1] Solomon, G., 2003. *Project-Based Learning: a Primer*. Technology and Learning, 23(6), 20-30.
- [2] Labra, J.E., Fernández, D., Calvo, J., Cernuda, A. 2006. *Una Experiencia de aprendizaje basado en proyectos utilizando herramientas colaborativas de desarrollo de software libre*. XII Jornadas de Enseñanza Universitaria de Informática (JENUI), Bilbao, 12-14 Junio.
- [3] Brown, G. y Atkins, M., 1988. *Effective teaching in Higher Education*. Ed. Routledge. Londres.
- [4] Datasheet del microcontrolador ATmega328P: [http://www.atmel.com/Images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P\\_datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet.pdf)
- [5] Markham, T., 2003. *Project Based Learning, a guide to Standard-focused Project based learning for middle and high school teachers*. Buck Institute for Education.
- [6] Solomon, G., 2003. *Project Based Learning: a Primer, Technology a Learning*. Vol. 23, num. 6.
- [7] Dolmans, H, et al., 2005. *Problem-based learning: future challenges for educational practice and research*. Blackwell Publishing Ltd. Medical Education, 39.
- [8] Fuentes, P. y otros, 1997. *Técnicas de trabajo individual y de grupo en el aula. De la teoría a la práctica*. Ed. Pirámide.
- [9] Hedley, M., Barrie, S., 1998. *An undergraduate microcontroller systems laboratory*. IEEE Transactions on Education, vol. 41, issue 4.