

Modelos de titulación en ingeniería biomédica

G. E. Avendaño [¶], A. J. Rienzo

Biomedical Engineering School, Universidad de Valparaíso, Valparaíso, Chile

Resumen — En este artículo, los autores han realizado un estudio y revisión sistemática de un conjunto de investigaciones y publicaciones sobre el tema de cómo mejorar los programas de capacitación en ingeniería biomédica y contribuir a la especialización en el área de ingeniería clínica.

Palabras clave — Programas de Ingeniería Biomédica, Modelos, Diseño Curricular, Educación en Ingeniería Biomédica.

DEGREE MODELS IN BIOMEDICAL ENGINEERING

Abstract — In this paper, the authors have carried out a systematic study and review of a set of researches and publications, regarding the theme of how to improve training programs in biomedical engineering, and make a contribution to the specialization in the area of clinic engineering.

Keywords — Biomedical Engineering Programs, Models, Curricular Design, Biomedical Engineering Education.

MODELOS DE GRADO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

Resumo — En este trabajo se ha realizado um estudo e revisão sistemática de um conjunto de pesquisas e publicações sobre o tema de melhorar os programas de capacitação em engenharia biomédica e contribuir para a especialização na área de clínica ingenieria.

Palavras-chave — Programas de Engenharia Biomédica, Modelos, Projeto Curricular, Educação em Engenharia Biomédica.

[¶] Dirección para correspondencia: guillermo.avendano@uv.cl

DOI: <https://doi.org/10.24050/19099762.n22.2017.1186>

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con una investigación sistemática se puede argumentar que la carrera o especialización en ingeniería biomédica (BME, por sus siglas en inglés o IBM en español) es una profesión multidisciplinaria relativamente nueva (no más de 7 décadas en el mundo, y cerca de 5 décadas en América Latina) [1], y, por consiguiente, diversas investigaciones y publicaciones se han realizado sobre lo que es o lo que hace un ingeniero biomédico, y los diferentes problemas o factores que pueden influir en su formación [2]. La ingeniería biomédica es una disciplina en crecimiento en América Latina. La región tiene un millón de camas distribuidas en sus 14.000 hospitales. Los residentes en áreas rurales tienen poco acceso a la atención primaria, debido a que la mayoría de los hospitales se encuentran en las principales ciudades o capitales. Estos hospitales requieren un número creciente de ingenieros clínicos. La subdisciplina (Ingeniería Clínica) representa casi el 40% del personal, los proyectos y las subvenciones en el campo de la IBM [3].

Entre los temas asociados con la formación de ingenieros biomédicos, que han sido analizados, socializados y se discuten con frecuencia entre pares, encontramos:

- El concepto de relevancia, es decir, si la formación debe ser de carácter general o especializada; definiendo el alcance real de su desempeño laboral.
- Los contenidos de las materias y programas de estudio que se deben impartir a los estudiantes. Diferenciando y cuantificando horas en cursos de ciencias básicas, ciencias de la ingeniería y ciencias aplicadas o de especialización. También se analiza si la modalidad de estudio debe ser de grado o postgrado solamente.
- Los materiales de enseñanza y la infraestructura necesaria mínima (laboratorios), para una formación adecuada y la relación teórico-práctica que debe ser alcanzada;
- El concepto de relación profesional con el mundo real, es decir, cómo la formación y experiencia de los profesores, así como las materias curriculares, llevan a la formación de profesionales competentes para su inserción en el mundo de la salud.

II. MÉTODOS Y MODELOS

Fundamentados en una serie de publicaciones, tanto de los recursos bibliográficos de la IEEE (tales como "Biomedical Engineering Education and Society" y la base Xplore), publicaciones en congresos de Ingeniería Biomédica (tales como CLAIBs y IFMBEs), los autores presentan una serie de datos y enfoques acerca de cuáles son las temáticas que se debaten actualmente en los progra-

mas de educación en ingeniería Biomédica, incluyendo la ingeniería clínica. Se recopilieron antecedentes históricos, de la manera como se iniciaron los programas de estudio y carreras en lo que actualmente se reconoce como la ingeniería biomédica, tanto en Europa, como EE.UU. y en América Latina [1, 46]. También se analizaron los factores tecnológicos y sociales que mejoran la necesidad de equipo biomédico y de los profesionales que cuidan de estos. Los principales son:

a) Existen varias estadísticas sobre el número creciente de fabricantes y modelos de equipos y dispositivos médicos. El diseño y construcción del equipo es actualmente inviable sólo con la participación de otros ingenieros (electrónicos, eléctricos, industriales, mecánicos) como se hacía hace décadas, ya que conocimientos biológicos como conceptos biofísicos, fisiológicos y anatómicos son esenciales en la formación de IBM.

b) Del mismo modo, los aspectos de seguridad del paciente y del personal que le asisten, son de gran relevancia. Asimismo, los aspectos técnicos relacionados con la certificación de los dispositivos, sólo pueden ser valorados y comprendidos por los especialistas.

c) La transición demográfica y la mayor esperanza de vida (envejecimiento) de la población generan un aumento constante de las atenciones y beneficios para la salud (y su costo asociado).

d) La transición de la mortalidad (donde la incidencia de enfermedades infecciosas se reduce drásticamente y los eventos oncológicos, cardiológicos, degenerativos y accidentes aumentan); y la prevalencia de enfermedades crónicas (tales como la hipertensión, la colestiasis, la obesidad, la diabetes y las enfermedades respiratorias), donde equipos tales como monitores multiparamétricos, medidores de presión, servoventiladores, equipo de laboratorio clínico, sistemas de imagenología y otros se utilizan ampliamente.

e) Los nuevos modelos de atención en salud, y la transición de la red de atención de salud, donde cada vez se requiere una mayor cuidado para vez la atención por primera vez (con un aumento de equipos para imágenes, espirometría, laboratorio clínico básico, electrocardiografía y cirugías menores). Además, varios estudios se han llevado a cabo [7] [8], en los cuales al comparar los programas de pregrado dentro de los países de América Latina, se obtuvo información de los catálogos de los cursos ofrecidos por las universidades con programas de pregrado en IBM, a través de su página web, tratando de encontrar la mayor cantidad de datos actualizados.

Un estudio reciente realizado por especialistas de la Universidad Autónoma Metropolitana (México) [9] reveló el número de instituciones que ofrecen programas

de ingeniería biomédica en los países de América Latina como se muestra en la Tabla 1; donde los casos de México (48), Colombia (13) y Brasil (12) se destacan. Es necesario analizar si existe una demanda en México y Colombia, que justifique la existencia de tantos programas ofrecidos [10].

En varios países, los programas de IBM (Ingeniería Biomédica) están supuestamente basados en los requerimientos profesionales en donde se ocupará el graduado, por lo que algunos modelos tienen un alto contenido de ciencias básicas, debido a que la demanda principal proviene de instituciones de investigación biomédica. Por otro lado, hay carreras muy involucradas en el diseño de dispositivos médicos, ya que sus lazos con la industria de equipos médicos es una prioridad. En la mayoría de los países de América Latina, el campo profesional más exigente está relacionado con las tecnologías biomédicas en el mundo hospitalario, una especialidad conocida como ingeniería clínica [11]. Tanto en la administración de dispositivos como en la evaluación y la certificación, estas tareas son cada vez más importantes, debido a que el impacto de los errores y los fracasos de los dispositivos (iatrogenia técnica) es fundamental hoy en día. A lo largo de la historia en la formación de profesionales en esta especialidad, tenemos varios modelos que se han implementado no sólo en el sentido temporal, sino en el contexto de actuación de los profesionales formados.

Tabla 1. Países y número de instituciones que ofrecen programas de Ingeniería Biomédica

País	Número de programas
México	48
Colombia	13
Brasil	12
Argentina	7
Chile	2
Honduras	1
El Salvador	1
Perú	1
Bolivia	1
Cuba	1
Venezuela	1
Paraguay	1
Ecuador	1

Basándose en el estudio de los diferentes programas, podemos establecer que existen los siguientes modelos de formación:

A. Modelo científico basado en ciencias biológicas: Este primer modelo es introspectivo, con los maestros altamente concentrados en investigación científica, con

un profundo componente de matemática y física, haciendo uso extensivo de computadores. Sus propósitos profesionales generalmente son de difusión, en vez de académicos; los resultados de la actividad de investigación que generalmente son muchos, son proyectos con resultados destinados a publicar en revistas preferiblemente de alto nivel y elaborar documentos para congresos. Los profesores son en su mayoría profesionales con baja inserción en el mundo de la salud y restringidos a su actividad en el mundo académico. El producto resultante de este tipo de facultades son egresados que aprenden en sus lugares de trabajo temas de manera empírica que no estudiaron en la universidad, a menudo expresan sus quejas ante esta situación. Son profesionales con poca demanda desde el mundo de los negocios para la solución de problemas de salud específicos.

B. Modelo de gestión basado en ingeniería clínica: Este modelo se centra en la amplia variedad de problemas genéricos en el mundo hospitalario. Tales como inclinación a la solución de los problemas de gestión, administración y su relación con los equipos. Está fuertemente arraigado en el mundo de la ingeniería clínica. Muchos profesores tienen un vínculo real con el mundo hospitalario, han sido ingenieros en instituciones de salud o empresas de consultoría. Su ventaja está en la contribución exitosa en la gestión de las tecnologías actuales. La debilidad de este modelo es la poca profundidad en los temas de la ingenierías duras, diseño, construcción y ensayo de dispositivos. También tienen una baja inserción en el mundo de las investigaciones biomédicas de alta exigencia.

C. Modelo basado en la tecnología para el servicio técnico: En este modelo el mantenimiento de equipos es el núcleo de la formación. Es un modelo emergente en los últimos años, derivado de la ingeniería electrónica, industrial y/o la ingeniería mecánica. Tiene la pretensión de cubrir profesionalmente el amplio campo de la demanda en ingeniería biomédica. Muchos de los creadores de estas carreras parten del viejo paradigma de la conversión o posterior especialización de una disciplina cercana o pertinente al pregrado, volviendo al concepto previo a la creación de la Ingeniería Biomédica, que consiste en la formación de profesionales mediante el complemento a la formación en ingeniería electrónica con conocimiento biológico o biomédico y conceptos relacionados con los dispositivos. Los planes de estudio son generalmente una sumatoria de diversos temas, algunos desligados y aquellos que tienen capacidad de gestión, pueden aspirar y, a veces llegar a los puestos de dirección. Su debilidad está en el bajo nivel de competencia para el desarrollo de tecnologías y no se valoran como profesionales en el campo de las tecnologías duras requeridas por las empresas del campo biomédico. El resultado de este tipo

de carreras son egresados que se convierten en maestros plantilla formados por una amplia gama de profesionales que “hacen lo que pueden o lo que saben”. Los profesionales que se gradúan encuentran poca relación de los contenidos teóricos estudiados con los requerimientos diarios de su actividad profesional. La existencia de algunos profesores con experiencia real (jubilados de las empresas o del mundo hospitalario) es una eventualidad y no un objetivo buscado expresamente. Como resultado en este caso, los planes de estudio son de unos cuantos años y un variado repertorio de temas con un enfoque para satisfacer las demandas de las empresas de equipos médicos. Los egresados encuentran serias limitaciones para impactar las decisiones del mundo hospitalario y son relegados a tareas puramente técnicas.

D. Modelo de ingeniería hospitalaria: El modelo hospitalario, se inclina a satisfacer las demandas de diseño de los hospitales, y se centra en la ingeniería hospitalaria con el enlace a la arquitectura y la ingeniería hospitalaria. Estos cursos son generalmente especialidades o cursos de postgrado de otras disciplinas tales como la ingeniería industrial, electrónica y arquitectura, haciendo del alumno uno con mención o especialización en temas muy limitados. Como resultado, los egresados de este tipo de profesiones tienen el síndrome de la “deficiencia permanente”, se sienten huérfanos de ciertos conocimientos, tales como los aspectos biológicos médicos, y están más cerca de la práctica profesional para arquitectos o administradores que la de los profesionales de la salud.

E. Modelo científico técnico mixto: En teoría, es el más adecuado, que permite la formación de profesionales competentes para resolver los problemas de la industria electromédica, servicio técnico e ingeniería clínica (tanto en hospitales como en clínicas). Permite a los egresados desarrollar la investigación en diferentes niveles de conocimiento. Estos son por lo general programas de temas muy variados y con diferentes niveles de profundidad. Los egresados pueden desempeñarse con éxito en centros de investigación, en el mundo hospitalario o en empresas de equipos tanto en la fabricación como en el soporte técnico. Sus contenidos temáticos son muy amplios y para este modelo de trabajo se requieren profesores con buena formación teórica en una muy variada gama de especialidades reales, junto con una actuación previa o simultánea en el mundo extrauniversitario (hospitales o sector empresarial). Como resultado, los profesionales de este tipo de carreras han cambiado el mundo, son responsables de los avances tecnológicos que han impactado el mundo de la salud. Su inserción es exitosa en los centros de investigación y desarrollo, y son muy bien recibidos por otros profesionales en el campo de la salud que los consideran como pares.

También se desempeñan bien en el mundo de la ingeniería clínica y la gestión hospitalaria.

III. RESULTADOS Y PROPUESTAS

De los análisis de la literatura especializada [3, 8, 11-13], se pueden hacer las siguientes propuestas:

A. La pertinencia y la formación profesional: Los ingenieros biomédicos tienen el dilema conocido de su capacidad cognitiva disponible en relación con su rendimiento profesional, ya que pueden ser un profesional muy especializado al profundizar en algunos temas (ignorando otros), o tener un conocimiento general adaptable a las exigencias de la práctica, sin ser un especialista en cualquier tema específico. La realidad externa y el mundo laboral son los que exigen el conocimiento del profesional, y que, en teoría, establecen las condiciones y requisitos en el tipo de formación. Sin embargo este es un aspecto que no siempre se considera en las universidades en el momento de la elaboración de contenidos y programas de estudio. La propuesta es que la situación ideal debe administrarse con una amplia formación en temas y profundidad en el contenido, para que el profesional pueda ser un gran conocedor de una variedad de tecnologías relacionadas con la salud, y desde varias perspectivas. Por lo tanto, es necesario definir el verdadero alcance del desempeño profesional del egresado, y si la formación impartida se corresponde con el desempeño.

B. Contenidos de materias y planes de estudio: El estudio de las diferentes estrategias de formación en ingeniería biomédica en América Latina (y en el mundo), requiere considerar cuáles son las llamadas “materias básicas” (o núcleo de la especialidad) que deben estar presentes en los planes de estudio.

Existen numerosos estudios al respecto, pero estamos de acuerdo en que estos deben ser:

- Electrónica Médica (medición biológica, bioinstrumentación, biomagnetismo)
- Señales e imágenes biomédicas
- Mecánica (biomecánica, biomateriales, termodinámica, óptica)
- Matemáticas (modelado, simulación)
- Informática y comunicaciones (telemedicina e interoperabilidad)
- Proyectos (diseño y construcción de equipos y sistemas)
- Ingeniería clínica, seguridad hospitalaria, certificación de dispositivos
- Medicina y biología (anatomía, la biofísica, fisiología, farmacología).

Sin embargo, estamos buscando un conjunto básico de conocimientos y habilidades que nosotros llamamos "contenido clave". El contenido clave podría ser cubierto de maneras diversas en diferentes universidades. Además, las escuelas de ingeniería de todo el mundo están reexaminando sus programas de acuerdo con los criterios internacionales de acreditación. Este proceso tiene como objetivo incorporar el estudio de la responsabilidad profesional y ética, junto con una comprensión de lo social y los impactos ambientales de las decisiones de ingeniería.

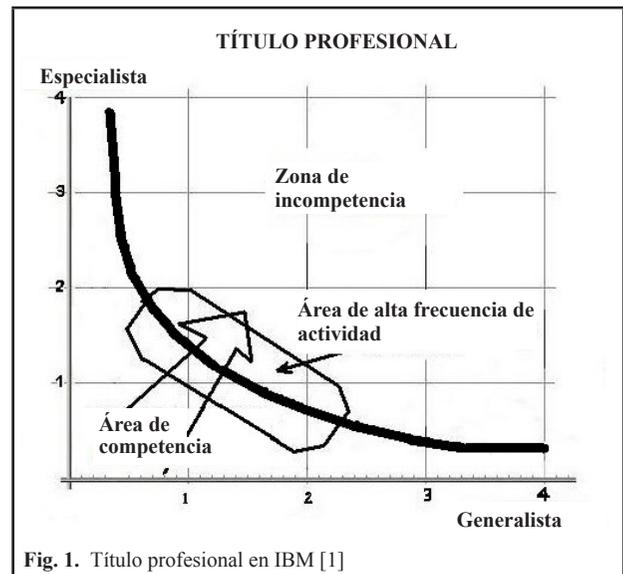
C. Modalidad de estudios de pregrado - postgrado:

Con el rápido desarrollo de las nuevas tecnologías es muy difícil incluir la última tecnología en los cursos de pregrado. Por esa razón, se debe proporcionar una base teórica sólida para asegurar que los estudiantes universitarios sean capaces de absorber los últimos avances técnicos por sí mismos. Sin embargo, los estudios de postgrado deben ser complementarios a los cursos de pregrado. El viejo dilema de generalización frente especialización es particularmente aplicable a la situación de una disciplina amplia como la ingeniería biomédica. Además, en vista de la limitada duración de cualquier carrera universitaria, los cursos de postgrado deben ser diseñados para superar el amplio alcance de los cursos de grado, proporcionando a los estudiantes graduados con un conocimiento profundo en temas específicos. Todas las universidades deberían formalizar el aprendizaje permanente para sus egresados. El objetivo principal de la educación continuada en ingeniería es ayudar a los ingenieros en ejercicio a mantenerse al día con los avances tecnológicos relacionados con sus puestos de trabajo actuales o futuros.

D. Materiales de enseñanza y la infraestructura necesaria mínima (laboratorios): Cualquier programa educativo moderno debe hacer un buen uso de las herramientas tecnológicas y de enseñanza disponibles en la actualidad: la Internet, los medios de comunicación (DVDs, software, etc.). Estos son particularmente útiles para la formación continuada. Se necesitan recursos humanos y materiales para la formación, a saber: Por una parte los profesores calificados (superación de la improvisación inicial) a través de una política internacional de mejoramiento (¿Se debe establecer un plan de América Latina?). Los medios materiales para generar textos, presentaciones, equipos o laboratorios y material didáctico especializado para la enseñanza de alto rendimiento. También se hace necesaria para lograr la uniformidad en la formación nacional y de América Latina tener un lenguaje común para entender contenidos similares.

E. Formación de los docentes y la relación con el mundo real: los requisitos del mundo real para la universidad con el fin de formar a los mejores ingenie-

ros son complejos y no siempre posibles para poner en práctica, y lo que es peor, no siempre existen canales para detectar cuáles son las necesidades reales y cuál es el mejor programa para cumplir con el perfil profesional adecuado. Esto indica que es necesario conseguir que los profesionales sean equipados con las herramientas necesarias, para hacer una acción sostenida muy necesaria en la gestión de la tecnología, con tendencia a la optimización y ahorro de estos recursos. Estas medidas de seguro tendrán un impacto beneficioso sobre la salud pública en general. Hay que prestar atención a la contratación preferente de los profesores con más experiencia en la actividad profesional (industrias de equipos, empresas de marketing de equipos e instituciones de salud) frente a aquellos que sólo tienen experiencia académica en las universidades. La aplicación efectiva de los vínculos entre las universidades y las instituciones de salud o empresas a través de visitas o pasantías de los estudiantes a las instituciones y viceversa, profesionales de diversas áreas deben asistir al salón de clase para sostener discusiones, simposios, conferencias y seminarios sobre temas en torno al mundo real de la ingeniería biomédica. El análisis y propuestas mencionadas anteriormente están estrechamente relacionadas entre sí. Por ejemplo, en el caso de la pertinencia y la formación profesional, la Fig. 1 muestra la relación entre el conocimiento especializado y la formación general, y su efecto sobre la competencia profesional. La formación dirigida desde los primeros años en la especialidad de la IBM, permite al alumno tener, por un lado, una visión clara de su trabajo futuro, ya que todos los días están viendo durante sus estudios, la temática, el equipo, y los problemas que serán su labor profesional en el corto plazo, y por otra parte, le ayudará a aumentar la relevancia de sus estudios en relación con la futura actividad laboral.



IV. CONCLUSIÓN

La profesión de Ingeniería Biomédica es conceptualmente dinámica y su ámbito de aplicación se amplía a menudo para incorporar nuevas disciplinas y especialidades. Por lo tanto, la educación para IBM debe ser adaptable y multidisciplinar, ya que es la educación para otros poderosos campos en constante movimiento de la ingeniería [3]. La enseñanza de la ingeniería biomédica se enfrenta a algunos retos clásicos y otros nuevos. La propuesta es formar profesionales calificados que conozcan los problemas reales y las herramientas necesarias para resolver adecuadamente los problemas de todos los sistemas tecnológicos existentes en el mundo de la salud humana y animal. Es necesario obtener una estructura curricular correcta basada en la realidad y no sólo en términos de abstracciones teóricas, esto es de gran importancia para tener un impacto positivo en la salud a través del desempeño laboral de los egresados.

REFERENCIAS

- [1]. G. Avendaño (2007): "La Formación en Ingeniería Biomédica: Aspectos característicos de una innovación curricular en la Universidad de Valparaíso"; *II Seminario Internacional Innovación Curricular en Educación Superior*, Universidad de Valparaíso; Impresos El Mercurio de Valparaíso, Valparaíso, 2007; Págs.: 53-68.
- [2]. R. Linsenmeier (2003): "What Makes a Biomedical Engineer?"; *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*; July/August, 2003; Págs. 32-38.
- [3]. J. Monzon (2005): "The Challenges of Biomedical Engineering Education in Latin America"; *Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference*; Shanghai, China; September 1-4; Págs. 2403-2405.
- [4]. T. Harris, J. Bransford and S. Brophy (2002): "Roles for Learning Sciences and Learning Technologies in Biomedical Engineering Education"; *Annual Rev. Biomedical Engineering 2002*; Extraído de: www.annualreviews.org
- [5]. D. Gatchell, R. Linsenmeier and T. Harris (2004): "Biomedical Engineering Key Content Survey – The 1st Step in a Delphi Study to Determine the Core undergraduate BME Curriculum"; *Proceedings of the 2004 American Society for Engineering Education Annual Conference*; American Society for Engineering Education.
- [6]. J. Nagel (2007): "Medical and Biological Engineering and Science in the European Higher Education Area"; *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*; May/June, 2007; Págs.18-25.
- [7]. J. Azpiroz-Leehan, F. Martínez, E. Urbina, M. Cadena and E. Sacristán (2016): "Defining New Aims for BME Programs in Latin America"; *38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*; Págs. 4333-4336. DOI: 10.1109/EMBC.2016.7591686.
- [8]. R. Allende, D. Morales, G. Avendaño and S. Chabert (2007): "Biomedical Engineering Undergraduate Education in Latin America"; 16th Argentine Bioengineering Congress and the 5th Conference of Clinical Engineering; IOP Publishing Lyd. DOI: 10.1088/1742-6596/90/1/012019.
- [9]. J. Azpiroz-Leehan, F. Martínez-Licona, E. Urbina-Medal, M. Cadena and E. Sacristán (2016): "Biomedical Engineering in Latin America: A Survey of 90 Undergraduate Programs"; *38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*; Walt Disney World Resort, Orlando, USA; August 17-20, 2016.
- [10]. A. Zárate (2014): "Se requieren cerca de 12 mil ingenieros biomédicos al año en México y sólo se están produciendo 800"; Sala de Prensa, Laurate International Universities; Universidad del Valle de México, 27 de Marzo de 2014. Extraído de <http://laureate-omunicacion.com/prensa/copbiome/>
- [11]. G. Avendaño and A. Rienzo (2016): "Programs in Biomedical Engineering Education: How to Improve it"; *VII Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica CLAIB 2016*; Bucaramanga, Colombia.
- [12]. J. Monzon and A. Monzon-Wyngaard (2009): "Ethics and Biomedical Engineering Education: the continual defiance"; *31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*; Minneapolis, USA; September 2-6, 2009.
- [13]. T. Harris, and S. Brophy (2005): "Challenge-based instruction in biomedical engineering: A scalable method to increase the efficiency and effectiveness of teaching and learning in biomedical engineering"; *Medical Engineering & Physics*; Elsevier, 2005; Págs. 617-624.