

Curso de Instrumentación Biomédica en Ingeniería de la Salud

Rafael de Jesús Navas González
Departamento de Electrónica
Universidad de Málaga. Andalucía Tech.
Málaga, España
rjnavas@uma.es

Resumen— El propósito de esta ponencia es compartir una experiencia docente de impartición de contenidos de electrónica en una titulación con vocación de transversalidad como es el Grado de Ingeniería de la Salud, que se imparte en el marco del Campus de Excelencia Internacional Andalucía Tech. En concreto, en este trabajo se discuten los principales retos y dificultades que conlleva esta tarea; y se presenta cómo se han seleccionado y cómo se han organizado los contenidos teóricos y las prácticas de laboratorio de la asignatura de Instrumentación Biomédica.

Palabras claves—docencia en electrónica; transversalidad; interdisciplinariedad; especialización; aprendizaje basado en proyectos, aprendizaje basado en plataformas de desarrollo.

I. INTRODUCCION

La enseñanza de la electrónica en titulaciones donde esta disciplina no constituye un leitmotiv, o eje fundamental, requiere un cuidadoso ejercicio de selección de contenidos, que aúne un rigor y un nivel de competencia que se adecúe al entorno académico y profesional, al tiempo que no provoque animadversión, e incluso odio a la materia. Este es el caso de muchas titulaciones multidisciplinares, entre las que se encuentra, sin duda, el Grado en Ingeniería de la Salud [1] (GIS). Este grado se creó con el ánimo de formar profesionales que posean una formación amplia en diferentes ramas, tanto de la tecnología como de las ciencias de la vida, que les permita participar activamente y servir de puente en la aplicación de los principios de la ingeniería al ámbito de la salud. Sin duda, la electrónica, como soporte tecnológico, es una materia que juega un papel relevante, aunque, en este contexto, necesariamente al mismo nivel que otras ramas de la tecnología, como son la mecánica, la ciencia de los materiales, la automática, la robótica, la telecomunicación, la informática, etc.

Esta ponencia cuenta la experiencia docente de impartición de la asignatura “Instrumentación Biomédica”. Se trata de una asignatura obligatoria de la mención Ingeniería Biomédica, una de las tres menciones en las que se diversifica GIS. Básicamente, la asignatura se ha organizado como un curso típico de *Instrumentación Electrónica* orientado y adaptado al contexto sanitario en el que se enmarca la titulación, siguiendo la filosofía de los primeros capítulos del clásico de Webster [2], y completando los contenidos con aplicaciones basadas en microcontroladores, destacando así el importante papel que, en el ámbito de la instrumentación, ha supuesto la incorporación

de estos dispositivos. Este último aspecto se desarrolla principalmente en las prácticas. Éstas se han organizado en torno a la plataforma comercial e-Health para Arduino Cooking Hacks [3], que comercializa libelium [4], que permite analizar y experimentar un amplio conjunto de sensores empleados en biomedicina, dado el carácter “*open source*” de la misma, al tiempo que constituye un ejemplo, real y asequible para los estudiantes, de interacción entre el mundo analógico de los sensores y el digital de los sistemas basados en microprocesador/microcontrolador.

En este artículo se presenta inicialmente el contexto de la asignatura dentro de la titulación y mención en la que se inscribe. A continuación, se presenta y justifica cómo se han seleccionado los contenidos, cómo se organizan y exponen, interpretando los descriptores de la asignatura recogidos en la memoria del título [5]; y finalmente, cómo se organizan las sesiones de prácticas de laboratorio. En este último aspecto se hará hincapié en el importante papel que en ellas desempeña la plataforma comercial e-Health. Por último, se presentan y analizan algunos resultados académicos, así como las opiniones de los estudiantes, recogidas a lo largo de diferentes cursos académicos mediante encuestas SEEQ (Students’ Evaluation of Educational Quality) [6], al tiempo que se reflexiona sobre ambos.

II. CONTEXTO ACADÉMICO

A. Instrumentación Biomédica en Ingeniería de la Salud

En el plan de estudios del Grado en Ingeniería de la Salud, la asignatura “Instrumentación Biomédica” (IB) (6 ECTS) —3^{er} curso, 6^o semestre—, desarrolla, junto con “Electromedicina” (EM) (6 ECTS) —4^o curso, 7^o semestre— una de las componentes de la *Formación específica en Ingeniería Biomédica* denominada *Instrumentos médicos*, que configura la mención del título Ingeniería Biomédica (INBM).

Según recoge la memoria del título [5]:

“En la primera se tratan los fundamentos del procesamiento de señales junto con las particularidades de los problemas en las aplicaciones en Ingeniería Biomédica, mientras que en la segunda se profundiza y se trata el diseño y la selección de dispositivos para aplicaciones.”

Por su parte, las competencias específicas asignadas a cada una de ellas son:

“Capacidad para aplicar técnicas existentes en el tratamiento de señales que permitan su interpretación y aplicación al ámbito de la biología y la medicina.”

“Capacidad para diseñar dispositivos eléctricos y electrónicos para aplicaciones en biología y medicina.”

Como ocurre en estos casos, la prescripción que se realiza en estos documentos es tan genérica que hace falta una labor de reinterpretación, y contextualización, para recoger el espíritu de sus redactores, hasta lograr un consenso que permita concretar el contenido de cada asignatura. En nuestro caso, el enfoque que pareció más adecuado fue el de seguir el esquema que proponen los manuales clásicos de instrumentación biomédica [2][7]; abordando en la asignatura de IB los contenidos de introducción a los instrumentos de medida, dispositivos de adquisición de señales (sensores), incluidos biopotenciales, y circuitos de acondicionamiento básico próximos al sensor, incluidos los de amplificación y filtrado; y dejando para EM aspectos de sistema de más alto nivel: dispositivos y equipos de medida del tipo: ECG, EMG, EEG, etc., y toda la problemática asociada a la seguridad eléctrica. También parece oportuno, dada la creciente importancia de su uso, completar los contenidos de IB, incluyendo la adquisición y procesado de señales mediante sistemas basados en microcontrolador.

Así pues, la asignatura IB se ha planteado como un curso de Instrumentación Electrónica, pero orientado al ámbito de la biomedicina y los instrumentos médicos en cuanto a las propuestas y ejemplos de aplicación. Siguiendo la definición clásica, la instrumentación electrónica:

“Es la parte de la electrónica que se encarga del diseño y manejo de dispositivos y sistemas cuya principal misión es la medición de magnitudes físicas”

o de otra forma:

“Se aplica en la adquisición mediante sensores y el procesamiento de la información proveniente de variables físicas y química, a partir de las cuales se realiza la monitorización y el control de procesos, empleando dispositivos y tecnologías electrónicas”

La capacitación en cuanto a procesado de más alto nivel de señales adquiridas por los instrumentos, incluido el procesamiento digital de la señal, se contempla y concreta en asignaturas optativas de la mención como “Bio-señales Médicas” (BioSM) —4º curso—.

B. Materias Básicas y Asignaturas relacionadas

Los contenidos básicos de electrónica, comunes a todos los estudiantes de GIS, se concreta en la asignatura “Electrónica” (EL) (6 ECTS) —2º curso, 3º semestre—. EL es una asignatura troncal, que según recoge la memoria del título [5] debe “capacitar en el conocimiento de los fundamentos de electrónica”. Se trata pues de un curso de electrónica general en sentido amplio, que en la práctica concreta su temario abordando aspectos tanto de electrónica digital, como analógica, pasando por los dispositivos [8].

Junto a ésta, las asignaturas “Circuitos y Máquinas Eléctricas” (CYM) (6 ECTS) —también de 2º curso, 3º semestre—; “Control Automático” y “Arquitectura de Computadores y Sistemas Operativos —ambas de 2º curso, 4º semestre— completan la formación del estudiante en lo que

respecta al análisis de circuitos y máquinas eléctricas, métodos de control y regulación automática y de los componentes y estructura básica de los computadores [9]. Todos son cursos generalistas que abordan los fundamentos de cada materia. Y dada la diversidad de contenidos y departamentos implicados, no está clara, ni garantizada, una orientación específica hacia contenidos y problemas biomédicos.

Con este amplio bagaje —al menos sobre el papel, según se concreta en los temarios de cada asignatura, aunque necesariamente poco profundo y de orientación incierta en la práctica— es con el que se supone que el estudiante cuenta para afrontar el resto de los contenidos de electrónica; y el que el docente debería asumir al plantear su docencia. En concreto, en nuestro caso, un curso de IB.

III. CURSO DE INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA

A. Competencias y Objetivos de aprendizaje

Entre las competencias asignadas a esta asignatura podemos encontrar:

- Capacidad para analizar, evaluar, diseñar y/o seleccionar dispositivos y sistemas electrónicos para resolver problemas en las áreas de la biología y la medicina, incluyendo los sensores y transductores necesarios y más apropiados en cada aplicación.
- Capacidad para comprender el origen y las técnicas existentes para la adquisición y tratamiento de señales biomédicas.
- Capacidad para analizar un sistema mediante instrumentos de análisis y medida, para manejar herramientas de simulación y los instrumentos básicos de un laboratorio de electrónica e instrumentación.
- Desarrollar una visión general del área de la instrumentación dentro de la ingeniería biomédica

Teniendo esto en cuenta, los objetivos de aprendizaje se concretan en que los estudiantes sean capaces de:

- Identificar los principales bloques funcionales de un sistema de medida, y el papel que este desempeña en el ámbito de la biología y la medicina.
- Identificar los principales parámetros que caracterizan el comportamiento y las prestaciones de los sistemas de medida; y analizar y evaluar cuáles son sus principales requerimientos. Incluidos los criterios de diseño y normas reguladoras generales.
- Identificar las principales variables a medir, principios de transducción, sensores e instrumentos básicos empleados en este ámbito. Conocer sus principales características y cómo se emplean esos principios y sensores en la medida de variables biomédicas.
- Seleccionar y utilizar sensores resistivos, inductivos, capacitivos, piezoeléctricos, entre los habitualmente utilizados en medidas de desplazamiento, proximidad, fuerza, presión, etc.

- Seleccionar y utilizar sensores habitualmente presentes en sistemas de termometría: termistores, RTD, termopares, etc.
- Identificar los principales parámetros y caracterizar un sensor o sistema de medida, tanto en condiciones estáticas como dinámicas
- Identificar y utilizar los principales componentes, circuitos y técnicas utilizadas en la adquisición, el acondicionamiento de las señales proporcionadas por los sensores.
- Reconocer, analizar y diseñar circuitos básicos de acondicionamiento de sensores.
- Identificar el origen y características de las principales bio-señales: ECG, EMG, EEG; y de los sistemas empleados para su adquisición y acondicionamiento.
- Trabajar con las herramientas de un laboratorio de electrónica e instrumentación.
- Trabajar con sistemas empotrados para el diseño de instrumentos y aplicaciones en biomedicina.

B. Temario: Selección de contenidos

La Fig. 1 muestra un mapa conceptual con los contenidos seleccionados para alcanzar los mencionados objetivos.

Para estructurar la asignatura se han propuesto cuatro bloques temáticos:

- 1) *Introducción a la Instrumentación Biomédica.*
- 2) *Adquisición de señales biomédicas: Sensores y transductores*
- 3) *Tratamiento de señales biomédicas: amplificación y acondicionamiento.*
- 4) *Origen y características de las principales señales biomédicas.*

Con estos contenidos se trata de cubrir los nueve primeros puntos descritos en los objetivos de aprendizaje. Los dos últimos son objetivos que se cubren con las prácticas de laboratorio.

La principal dificultad estriba en concretar y presentar estos contenidos con el rigor y nivel de exigencia adecuado a la formación previa de los estudiantes, a fin de que alcancen un grado aceptable de competencias adecuado al contexto en el que vayan a desarrollar su actividad profesional.

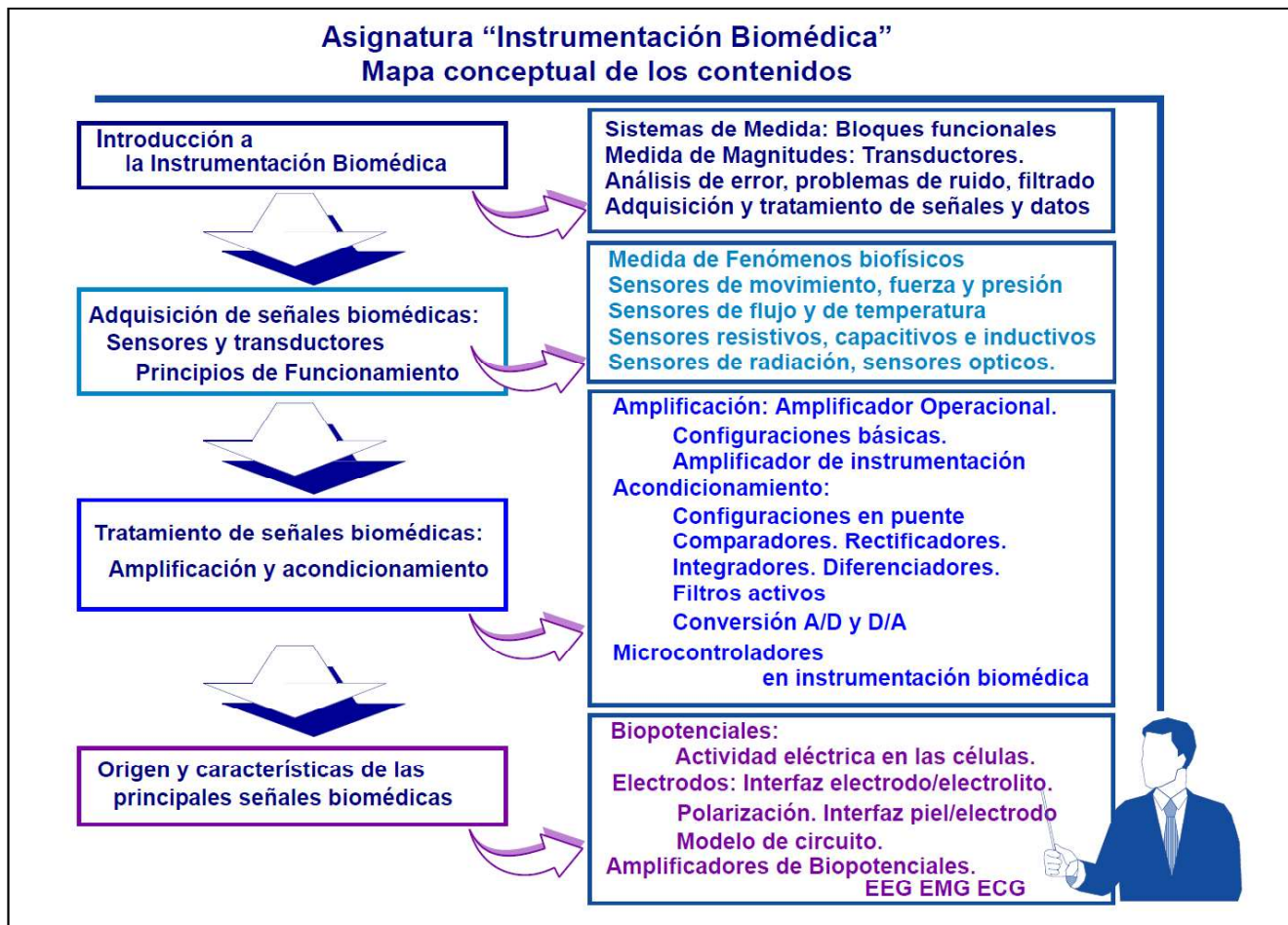


Fig. 1. Contenidos de IB: Mapa conceptual

En la sección IV.C, se discutirán los aspectos de este temario que, en la práctica docente, han resultado de especial dificultad para los estudiantes que han cursado la asignatura; y comentaremos posibles alternativas. Antes se completará la selección de contenidos de la asignatura, describiendo cómo se han organizado las prácticas de laboratorio.

C. Prácticas de Laboratorio

Como primer objetivo de las prácticas se ha propuesto que los estudiantes ejerciten una parte importante de los contenidos teóricos presentados en clase, al tiempo que profundizan en el conocimiento de las herramientas propias de un puesto de trabajo de electrónica, (generador de señales, fuente de alimentación, multímetro, osciloscopio y simuladores de circuitos (SPICE)), con las que deberían estar familiarizados tras su paso por las asignaturas EL y CYM, y que las utilicen para analizar y experimentar con los circuitos de amplificación y acondicionamiento de señales provenientes de sensores que se han presentado en clase como ejemplos de aplicaciones biomédicas.

Sin embargo, el montaje de muchos de estos circuitos en una placa de prototipos puede resultar complejo y con pocas garantías de éxito, sobre todo para estudiantes poco experimentados, lo que puede llevar a alguno de ellos a estados de frustración. En este sentido, ha resultado muy provechoso el disponer de un sistema como la plataforma comercial e-Health v.2.0 para Arduino que recoge la Fig. 2.

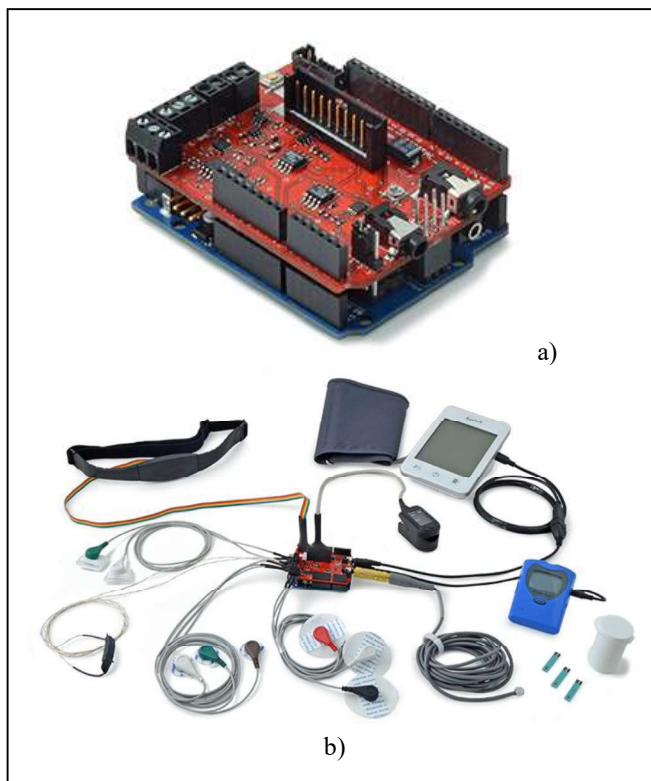


Fig. 2. Plataforma e-Health de Cooking Hacks [3], cortesía de ©Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L.[4]: Placa (“shield”) a); sensores para aplicaciones biomédicas b).

Se trata de un sistema “open source” tanto software como hardware, que integra en una placa (“shield” para Arduino) los circuitos de acondicionamiento básico, y que proporciona las librerías de programación básicas para trabajar con un amplio conjunto de sensores para aplicaciones biomédicas. La Fig. 2 a) muestra el aspecto de la placa e-Health conectada un Arduino Uno; mientras que la Fig. 2 b) se muestran todos los sensores disponibles. El Departamento de Electrónica dispone en la actualidad de 20 plataformas e-Health-Arduino y tres conjuntos de sensores.

El carácter “open source” de esta plataforma permite realizar un trabajo de ingeniería inversa, y, dado que algunos de los circuitos de la placa constituyen ejemplos sencillos de las técnicas de amplificación y acondicionamiento de señales presentados en clase, analizarlos con cierto detalle, mediante simulación, e incluso verificar, con el instrumental del laboratorio, algunas de sus principales características y prestaciones. Como valor añadido a estas prácticas, el uso de esta plataforma permite también proponer proyectos en los que los estudiantes pueden experimentar con diversos sensores y desarrollar ejemplos aplicaciones biomédicas dirigidas a un usuario final, al tiempo que se les introduce en el empleo, en este ámbito, de los sistemas empotrados. Esta aproximación permite cumplir con el segundo objetivo de aprendizaje asignado a las prácticas de laboratorio.

Distribuidas a lo largo del semestre, en seis sesiones de laboratorio de dos horas cada una, se han propuesto las prácticas de laboratorio que recoge la TABLA I.

TABLA I. PRACTICAS DE INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA: OBJETIVOS

Título	Prácticas de Instrumentación Biomédica
	<i>Objetivos</i>
P1: Instrumental de laboratorio. Medidas y Errores. (Una sesión)	- Familiarizarse con los equipos, instrumentos de medida: Fuentes de alimentación, generadores de señales, osciloscopios, multímetros, placa de montaje de prototipos. Y en su uso en medidas de componentes y circuitos. - Estimar los errores de las medidas.
P2: Simulación de Circuitos. Curva de Calibración del Sensor GRS. (Una sesión)	- Actualización en el uso de SPICE. - Análisis y simulación de un circuito GRS. - Obtención de la curva de calibración del GRS.
P3: Circuitos de Acondicionamiento. Amplificador de Instrumentación y Filtros Activos. (Una sesión)	- Uso de SPICE para analizar, simular y caracterizar un Amplificador de Instrumentación (AI) y diversos filtros activos.
P4: Microcontroladores en aplicaciones biomédicas. Placa e-Health para Arduino. (Tres sesiones)	- Introducir las aplicaciones de los microcontroladores en biomédica. - Familiarizarse con la plataforma e-Health V2.0 para Arduino. - Estudiar y conocer los distintos sensores con los que trabaja. - Ejercitarse con algunos tutoriales básicos. - Identificar como interacciona el <i>software</i> de las librerías e-Health para Arduino con el <i>hardware</i> de adquisición y acondicionamiento. - Experimentar con aplicaciones basadas en medidas biométricas

Para estas sesiones, el total de estudiantes se ha dividido en dos grupos, con lo que, en promedio, en los diferentes cursos académicos ha resultado una ratio alumno/profesor en torno a 18:1. Esta ratio resulta a veces elevada para satisfacer los requerimientos de los estudiantes en este tipo de laboratorio, si bien cumple con la ratio establecida por la universidad para asignaturas con similar índice de experimentalidad.

En la práctica P2 y P4 se emplean los siguientes sensores de la plataforma e-Health v 2.0:

- Sensor para estimar la respuesta galvánica de la piel GRS (*Galvanic Skin Response*).
- Sensor para medir el ritmo respiratorio (*Airflow*).
- Sensor de temperatura corporal
- Sensor para electromiografía (EMG).
- Sensor para electrocardiografía (ECG).
- Sensor de posición del cuerpo.
- Pulsioxímetro.

Los cinco primeros sirven como ejemplo concreto de diferentes sensores y circuitos de acondicionamiento, que pueden ser analizados en detalle, al tiempo que permiten desarrollar aplicaciones basadas en el procesado mediante Arduino de los datos registrados. Los dos últimos son sensores más cerrados, en los que no está accesible el *hardware* interno, y en los que la placa e-Health sólo se emplea como elemento de interfaz con el microprocesador. Por ello, estos últimos, se utilizan solo en la práctica P4 para desarrollar aplicaciones con las que el estudiante debe bucear en las librerías e-Health de Arduino, y conocer así los entresijos de la interacción *hardware/software*.

En concreto las características de estos sensores, que los hacen útiles para cubrir los objetivos de las prácticas son:

1) El sensor GRS: Utiliza dos contactos metálicos que se colocan sobre la piel de forma que la resistencia equivalente de esta se conecta a un óhmetro. Este es un ejemplo sencillo de un circuito de acondicionamiento basado en amplificador operacional (amplificador de transconductancia). Puede ser analizado, simulado con SPICE y probado el laboratorio.

También puede ser transformado, con la ayuda de una sola resistencia adicional externa, en un ejemplo de amplificador en configuración no inversora, con el que el estudiante puede experimentar con diferentes conceptos de amplificadores y sistemas presentados en la teoría, entre ellos con la respuesta dinámica de sistemas de primer orden. Resulta también muy útil y cómodo para proponer a los estudiantes un ejemplo práctico de obtención experimental de la curva de calibración de un sensor.

2) *El sensor Airflow*: Utiliza termopares para detectar las diferencia de temperatura entre el aire inspirado y expirado, de esta forma se detecta el ritmo respiratorio Su circuito de acondicionamiento es un ejemplo sencillo que exhibe un comportamiento global de filtro pasobanda activo, con una ganancia elevada, diseñado a partir de varias etapas

amplificadoras y filtros, tanto activos como pasivos. Constituye pues un buen ejemplo, fácil de analizar y simular, aunque resulta más difícil de ejercitar en el laboratorio. Sí resulta útil para proponer aplicaciones con Arduino, del tipo de evaluación del ritmo respiratorio, o la construcción de una alarma que avise de una disminución del ritmo o cese de la respiración de un paciente.

3) *Sensor de temperatura corporal*: Utiliza como elemento sensor un termistor NTC, que es acondicionado mediante un puente de Wheatstone, y cuya tensión de salida es amplificada mediante un amplificador de instrumentación integrado (AI). Resulta pues un ejemplo muy adecuado de aplicación de los AI, puesto que reproduce el esquema típico recogido en las notas de aplicación que ofrecen los fabricantes. El sistema completo, puede ser analizado, simulado y medido con el instrumental del laboratorio. Además, permite proponer aplicaciones con Arduino, donde, además determinar el valor de la temperatura, es posible definir otras que impliquen interacción con otros sistemas de control o regulación.

4) *Sensor EMG*. Es un ejemplo simple de sensado y circuito de acondicionamiento de biopotenciales, capaz de detectar señales que son consecuencia de la actividad muscular. El circuito de acondicionamiento incluye varias etapas en las que intervienen diferentes circuitos estudiados en clase, entre los que se encuentran, un AI integrado, un rectificador de precisión y diversos filtros. El sistema completo, puede ser analizado, simulado y medido con el instrumental del laboratorio. Y permite proponer aplicaciones con Arduino, en las que la señal miográfica puede ser capturada para ser analizada y/o empleada para controlar diferentes dispositivos.

5) *Sensor ECG*. Es otro ejemplo clásico de sensor de biopotenciales, que permite registrar la actividad del músculo cardíaco. El circuito de acondicionamiento permite experimentar con diferentes circuitos estudiados, entre los que se encuentran, un AI y diversas etapas de filtrado. El sistema completo, puede ser analizado, simulado y medido con el instrumental del laboratorio. Y permite proponer aplicaciones con Arduino, en las que la señal cardiaca puede ser capturada para ser analizada y/o empleada para controlar diferentes dispositivos.

6) *Sensor de posición*. Este sensor está basado en un acelerómetro comercial, que se adosa a la parte móvil del cuerpo que se desea monitorizar, y cuya salida, leída por el microcontrolador de Arduino gracias a la librería e-Health, son interpretada en terminos de posición. En las prácticas se ha usado para proponer aplicaciones relacionadas con la detección o monitorización de movimientos corporales, como por ejemplo la detección de caídas, o monitorización de tablas de ejercicios de rehabilitación, entre otros.

7) *Pulsioxímetro*. Se trata de un dispositivo comercial que proporciona en su pantalla los valores del ritmo cardiaco, en pulsaciones por minuto, y el porcentaje de saturación de

oxígeno en sangre. Con el interfaz que proporciona la plataforma, estos valores son directamente leídos por Arduino, para ser utilizados en aplicaciones de monitorización o control.

D. Metodo de evaluación

Para medir la consecución de los resultados de aprendizaje, así como de las competencias generales y específicas se han empleado diferentes recursos:

1) *Pruebas escritas de control y examen final.* Los controles se realizan a lo largo del cuatrimestre y el examen final en la fecha establecida para convocatoria ordinaria. Estas pruebas evalúan el aprendizaje teórico, y práctico en lo que respecta a la resolución de problemas numéricos de análisis y/o síntesis de circuitos.

2) *Prácticas de Laboratorio.* Se evalúa la participación activa en las sesiones de prácticas de laboratorio, y los documentos e informes que reflejan el trabajo allí desarrollado. Estas actividades evalúan el aprendizaje práctico en lo que respecta al manejo de instrumentación y evaluación de sensores en aplicaciones biomédicas.

3) *Evaluación de otras actividades.* Búsqueda de información, creación de documentos, exposición oral y defensa del trabajo realizado. Estas actividades evalúan además de competencias específica de materia, competencia generales de la titulación.

La calificación final de la asignatura consta de dos componentes con la siguiente ponderación: a) calificación del examen final 60%; b) actividades de evaluación continua: controles, prácticas de laboratorio y trabajos de búsqueda de información, elaboración de informes y exposición 40%.

El peso en la calificación de las actividades de evaluación continua ha dependido de las propuestas de cada curso académico. El peso de las prácticas ha variado entre un 50% en el curso 2013/14 y 2015/16, el 75% en el curso 2014/15 y un 37,5% para el curso 2016/17.

Las actividades de búsqueda de información y exposición oral tuvieron un peso del 50% durante el curso 2013/14 y han mantenido un 25% para el resto. Finalmente, los controles periódicos se incluyeron a partir del curso 2015/16, su propósito es doble; por una parte, el de fomentar el estudio continuado de la signatura; y por otra, el de proporcionar ejemplos de cuestiones y problemas de examen. Desde entonces, esta actividad ha supuesto el 25% de la calificación de las actividades de evaluación continua.

IV. RESULTADOS ACADÉMICOS Y OPINIÓN DE LOS ESTUDIANTES

A. Resultados académicos

La TABLA II. recoge la evolución del número de estudiantes matriculados, el porcentaje de ellos en primera matrícula (entre paréntesis), y las tasas de rendimiento y tasas de éxito de la asignatura en los cuatro cursos que lleva de andadura IB.

TABLA II. INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA: ÍNDICES ACADÉMICOS

Curso Académico	Índices		
	Nº Total de estudiantes -- % 1ª matrícula	Tasa de Rendimiento	Tasa de Éxito
2016/17	54 --- (77,8%)	42,6%	63,9%
2015/16	36 --- (83,4)	55,6%	76,9%
2014/15	39 --- (84,6%)	56,4%	73,3%
2013/14	22 --- (100%)	72,7%	80,0%

Las cifras muestran un crecimiento significativo en estos años del número de alumnos matriculados, consecuencia, por una parte, del crecimiento en el número de estudiantes, natural en una titulación que empieza a consolidarse, y por otra, del incremento de estudiantes repetidores.

Este incremento en el número de estudiantes distorsiona siempre el planteamiento general de las asignaturas, y en IB ha afectado principalmente a las prácticas de laboratorio y a alguna de las actividades de trabajo en grupo y exposición en clase.

Las cifras muestran también unas tasas de rendimiento y de éxito aceptables, en consonancia con las tasas globales de las ingenierías en la universidad en los cursos 2014/15 y 2015/16 [10]; si bien algo inferiores a las del propio título en conjunto [1], que son respectivamente: curso 14/15: 65,41% y 77,23%; curso 15/16: 66,32% y 79,36%.

Dado que estas tasas son una medida de la dificultad que encuentran los alumnos para superar la asignatura, podemos concluir que, si bien en la asignatura IB podrían estar en la línea otras asignaturas de ingeniería, el hecho es que resulta ser una asignatura en la que los estudiantes encuentran más dificultad que en otras dentro de GIS. Por otra parte, la bajada notable en las cifras del curso 2016/17 debe encender las alarmas, y en conjunto debe llevar a una reflexión más profunda sobre sus causas.

B. Encuestas de valoración de los estudiantes

Siempre resulta interesante analizar, valorar e interpretar, con la debida atención y cautela, la opinión de los estudiantes. En esta sección se presentan los resultados de las encuestas de opinión realizadas durante tres de los cuatro cursos de vida de esta asignatura. (La encuesta no se pudo realizar durante el curso 2014/15).

En las TABLA III. a la TABLA XI. se resume la opinión de los estudiantes sobre diferentes aspectos de la asignatura IB por las que fueron preguntados, siguiendo el modelo de encuestas SEEQ. Los datos corresponden a cuestionarios presentados al final del periodo lectivo y tras la evaluación de la asignatura, durante los cursos 2013/14 2015/16 y 2016/17, en los que intervinieron respectivamente 6, 14, y 13 estudiantes, lo que supone un 27,3%, 38,9% y 24,1% respectivamente, de los estudiantes matriculados. En las encuestas se ha utilizado una escala Likert, de 1 a 5, con el significado habitualmente asignado a estos valores, salvo en aquellos casos que se indican explícitamente en las tablas. En las TABLA III. a la VII se reúnen los enunciados que aparecen en todas las encuestas, mientras que en las TABLAS de la VIII

a la XI se recogen enunciados que se incorporaron a la encuesta a partir del curso 2015/16.

En las TABLAS III a la VII, llama la atención cómo ha evolucionado la opinión de los estudiantes, dado que se pasa de una valoración bastante positiva en todos los ítems para el curso 2013/14, con valores, prácticamente todos por encima de 3,5 puntos, a valoraciones neutras o en algunos ítems especialmente llamativos por debajo 2,5 puntos, TABLA III. cuestiones 5 y 6 y TABLA IV. cuestión 11. Ésta última, puede entenderse por la bajada en el peso de las prácticas en la calificación final de la asignatura.

Por otra parte, la bajada general en las valoraciones resulta coherente con los datos que recoge la TABLA VI. , respecto a la carga de trabajo. Y explica en alguna medida los datos de valoración global de la asignatura que recoge la TABLA VII.

En las TABLAS VIII a la XI se han incorporado nuevas cuestiones, para conocer la opinión de los estudiantes en aspectos más concretos.

TABLA III. ENCUESTA SEEQ: VALORACIÓN DE LA ASIGNATURA EN SU CONJUNTO

Cuestiones	Aprendizaje y organización		
	13/14	15/16	16/17
1. El contenido del curso me ha parecido intelectualmente estimulante e interesante.	3,0	3,2	3,0
2. He aprendido cosas que considero valiosas.	4,0	3,7	3,4
3. Mi interés por la instrumentación biomédica en general, y la electrónica en particular ha aumentado como resultado de este curso.	4,0	3,4	3,0
4. La materia se ha presentado de forma ordenada y coherente.	--	3,5	2,8
5. El material de la asignatura estaba bien preparado y se ha explicado de forma cuidada.	3,7	3,2	2,5
6. Los objetivos anunciados coincidieron con lo que realmente se enseñó, de forma que siempre he sabido hacia dónde iba la asignatura.	3,8	3,4	2,3

TABLA IV. ENCUESTA SEEQ: CONTENIDO DEL CURSO

Cuestiones	Contenido		
	13/14	15/16	16/17
7. Los contenidos presentados en clase se adecuan al programa de la asignatura inicialmente presentado.	4,5	3,9	3,3
8. El profesor ha introducido adecuadamente el origen y fundamento de las ideas y conceptos presentados en clase.	4,2	3,3	2,7
9. El profesor exponía los avances actuales de la materia.	4,3	3,4	3,0
10. Con las actividades propuestas he aprendido cosas útiles que me han ayudado a seguir mejor la asignatura.	3,5	3,6	2,9
11. El trabajo desarrollado en las prácticas ha sido importante para aprobar la asignatura.	4,0	3,9	2,2

TABLA V. ENCUESTA SEEQ: EVALUACIÓN Y EXÁMENES

Cuestiones	Actitud y Grado de Satisfacción		
	13/14	16/17	16/17
12. Los métodos de evaluación de esta asignatura han sido equitativos y adecuados.	3,5	3,9	3,2
13. Los contenidos de los exámenes han evaluado los contenidos del curso de acuerdo con el énfasis que puso el profesor en cada tema.	3,8	3,4	3,1

TABLA VI. ENCUESTA SEEQ: CARGA DE TRABAJO

Cuestiones	Carga de Trabajo		
	13/14	15/16	16/17
14. Comparada con otras, esta asignatura ha sido: 1 muy difícil – 5 muy fácil.	2,8	2,2	1,8
15. Comparada con otras, la carga de trabajo de esta asignatura ha sido: 1 muy grande – 5 muy pequeña.	3,2	1,7	2,0
16. El ritmo de la asignatura ha sido: 1 muy rápido – 5 muy lento.	3,3	2,6	2,7

TABLA VII. ENCUESTA SEEQ: VALORACIÓN GLOBAL

Cuestiones (1-muy malo; 5 muy bueno)			
	13/14	15/16	16/17
17. En comparación con otras asignaturas que he cursado, esta asignatura me ha parecido ...	3,8	3,5	3,0
18. En comparación con otros profesores, este profesor me ha parecido ...	3,5	3,4	2,8
19. Desde un punto de vista general, esta asignatura me ha parecido ...		3,6	2,8
20. Desde un punto de vista general, este profesor me ha parecido ...	4,0	3,4	2,8

Así, la TABLA VIII. , recoge, entre otras, la opinión mayoritaria de que es necesario dedicar más tiempo a resolver problemas en clase (cuestión 22).

En la TABLA IX. se pregunta por las actividades de evaluación continua, fundamentalmente las prácticas de laboratorio, y los trabajos que son presentados a la clase en sesiones de póster. Destaca también, por una parte, la valoración muy positiva que hacen del empleo de la plataforma e-Health en las prácticas (cuestión 32). Sin embargo, son críticos, con la programación de las prácticas, la carga de trabajo que les supone, y, especialmente en curso 2016/17, con el seguimiento y apoyo del profesor en el laboratorio, consecuencia clara del incremento notable del número de estudiantes durante ese curso (cuestiones 29, 34 y 35).

TABLA VIII. ENCUESTA SEEQ: CONTENIDO DEL CURSO

Cuestiones	Contenido		
	13/14	15/16	16/17
21. Se ha propuesto un número suficiente de ejemplos prácticos y problemas, para que el alumno se ejercite y adquiera la formación necesaria.	--	2,9	2,7
22. En las clases se ha dedicado tiempo suficiente para resolver los problemas propuestos.	--	2,5	2,2
23. La bibliografía seleccionada es suficiente para seguir la asignatura.	--	3,5	2,8

TABLA IX. ENCUESTA SEEQ: ACTIVIDADES

Cuestiones	Tareas, Exposiciones y Prácticas de Laboratorio		
	13/14	15/16	16/17
24. Las actividades propuestas y el trabajo desarrollado en ellas me ha parecido intelectualmente estimulante.	--	3,6	3,1
25. Lo que he aprendido en las prácticas me será útil en otras asignaturas de la carrera.	--	3,8	3,4
26. Mi interés por la instrumentación electrónica ha aumentado como consecuencia de las prácticas.	--	3,7	3,2
27. Las practicas cubren los principales contenidos de la asignatura.	--	3,2	3,9
28. Los guiones de prácticas son completos, recogen los objetivos y especifican claramente la tarea que hay que desarrollar.	--	3,1	3,1
29. Las sesiones de prácticas están bien programadas. Su número y duración son correctos en comparación con el global de la asignatura.	--	2,3	2,6
30. Hay buena coordinación entre la teoría y las prácticas.	--	3,1	3,1
31. El laboratorio está bien equipado y dispone de los recursos y materiales necesarios.	--	3,4	3,8
32. El empleo de una plataforma de sensores de salud como e_Health para arduino resulta estimulante y adecuada para las prácticas de instrumentación biomédica.	--	4,4	4,2
33. Los contenidos y objetivos de las prácticas parecen asequibles.	--	2,9	2,9
34. La carga de trabajo es adecuada.	--	2,4	2,5
35. El seguimiento y apoyo del profesor en el laboratorio es suficiente, para cumplir con los objetivos de cada práctica.	--	2,9	2,5

TABLA X. ENCUESTA SEEQ: ACTITUD Y GRADO DE SATISFACCIÓN

Cuestiones	Actitud y Grado de Satisfacción		
	13/14	15/16	16/17
36. He estado muy motivado con la asignatura. He seguido habitualmente las clases y las he llevado al día.	--	3,4	2,7
37. He preparado con antelación el trabajo cada sesión de laboratorio	--	3,4	3,8
38. Considero que la materia que se imparte es de interés para mi formación.	--	4,1	4,2
39. En general estoy muy satisfecho con las prácticas de esta asignatura.	--	3,0	2,7
40. Comparativamente, he dedicado más esfuerzo a esta asignatura que a otras.	--	4,0	3,8
41. El trabajo de prácticas ha resultado más sencillo de lo que esperaba.	--	1,7	2,1

La TABLA X. recoge opiniones sobre la actitud y el grado de satisfacción de los estudiantes con la asignatura en general. Sobresale la opinión de que la materia que se imparte es de interés para su formación (cuestión 38), y refuerzan la opinión de que la carga de trabajo les parece alta y la de que el trabajo de las prácticas ha sido más difícil de lo que esperaban (cuestiones 40 y 41).

TABLA XI. ENCUESTA SEEQ: EVALUACIÓN Y EXÁMENES

Cuestiones	Evaluación y Exámenes		
	13/14	15/16	16/17
42. Los criterios y el procedimiento de revisión y evaluación de cada práctica ha sido adecuado.	--	3,9	2,6
43. Dada la carga de trabajo, la contribución de la calificación de las prácticas a la calificación global de la asignatura me parece adecuada.	--	3,9	2,5
44. Estoy satisfecho con el trabajo realizado y la calificación obtenida en las prácticas.	--	3,6	3,1
45. He aprobado la asignatura.	--	3,8	2,9

Finalmente, la TABLA V. y la TABLA XI. recogen las opiniones sobre el sistema de evaluación. De nuevo, la opinión más crítica es con las prácticas y su evaluación durante el curso 2016/17 (cuestiones 42 y 43). Cabe notar también que las cifras de la cuestión 45 apuntan a que muchos de los estudiantes que han respondido a la encuesta en este curso manifiestan no haber aprobado la asignatura.

Sorprende, desde el punto de vista del profesor, la valoración negativa en cuestiones que hacen referencia al material empleado, su preparación y exposición (TABLA III. cuestión 5). El trabajo de mejora de materiales utilizados en clase es constatable, tanto en el material auxiliar, como en cuanto a la extensión y mejora de las relaciones de problemas. Quizá sea más entendible la opinión de que el tiempo dedicado a resolver problemas en clase no es suficiente, sin embargo, el alumno debería entender que su papel al respecto tendría que ser más activo.

Destaca también la correlación positiva entre la evolución negativa de la valoración y la de los índices de resultados académicos a lo largo de estos cursos.

C. Discusión

El dato más concluyente sobre la docencia en esta asignatura en sus cuatro años de andadura es el descenso en los índices de resultados académicos que recoge la TABLA II. Lo que apunta hacia un incremento objetivo en la dificultad que encuentran los estudiantes en superarla.

A falta de un análisis más profundo de los datos de resultados, que tenga en cuenta la variabilidad de factores de cada curso, entre ellos, el número y el tipo de alumnos repetidores, y/o el impacto en esas cifras de los cambios introducidos en la ponderación de las distintas componentes de la evaluación global en los diferentes cursos académicos, en este apartado se recogen las impresiones del profesor, respecto a la docencia en general, y a las causas del descenso de los índices en particular.

La dificultad en superar la asignatura, sobre todo en el último curso analizado, puede estar justificada, en una gran parte, por la ya mencionada modificación de la ecuación de evaluación. En todas las pruebas de evaluación escrita, llámense controles o examen final, la resolución de problemas numéricos ha supuesto al menos un 60% de la calificación total de la prueba. Sin embargo, en los sucesivos cursos académicos, aunque la ponderación del examen final en la calificación global de la asignatura siempre ha sido del 60%, en el 40% restante se ha ido incrementando el peso de la calificación de

los controles, en detrimento del de las actividades de exposición oral y de las prácticas de laboratorio. La razón fundamental de esta evolución es la impresión, que muchas veces queda en el profesor al computar la calificación final, de que a algunos estudiantes “los números dan para el aprobado”, pero que su habilidad para resolver problemas numéricos de análisis y/o diseño no ha quedado claramente demostrada.

La evaluación de esas otras actividades conlleva siempre un mayor grado de subjetividad, y hay una tendencia a “ser generoso”, con lo que las calificaciones en estas componentes suelen ser altas. Por otra parte, el incremento en el número de alumnos ha supuesto una masificación de los laboratorios, con la consiguiente degradación en la atención que el profesor puede dispensar a los estudiantes, y en el rigor en la evaluación de su trabajo. Una de las razones que también invitan a reducir su peso en la calificación final de la asignatura.

Siguiendo los cursos y manuales al uso [11][12][13][14], los problemas numéricos planteados tratan frecuentemente con sistemas dinámicos de primer o segundo orden: circuitos con amplificadores más o menos ideales, y circuitos de acondicionamiento de sensores resistivos, o capacitivos sencillos: divisores de tensión o circuitos en puente. Sobre ellos se pide abordar tareas de análisis y/o de síntesis. Entre las primeras, típicamente la evaluación de prestaciones, en condiciones tanto estáticas: ganancia, errores en la medida, etc., como dinámicas: errores dinámicos, tiempo de respuesta, ancho de banda, etc. Y entre las segundas, la selección de los valores de los componentes de circuitos típicos de amplificación y acondicionamiento, a fin de cumplir con los requerimientos o especificaciones dadas, en términos del mismo tipo de prestaciones, que se les pide obtener en los problemas de análisis: velocidad de respuesta, o máximo error tolerable, (errores de ganancia, linealidad o errores dinámicos).

La práctica docente de estos años ha revelado la especial dificultad que enfrentarse a problemas de este tipo les supone a los estudiantes. En nuestra opinión, la razón de esta dificultad no está tanto en una deficiencia en la formación básica recibida, sino más bien en la falta de tiempo y ejercitación, que permita madurar lo aprendido, y ponerlos en relación con una visión más de ingeniería acorde con las competencias en cuanto a análisis y síntesis de sistemas que se les presentan y exigen en IB.

En cuanto al trabajo práctico, en general, aunque los conocen, encuentran dificultades en el uso de los simuladores de circuitos para resolver problemas, y en el manejo del instrumental de laboratorio; —de nuevo aquí, la falta de ejercitación y maduración de lo aprendido, parece un factor determinante —.

Por otra parte, la incorporación en las prácticas de la asignatura “Ingeniería del Software” (ISW) —3^{er} curso 1^{er} semestre— en los dos últimos cursos, del uso de dispositivos como Arduino, ha facilitado en gran medida el trabajo con la plataforma e-Health, propuesto en IB, y ha aliviado la tarea, y la necesidad, de dedicar tiempo a introducir los fundamentos de programación con Arduino, que se hizo necesaria durante los cursos iniciales. Sin embargo, en general, aunque mantienen una actitud muy positiva ante las prácticas, en la mayoría de los estudiantes se echa en falta tanto conocimientos básicos

sólidamente asentados, como iniciativa para ir un poco más allá de las tareas y propuestas de aplicación que sugieren los guiones de prácticas. Además, el adquirir y/o refrescar las habilidades necesarias, le supone un sobreesfuerzo, que repercute, sin duda, en la percepción de una elevada carga de trabajo.

Por su parte, es de destacar la buena disposición de los estudiantes a actividades de búsqueda de información, elaboración de informes y posterior exposición de trabajos relativos a novedades en el campo de la instrumentos y dispositivos médicos, ya sea en forma de presentación oral o poster. Si bien, muchas veces, en estos trabajos se echa en falta cierto rigor técnico, y exhiben un sabor más bien comercial, quizá propio de las fuentes de referencia utilizadas: principalmente internet.

Ante este panorama surgen numerosos interrogantes respecto al planteamiento actual de la asignatura, o sobre papel de la materia y su nivel de exigencia en la titulación. Sin ánimo de ser exhaustivo, algunas de esas cuestiones podrían ser:

- ¿Cómo de importante es en la formación de estos estudiantes ejercitarse en la resolución del tipo de ejercicios y problemas que se les plantean actualmente en IB? ¿Se les ha dado a estos un peso excesivo en la calificación final?
- ¿Se debería dar más peso al desarrollo de proyectos basados en e-Health, o a las actividades de búsqueda de información, elaboración de informes y presentación oral, a pesar de las dificultades mencionadas?
- ¿Qué otras actividades que permitan desarrollar los contenidos se deberían proponer y potenciar?
- ¿Está bien planteada la asignatura IB en un contexto profesional más realista?
- ¿Se puede interpretar los descriptores de la memoria del título en otro sentido, para cumplir las capacidades asignadas? ¿Deberían éstas ser más concretas?
- ¿Qué debe esperarse y que nivel ha de exigirse en la formación en electrónica en un título multidisciplinar como este? ¿Se dedican a la materia créditos suficientes para abordar ese nivel de exigencia?
- ¿Se están dando a los estudiantes los medios y las bases adecuadas, para ese nivel de exigencia?

Por otra parte, del seguimiento de egresados que realiza el observatorio de empleo de la universidad [15], y en particular de los egresados de la E.T.S.I Informática [16], donde se imparte el Grado en Ingeniería de la Salud; o bien del contacto a través de redes sociales profesionales, o del contacto personal de algunos estudiantes que han pasado por la asignatura, se puede constatar que la formación recibida en la titulación les permite, sin especial dificultad, abordar nuevos retos, tanto formativos, como profesionales. Muchos de ellos son capaces de continuar su formación en cursos de *master*, tanto en esta universidad, como en otras universidades, tanto españolas como extranjeras, y en especialidades afines, incluidas la electrónica, la robótica, la mecatrónica, etc., e incluso en otras

especialidades que les permiten ampliar su, ya de por sí, multidisciplinar formación. Otros estudiantes consiguen becas para ampliar su formación en países de alto nivel tecnológico como son Corea o Japón, o comienzan a dar sus primeros pasos en el mundo laboral en empresas del sector de la tecnología y la salud. De aquí se desprende que, en definitiva, la influencia de una asignatura en el desarrollo de una carrera profesional no es, a la postre, tan determinante, y que los egresados de esta titulación van encontrando su camino de promoción.

V. CONCLUSIONES

La enseñanza de electrónica en titulaciones de fuerte transversalidad y contenido interdisciplinar es un reto que obliga, sobre todo en las fases iniciales de su puesta en marcha, a un continuo ejercicio de ajuste y selección tanto de objetivos como de contenidos y método de trabajo. Tras cuatro cursos de andadura de la asignatura Instrumentación Biomédica, en el Grado en Ingeniería de la Salud, la degradación progresiva de la tasa de éxito y especialmente la de rendimiento lleva a realizar una reflexión sobre los contenidos impartidos, métodos y actividades de evaluación y su peso en la calificación final. Esta reflexión debe incluir la percepción que se tiene de la docencia tanto desde el punto de vista del profesor, como de los estudiantes. El seguimiento de los egresados es también un buen elemento para valorar y ubicar la asignatura en su contexto.

En este sentido en el caso de IB, un cambio en la orientación y en la ponderación que reciben las diferentes actividades evaluables en la ecuación que determina la calificación final de la asignatura, yendo hacia la potenciación de las actividades prácticas, especialmente aquellas del tipo que permite realizar plataformas como e-Health, completando las aplicaciones, con actividades de análisis y evaluación de los sensores que proporciona, podría ser una buena apuesta. Al mismo tiempo, también habría que abordar los aspectos que dificultarían esta propuesta, como son la progresiva masificación de la asignatura, y el lograr establecer un sistema de evaluación objetivo y sostenible, que permita evaluar con el rigor necesario los logros alcanzados en este tipo de actividades, de forma que en conjunto no suponga una carga excesiva en la labor de seguimiento y evaluación del profesor.

REFERENCIAS

- [1] <https://www.uma.es/grado-en-ingenieria-de-la-salud> Web del título en la UMA. (Último acceso abril 2018).
- [2] J. G. Webster, Medical Instrumentation: Applications and Design, 4th Ed., Wiley, 2010.
- [3] <https://www.cooking-hacks.com/ehealth-sensors-complete-kit-biometric-medical-arduino-raspberry-pi> Web del producto. (Último acceso abril 2018).
- [4] <http://www.libelium.com/> Web del proveedor. (Último acceso abril 2018).
- [5] https://www.uma.es/media/tinyimages/file/MEMORIA_DEFINITIVA_INGENIERIA_SALUD.pdf Impreso de solicitud de verificación del título. (Último acceso abril 2018).
- [6] H.W. Marsh, "SEQ: A reliable, valid, and useful instrument for collecting students' evaluations of university teaching", British Journal of Educational Psychology, vol 52, pp 77-95, Feb. 1982.
- [7] R.S. Khandpur, Biomedical Instrumentation: Technology and Applications, McGraw-Hill, 2005.
- [8] https://oas.sci.uma.es:8443/ht/2017/ProgramasAsignaturas_Titulacion_5157_AsigUMA_53112.pdf Guía docente de la asignatura Electrónica, curso 2017/18. (Último acceso abril 2018).
- [9] https://www.uma.es/centers/subjects_center/etsi-informatica/5157/ Lista de asignatura del grado Ingeniería de la Salud. (Último acceso abril 2018).
- [10] <https://www.uma.es/transparencia/info/99207/tasas-de-rendimiento-y-exito-2014-2015/> Tasas de rendimiento y éxito UMA, curso 2014-2015. (Último acceso abril 2018).
- [11] M. Granda Miguel y E. Mediavilla Bolado, Instrumentación Electrónica: Transductores y Acondicionadores de Señal, Editorial Universidad Cantabria, 2015.
- [12] R. Pallas Areny, Sensores y Acondicionadores de Señal, 4^{ed}. Marcombo, 2003.
- [13] R. Pallas Areny, R. Bragós Bardía y O. Casas Piedrafita, Sensores y Acondicionadores de Señal: Problemas Resueltos, Marcombo, 2008.
- [14] M.A. Pérez García, Instrumentación Electrónica: 230 Problemas resueltos, Garceta, 2012.
- [15] <http://observa-e.uma.es/estudios-propios-observae/argos/argos-curso-2015-2016/> Informe egrsados UMA, curso 2015/16. (Último acceso abril 2018)
- [16] http://observa-e.uma.es/wp-content/uploads/dlm_uploads/2018/02/04.-E.T.S.-I.-Inform%C3%A1tica-2015-16.pdf Informe egrsados UMA, de E.T.S.I. Informática, curso 15/16. (Último acceso abril 2018)