

TÍTULO DE INGENIERÍA BIOMÉDICA

José María Ferrero , Pedro Vera, Laura Roa, Francisco del Pozo, Pere Caminal, Pablo Laguna, Enrique Gomez

Universidad Politécnica de Valencia, Universidad Politécnica de Madrid, Universidad de Sevilla, Universidad Politécnica de Zaragoza, Universidad Politécnica de Cataluña

RESUMEN

En Julio de 2002 el Consejo de Universidades ha aprobado las directrices generales para el título de Ingeniería Biomédica de segundo ciclo a impartir en las universidades españolas. Los autores elaboraron en su momento una propuesta de Directrices que el Consejo de Universidades utilizó como documento de trabajo. La coordinación de los diferentes documentos que han sido presentados al Consejo se ha realizado en la Universidad Politécnica de Valencia, habiendo asistido como asesores a varias reuniones de este organismo los dos autores de dicha universidad. En el presente trabajo se comentan los principales aspectos de plan de estudios y su posible implantación en las universidades. En la presente comunicación se transcriben partes del propio documento aprobado por el Consejo de Universidades con objeto de ofrecer una información rigurosa.

1. INTRODUCCIÓN. SALIDAS PROFESIONALES

En España hay una tradición de 25 años en la impartición de asignaturas obligatorias y optativas relacionadas con la IB en diversos planes de estudios de ingeniería, así como en programas de posgrado, incluidos los de doctorado. No obstante, esta oferta es insuficiente para cubrir la demanda de trabajo y, sobre todo, esta situación se ha visto agravada hasta ahora por la inexistencia de un título oficial.

La potencialidad de los conocimientos que se vertebran alrededor de la titulación de IB abre un amplio abanico de posibilidades en diferentes ámbitos. Actividades relacionadas con los productos y servicios socio-sanitarios en torno a su concepción y diseño, fabricación, evaluación y certificación, comercialización, selección, instalación y mantenimiento, adiestramiento en el uso de equipos e instru-

mentos médicos e investigación son, entre otras, las posibles competencias profesionales relacionadas con esta titulación.

Los tres ámbitos profesionales en los que se sitúa el desarrollo de estas actividades son:

- el industrial,
- el sanitario y
- el de la I+D+I.

En el ámbito industrial, son 10 los subsectores principales que actúan como demandantes de este tipo de especialización:

- Electromedicina.
- Diagnóstico in vitro.
- Nefrología.
- Cardiovascular, Neurocirugía y Tratamiento del Dolor.
- Implantes para Cirugía Ortopédica y Traumatología.
- Ortopedia.
- Productos Sanitarios de un solo Uso.
- Servicios Sanitarios.
- Tecnología Dental.
- Óptica y Oftalmología.

El volumen del mercado nacional del sector de productos sanitarios, de acuerdo con el informe EUCOMED sobre *“European Medical Technologies and Devices Industry Profile 2000”*, es de 678.608 M.pta. No obstante, en la actualidad este mercado interno está dominado en su inmensa mayoría por filiales de compañías de ámbito multinacional o por empresas de capital nacional que cuentan con contratos de distribución de productos sanitarios de compañías fabricantes de capital extranjero. El sector nacional está constituido, en su mayoría, por PYME fabricantes de productos sanitarios de tecnología media-baja. Existe, en consecuencia, una fuerte dependencia de otros países. No obstante, el volumen de exportaciones del sector se es-

tima en más 82.000 M.pta, lo que pone de manifiesto la existencia de un interesante tejido industrial nacional y un punto de partida para la evolución del sector, siempre que pueda estar soportado por personal adecuadamente preparado.

A esta situación se ha sumado durante los últimos años un marco legislativo en la Unión Europea que regula de forma específica los Productos Sanitarios a través de tres directivas comunitarias:

- 90/385/CEE sobre Productos Sanitarios Implantables Activos.
- 93/42/CEE sobre Productos Sanitarios.
- 98/79 /CEE sobre Productos Sanitarios para el Diagnóstico in vitro.

Así pues, las garantías de calidad, seguridad y eficacia exigibles al producto sanitario, unido a la previsible convergencia en los próximos años entre la demanda y la producción nacional, señalan como requisito imprescindible la presencia de profesionales que vean contemplada en su formación los aspectos estrictamente relacionados con las tecnologías médicas. La figura del responsable de la producción, los profesionales del departamento de I+D de las empresas fabricantes y el personal comercial encargado de evaluar las necesidades de los usuarios y el adiestramiento del personal sanitario son las salidas profesionales inmediatas de este tipo de titulados.

Una segunda área en la que la presencia del titulado en IB desempeña un papel muy importante en los países de nuestro entorno es el ámbito sanitario. El centro hospitalario se ha configurado como el lugar donde confluyen las técnicas y tecnologías más avanzadas y sofisticadas de nuestro Sistema Sanitario. No obstante, los criterios de adquisición de equipamiento, la utilización más adecuada de estos equipos o la racionalización en su utilización carece de un responsable directo en la mayoría de los centros que combine conocimientos técnicos con una adecuada formación sobre la aplicación de estas tecnologías.

En la actualidad existen en España 800 hospitales (*Medistat Reports*), de los cuales únicamente alrededor de 250 cuentan con algún tipo de personal técnico que asume, en la

práctica totalidad de los casos, tareas de mantenimiento de instalaciones. Las actividades señaladas anteriormente (adquisición, actualización, utilización, racionalización), estrechamente ligadas con una mayor eficiencia de procesos y una mejora de la calidad asistencial, quedan diluidas entre diferentes responsables (gerencia, jefaturas de servicio, personal sanitario diverso, etc.) y, es más, el vehículo habitual de información y adiestramiento es el personal comercial de las diferentes empresas distribuidoras de productos. Ante esta situación, la presencia de titulados en IB, con un bagaje de conocimientos que permita discernir, desde una perspectiva ligada a las necesidades del centro sanitario, las políticas más adecuadas en todos estos aspectos, modificaría la confusa situación existente.

El tercer ámbito de actuación del titulado en IB se corresponde con las actividades de I+D+I en el seno de los centros y grupos de investigación científica y tecnológica públicos y privados. Su actuación en este ámbito debe suponer el motor y el soporte al resto de actividades señaladas anteriormente. De acuerdo con los datos presentados en el informe elaborado por EUCOMED, las inversiones en investigación y desarrollo de productos sanitarios frente al gasto global del mercado se sitúan en un 4%, estando muy alejadas de porcentajes como los de Alemania (8-10%) o los de la media europea (6,9%). Las tareas a desarrollar en este ámbito se centran en actividades de investigación, desarrollo de producto, asesoramiento, certificación y evaluación de productos e instalaciones y formación e información.

2. NÚMERO DE TITULADOS

Considerando los destinos profesionales anteriormente mencionados es posible estimar las necesidades de titulados en los próximos años de acuerdo con la siguientes hipótesis obtenidas a partir de los datos presentados en los informes elaborados por EUCOMED y *Medistat Reports*:

- El porcentaje de empleo en el sector de productos sanitarios, en nuestro país, es de 13.000 personas (4,1% del conjunto de la UE).
- Nuestro mercado de productos sanitarios representa el 5,9% del global de la UE.
- Se estiman dos tasas de empleo para esta titulación: 10% y 15% del conjunto de nuevos trabajadores de este sector industrial.
- En el sector industrial se estima una tasa de recambio de la población productiva cada 45 años.
- La convergencia entre el número de empleados existentes en la actualidad y el que corresponde al tamaño del mercado español, en términos comparativos a los de la UE, se plantea en un período de 10 años.
- En el ámbito sanitario (800 hospitales) se estima la incorporación durante 10 años de dos personas por centro (en 250 hospitales como la hipótesis más restrictiva y en 500 hospitales como la más optimista).
- En los centros de investigación se prevé una incorporación en un plazo de 5 años de 50 titulados. De acuerdo con las hipótesis anteriores las tasas de absorción anuales (titulados/año) de empleo durante los próximos años serían las siguientes:

HIPÓTESIS	PERIODOS (AÑOS)	
	0-5	6-10
Hipótesis más Restrictiva	146 titulados/año	136 titulados/año
Hipótesis menos restrictiva	239 titulados/año	229 titulados/año

Si consideramos promociones de 30 egresados por cada una de las universidades que desarrollen la titulación, las estimaciones de centros universitarios que serían necesarios para responder a las necesidades del mercado varían entre 5 y 8 universidades.

3. LAS UNIVERSIDADES FRENTE AL TÍTULO

La experiencia de las universidades españolas en el ámbito de la docencia e investigación en

IB es muy variada. No obstante, se podría ordenar en tres grandes grupos:

- Núcleos aislados, en algunos casos unipersonales, que han desarrollado actividades puntuales en este ámbito (dispositivos electrónicos, modelado de estructuras, aplicaciones informáticas en el ámbito médico, etc.). Este tipo de actividades se realizan en la práctica totalidad de las universidades del territorio nacional.
- Grupos establecidos en departamentos universitarios que han focalizado su actividad en aspectos determinados de la IB (bioelectrónica, biomecánica, biomateriales, informática médica, telemedicina, imágenes médicas, etc.). A título de ejemplo y, entre otros, se señalan los grupos de investigación pertenecientes a la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica y que aparecen reflejados en su página web, ubicados en la Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad Autónoma de Barcelona, Universidad Politécnica de Madrid, Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla, Universidad de Valencia, Universidad de Santiago de Compostela, Universidad de Zaragoza o en la Clínica Puerta de Hierro. Estos grupos de trabajos, y otros de características similares, se distinguen por la presencia de unas líneas de investigación que, con el soporte de conocimientos procedentes de la ingeniería en sus diferentes áreas de conocimiento, han centrado su actividad en el mundo médico. En estos casos, la presencia de grupos interdisciplinares con presencia de facultades de medicina y profesionales médicos de diferentes especialidades están actuando como germen de grupos de trabajo en IB, ante la ausencia de especialistas.
- Centros en red. La dilatada trayectoria de grupos de trabajo, que han desarrollado actividades desde diferentes perspectivas de la ingeniería en el ámbito médico, ha propiciado la creación de estructuras interdepartamentales cuyo objetivo es una oferta conjunta y complementaria en IB.

Aspectos relacionados con la investigación, desarrollo de productos y servicios, asesoramiento a empresas, ensayos y certificación o actividades docentes, están siendo compartidas por diferentes grupos de trabajo que se estructuran como centros en red. El *Centre de Recerca en Enginyeria Biomèdica* de la Universidad Politècnica de Catalunya ha sido el pionero en la puesta en marcha de esta iniciativa, que ha sido replicada recientemente en la Universidad Politècnica de Valencia.

Así pues, puede estimarse que en la actualidad existe un número importante de universidades con suficiente experiencia a través de los grupos de trabajo existentes, aunque todavía no en todos los casos coordinados, para abordar la impartición de los contenidos de esta nueva titulación.

4. EL PAPEL DE LAS FACULTADES DE MEDICINA Y FARMACIA

De forma inexcusable, hay que destacar el papel desarrollado hasta el momento por las facultades de medicina y farmacia y los hospitales del Sistema Sanitario como promotores, ejecutores y, en muchos casos, receptores de los productos y servicios desarrollados en colaboración con los grupos anteriormente citados.

En este sentido, la formación en las disciplinas básicas de la biología y medicina ha sido considerada como componente crítico en la Cumbre sobre Educación en IB celebrada en diciembre de 2000 en Landsdawne, Virginia (USA), patrocinada por la *Whitaker Foundation*, con un peso comparable a la física o química. La formación médica y biológica no debe ser, en consecuencia, un simple complemento, sino que debe comprender una parte sustancial de la formación básica del Ingeniero Biomédico. Ello exige una participación activa de las facultades de medicina y farmacia en la impartición de las disciplinas básicas en las áreas biológica y médica, aportando sus recursos docentes e infraestructuras de laboratorios en función de los contenidos concretos de las materias que se definan en los planes de estudio.

Actualmente, en los planes de estudios de IB consolidados, la docencia se organiza en torno a universidades politécnicas con un apoyo significativo de las facultades de medicina. En el caso de España, la proximidad de las facultades de Medicina y Farmacia puede suponer un condicionante importante para la impartición del título de IB.

Existe prácticamente unanimidad internacional en que los contenidos en disciplinas tales como la biología, fisiología, anatomía y embriología, histología, etc., no deben ser réplicas de los impartidos en las facultades de medicina, sino que han de estar orientados al perfil del nuevo título

5. PRE REQUISITOS

Dado que los estudios de IB en España se iniciarán al nivel de segundo ciclo, el documento del Consejo de Universidades define unos requisitos mínimos para acceder a los mismos, conocimientos que se adquieren usualmente en los primeros ciclos de gran parte de los títulos de ingeniería, medicina y farmacia actuales. Las materias que conforman estos pre requisitos se estructuran en tres grupos:

Materias básicas:

Fundamentos matemáticos

(4,5 créditos: 3 T + 1,5 P)

- * Álgebra lineal.
- * Teoría de funciones.
- * Cálculo diferencial e integral.
- * Ecuaciones diferenciales.
- * Funciones de variable compleja. Transformadas.
- * Cálculo numérico.

Fundamentos físicos

(4,5 créditos: 3 T + 1,5 P)

- * Mecánica.
- * Ondas.
- * Termodinámica.
- * Electricidad y magnetismo.
- * Fluidos.
- * Óptica.

Fundamentos químicos

(4,5 créditos: 3 T + 1,5 P)

- * Química inorgánica.
- * Química orgánica.
- * Bioquímica.

Informática básica

(4,5 créditos: 3 T + 1,5 P)

- * Informática básica.
- * Lenguajes de programación.
- * Algorítmica.
- * Bases de datos.

Materias que normalmente pueden haber cursado los alumnos procedentes de Facultades de Medicina o Farmacia:

Morfología, estructura y función del organismo humano: niveles molecular, celular y tisular

(6 créditos: 4,5 T + 1,5 P)

- * Anatomía.
- * Bioquímica.
- * Citología, biología e histología.
- * Genética.
- * Fisiología celular y tisular.

Nociones generales sobre morfología, estructura y función de los aparatos y sistemas corporales en estado de salud

(6 créditos: 4,5 T + 1,5 P)

- * Aparato circulatorio.
- * Aparato respiratorio.
- * Aparato digestivo.
- * Aparato locomotor.
- * Sistema excretor.
- * Sistema nervioso.
- * Sistema endocrino, metabolismo y nutrición.
- * Sistema inmune.
- * Sistema reproductor.
- * Sangre y órganos hematopoyéticos.
- * Órganos de los sentidos.

Introducción a la patología humana

(6 créditos: 4,5 T + 1,5 P)

- * Etiología.
- * Fisiopatología.
- * Anatomía patológica.
- * Microbiología y parasitología médicas.
- * Farmacología general.
- * Patología general médico-quirúrgica.
- * Fundamentos de radiología y medicina física.

Materias que normalmente pueden haber cursado los alumnos procedentes de Escuelas de Ingeniería:

Electrónica y Teoría de circuitos

(4,5 créditos: 3 T + 1,5 P)

- * Componentes electrónicos.
- * Circuitos analógicos y digitales.
- * Captadores de señal.
- * Conversión A/D y D/A.
- * Dispositivos y circuitos programables.
- * Fuentes de tensión e intensidad.
- * Impedancia operacional y compleja.
- * Redes pasivas.
- *

Fundamentos de Comunicaciones

(4,5 créditos: 3 T + 1,5 P)

- * Líneas de transmisión.
- * Fibras ópticas.
- * Fundamentos de antenas.
- * Técnicas de modulación y demodulación de señales.
- * Fundamentos de emisores y receptores.
- *

Automática básica

(4,5 créditos: 3 T + 1,5 P)

- * Sistemas.
- * Sistemas estáticos y dinámicos.
- * Modelado.
- * Sistemas continuos.
- * Sistemas digitales.
- * Análisis de sistemas dinámicos en el dominio del tiempo y de la frecuencia.

Fundamentos de mecánica

(4,5 créditos: 3 T + 1,5 P)

- * Estática, cinemática y dinámica.
- * Mecánica de fluidos.
- * Sólido elástico. Tensiones y deformaciones.
- * Fundamentos de resistencia de materiales.
- * Análisis y síntesis de mecanismos.
- * Cálculo de elementos de máquinas.

De acuerdo con esta filosofía, será posiblemente necesario organizar cursos de adaptación tanto para alumnos procedentes de Facultades, como para alumnos procedentes de Escuelas de Ingeniería.

Aun cuando el plan de estudios se plantea como una titulación de segundo ciclo que se alimentará de titulados de primer o segundo ciclo de diferentes ingenierías u otras carreras cuyo contenido responda a los requisitos establecidos, no se descarta la creación de un primer ciclo en el futuro.

6. ESPECIALIZACION

Se han propuesto las siguientes intensificaciones o especialidades, que se implementarán en torno a las materias troncales de acuerdo con las peculiaridades de cada universidad:

- ⊖ *Bioelectrónica e Instrumentación Biomédica.*
- ⊖ *Biomecánica y Tecnología de la Rehabilitación*
- ⊖ *Tecnologías de la Información y Comunicaciones en Sanidad*

7. MATERIAS TRONCALES

Se definen en la tabla siguiente los contenidos troncales de las materias que se contemplan:

MATERIAS TRONCALES	Créditos	DESCRIPTORES
Fundamentos médicos de la Ingeniería Biomédica	9	Patología médico-quirúrgica general: grandes síndromes. Patología infantil, obstétrico-ginecológica y psiquiátrica generales. Epidemiología general. Algoritmos diagnósticos y principios terapéuticos. Introducción a la radiología y rehabilitación médicas.
Bioelectricidad y Bioelectromagnetismo.	6	Origen y propagación de las señales bioeléctricas. Potenciales intracelulares y extracelulares. Efectos de los campos electromagnéticos y de las radiaciones ionizantes sobre células y tejidos.
Instrumentación y dispositivos biomédicos.	9	Sensores y transductores. Sensores activos y de parámetro variable. Sensores químicos. Acondicionadores de señales biomédicas. Equipos médicos de monitorización, radiodiagnóstico, radioterapia y medicina nuclear. Implantes. Exoprótesis y ortesis. Órganos artificiales.
Señales e imágenes médicas.	9	Obtención y procesamiento de señales e imágenes médicas. Diagnóstico por imagen: segmentación y reconstrucción 3D. Técnicas de diagnóstico y visualización. Realidad virtual. Realidad aumentada. Técnicas de endoscopia. Técnicas de microscopía.
Biomateriales y Biomecánica.	9	Clasificación y descripción de biomateriales. Características físicas, biocompatibilidad y estabilidad biológica de los biomateriales. Campos de aplicación de la biomecánica. Comportamiento biomecánico de los tejidos, estructuras y sistemas corporales. Fundamentos y técnicas de análisis biomecánico del organismo humano. Biomecánica clínica.
Modelización y simulación de sistemas fisiológicos.	6	Modelización de los sistemas de control fisiológicos. Regulación endógena y exógena. Análisis del comportamiento dinámico de los sistemas fisiológicos retroalimentados. Aplicaciones terapéuticas.
Métodos de diagnóstico médico.	6	Bioestadística y epidemiología. Heurística. Sistemas basados en el conocimiento. Inteligencia artificial: Sistemas expertos para el diagnóstico médico. Gestión del conocimiento.
Sistemas de información y redes de comunicación en Medicina.	6	Estructuras básicas (centros de atención primaria, centros de especialidades, hospitales, atención domiciliaria, centros de crónicos y otros). Bases de datos. Bases epidemiológicas de los sistemas de información sanitarios. Historia clínica. Conceptos básicos de clasificación y codificación. Medida del output sanitario. Flujos de información. Redes de comunicación. Telemedicina.
Ingeniería Clínica: Evaluación tecnológica y seguridad.	7,5	Normas técnicas aplicables a la evaluación de productos sanitarios. Evaluación epidemiológica de la tecnología sanitaria. Técnicas de valoración de la eficacia, efectividad y seguridad de procesos sanitarios y tecnologías sanitarias. Criterios de seguridad. Modelos de agencias de evaluación de tecnología sanitaria.
Modelos sanitarios: Regulación, normativas y gestión.	6	Descripción de modelos organizativos sanitarios. Legislación y normativa básicas. Regulación y organización. Teorías y técnicas de organización y gestión de empresas y tecnología: investigación de operaciones, técnicas de ayuda a la decisión, dirección, planificación y gestión de proyectos.
Proyecto y diseño de equipos y sistemas biomédicos.	6	Diseño de equipos. Normalización y seguridad. Control de la calidad. Metodología, organización y gestión de proyectos.
TOTAL CRÉDITOS	79,5	