

Revista Ingeniería Biomédica

ISSN 1909-9762, volumen 4, número 7, enero-junio 2010, págs. 23-34

Escuela de Ingeniería de Antioquia-Universidad CES, Medellín, Colombia

La ingeniería biomédica en Colombia: una perspectiva desde la formación del pregrado

Adriana María Ríos Rincón^{1,†}, Antonio Miguel Cruz¹, Luis Eduardo Rodríguez Cheu², Javier Chaparro²

¹Universidad del Rosario, Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud, Bogotá, Colombia

²Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito”, Bogotá, Colombia

Recibido 17 de diciembre de 2009. Aceptado 26 de abril de 2010

BIOMEDICAL ENGINEERING IN COLOMBIA: AN UNDERGRADUATE STUDIES APPROACH

Resumen— El presente artículo expone el estado de la formación en Ingeniería Biomédica en Colombia a nivel de pregrado. Se revisaron programas de la Unión Europea y los Estados Unidos. A nivel nacional, se revisaron, bajo la categoría de Ingeniería Biomédica y Bioingeniería, los planes de estudio de quince instituciones de educación superior a partir de tres fuentes de información: Páginas Web de Universidades, Sistema de Información de Educación Superior y Observatorio Laboral (Ministerio de Educación Nacional). Se encontró que la oferta de los programas nacionales de Ingeniería Biomédica y Bioingeniería en su conjunto en la ciudad de Bogotá D.C. representa el 30% de la totalidad de la oferta en el país, Antioquia (Medellín) representa el 27%, Valle del Cauca (Cali) el 13% y los demás departamentos representan el 30% restante. Los programas de educación superior en Ingeniería Biomédica muestran una uniformidad en cuanto a la duración y a las competencias a desarrollar con ligeras diferencias en los énfasis y los perfiles de egreso. Actualmente existen al menos 528 Ingenieros Biomédicos y Bioingenieros graduados en el país (0,27% del total de las ingenierías). La tasa de graduados por año, entre 2001 y 2007 es en promedio de 75 Ingenieros Biomédicos y Bioingenieros. Se puede concluir que a pesar de la oferta de programas activos de Ingeniería Biomédica a nivel nacional, la tasa de graduados es baja con relación a: la población colombiana que va en aumento, el incremento de personas con discapacidad y adultos mayores y el número de graduados de otras ingenierías. Se propone la reflexión, sobre el reto que imponen los avances científicos y tecnológicos mundiales que de alguna manera se convierten en directrices de formación.

Palabras clave— Ingeniería Biomédica, Educación, formación de pregrado.

Abstract— This academic paper presents the state of Colombia's undergraduate education in Biomedical Engineering. Programs of the European Union and of the United States were reviewed. In the national level, fifteen programs of different higher education institutions were reviewed under the category of Biomedical Engineering and Bioengineering, based on three information sources: University official Website, Information System on higher education and work observatory of the National Education Ministry. It was found that the total offer of national undergraduate programs in Biomedical Engineering and Bioengineering in Bogota D.C represents the 30% of the total offer in the country, Antioquia (Medellín) represents the 27%, Valle del Cauca (Cali) the 13% and the other departments represent the 30% left. The undergraduate programs in Biomedical Engineering show similar standards regarding length, and professional developing competences with slight differences in the graduation profiles and the emphasis. In the present, there are at least 528 graduated Biomedical Engineering and bioengineers in the country (0,27% of all engineering graduates). The rate of graduates per year, between 2001 and 2007, is close to 75 biomedical Engineers and bioengineers. It can be concluded, that despite the offer of active programs in the national level, the rate of graduates is low in relation to: the Colombian population which is growing, the growth of the number of people with disabilities and elders, and the number of graduates from other engineering fields. A reflection is proposed, regarding the challenges that worldwide scientific and technological advances present, which in some measure become formation directives.

Keywords— Biomedical engineering, Education, Undergraduate studies.

[†]Dirección para correspondencia: adriana.rios@urosario.edu.co

I. INTRODUCCIÓN

El propósito de este artículo es contribuir a las reflexiones sobre el desarrollo de la Ingeniería Biomédica en Colombia presentadas en el volumen 3 número 5 de esta Revista. Los autores desean adicionar información que consideran puede ayudar a identificar el panorama general sobre el estado de la formación del pregrado de Ingeniería Biomédica en Colombia. De este modo, el artículo inicia con una exposición de aspectos generales sobre el dominio de estudio de la Ingeniería Biomédica, luego expone las tendencias de formación, y termina con una exposición de las oportunidades y retos relacionados con la Ingeniería Biomédica en Colombia.

Existe un amplio número de definiciones alrededor del término de Ingeniería Biomédica y Bioingeniería. Por ejemplo, la Fundación Whitaker, Institución norteamericana que se dedica a la investigación y al desarrollo de la especialidad en los Estados Unidos, define a la Ingeniería Biomédica como "...una disciplina que utiliza los conocimientos avanzados en ingeniería, biología y medicina para mejorar la salud humana a través de disciplinas que integran las ciencias de la ingeniería con las ciencias biomédicas y la práctica clínica..." Esto incluye: 1). La adquisición de nuevo conocimiento para la comprensión de los sistemas vivos a través de la aplicación de técnicas experimentales y analíticas. 2). El desarrollo de nuevos dispositivos, algoritmos, procesos y sistemas para mejorar la práctica médica y los servicios de salud..." [1].

La Sociedad Colombiana de Ingenieros [2], en consonancia con lo planteado por la ABET (*Accreditation Board for Engineering and Technology*), institución que se dedica a la acreditación de programas de ingeniería y tecnología de los Estados Unidos, reconoce a la Ingeniería Biomédica como "la profesión en la cual los conocimientos de las ciencias naturales y matemáticas adquiridas mediante el estudio, la experiencia y la práctica, se aplican con buen criterio para desarrollar los medios para aprovechar económicamente los materiales, los recursos y las fuerzas de la naturaleza".

Por otra parte, se ha usado el término Bioingeniería, entendido como la interrelación de la medicina y la ingeniería [3]. En 1997, el Comité de Bioingeniería del Consorcio Nacional del Instituto de Salud de los Estados Unidos, conocido por sus siglas en inglés (NIH), ofreció la siguiente definición de esta especialidad:

"... La Bioingeniería integra la física, la química, la matemática y las ciencias de la computación y los principios de la ingeniería para estudiar la biología, la medicina, el comportamiento y la salud humana, ésta descubre y emplea conceptos fundamentales, crea nuevo

conocimiento desde el nivel molecular hasta los sistemas de órganos y desarrolla materiales biológicos, implantes, dispositivos y procesos para la prevención, el diagnóstico y tratamiento de pacientes en rehabilitación para el mejoramiento de la salud humana..."[4].

Elementos comunes que pueden extraerse de todas las definiciones presentadas, es que nacen alrededor del tronco común de las Ciencias Básicas y Biomédicas, que siempre está presente el término "biología" y que su aplicación está encaminada a toda la extensión de los seres vivos. Ahora bien, la Ingeniería Biomédica orienta sus desarrollos particularmente hacia la solución de problemas relacionado con salud humana, en cambio la Bioingeniería, amplía su objeto de estudio a todas las formas de vida.

Históricamente hablando, se puede afirmar que el origen de la Ingeniería Biomédica está relacionado con la instrumentación y específicamente con la electrofisiología. Hace más de 200 años el científico Emil du Bois-Reymond, publicó por primera vez, en 1848, su trabajo titulado "*Ueber die tierische Elektrizität*", en el cual se mostró la evidencia de señales eléctricas que surgían del cuerpo humano. Posterior a esta investigación, surgieron avances significativos como el marcapaso para el corazón, el diseño de prótesis y otros dispositivos electrónicos que han permitido que la instrumentación biomédica colabore a los médicos y demás profesionales de la salud en el diagnóstico y el tratamiento de los pacientes.

El primer programa oficial de estudio en Ingeniería Biomédica comenzó en 1959 como maestría en la Universidad norteamericana de Drexel. Previo a esto, la primera conferencia mundial sobre Ingeniería Biomédica se realizó en Estados Unidos en 1948. Dado el crecimiento de las investigaciones en el área, en la conferencia mundial de Ingeniería Biomédica de 1958 se presentaron 70 artículos científicos y participaron más de 300 asistentes, cifra que para 1961 aumentó a casi 3.000 participantes. No fue sino hasta 1994 que se efectuó la primera Conferencia sobre Ingeniería Biomédica en la región de Latinoamérica; la cual fue celebrada en Río de Janeiro (Brasil), siendo la decimoquinta conferencia mundial. En la actualidad, ya se han celebrado cuatro conferencias en el continente Americano, siendo Cuba, México, Brasil, y Venezuela los países anfitriones.

II. TENDENCIAS DE FORMACIÓN EN INGENIERÍA BIOMÉDICA, EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL, NACIONAL Y REGIONAL

2.1 Tendencias de formación a nivel internacional:

Las tendencias de formación en el pregrado en Ingeniería Biomédica a nivel internacional serán

abordadas desde la perspectiva de la Unión Europea (UE) y los Estados Unidos.

- *Tendencias de los programas de Ingeniería Biomédica en la UE:*

Los documentos consultados sobre programas ofrecidos en la UE muestran los avances obtenidos en este continente alrededor de la armonización de los programas con el objetivo de lograr movilidad estudiantil y de empleo [5]. Este esfuerzo se materializó en un grupo de reuniones de trabajo en Eindhoven y Warsaw, dando a la luz el llamado proyecto BIOMEDEA [6]. El resultado final de este proyecto es un documento donde se exponen los criterios mínimos necesarios para acreditar programas en la UE. En este documento se pueden identificar los siguientes tipos de programas:

1. Programas de Ingeniería Biomédica *per se*.
2. Programas de otras ingenierías que contienen módulos con asignaturas relacionadas con la Ingeniería Biomédica.

Estos dos grandes grupos a su vez se pueden clasificar en 3 tipos de programas, como se presenta en la Tabla 1 [5].

Además, de acuerdo con los objetivos educativos de los programas, la UE los clasifica en:

- Programas profesionales: el objetivo de la enseñanza de la Ingeniería Biomédica en los programas profesionales es desarrollar uno o dos ciclos profesionales, de manera que permitan crear competencias de tipo creativo, analítico y de diseño que faciliten a los estudiantes solucionar problemas médico/clínicos relevantes y el mejoramiento y desarrollo de sistemas biomédicos en campo.
- Programas orientados a la investigación: el objetivo de la enseñanza de la Ingeniería Biomédica con

finde investigación es crear competencias de tipo creativo y analítico que les permitan a los estudiantes profundizar e investigar en tópicos selectos y de avanzada, para mejorar sistemas biomédicos complejos, tanto tecnológicos como fisiológicos. En pocas palabras, consiste en entrenar a los estudiantes para que se conviertan en futuros científicos.

En la Tabla 2, se presenta una comparación de los créditos y su porcentaje relativo al total de créditos, destinados a cada categoría de formación por cada tipo de programa

En general, se puede observar que los programas de la UE tienen las siguientes características:

1. El número total de créditos es de 180.
2. Para obtener el grado, el estudiante debe realizar un trabajo de grado y una pasantía.
3. Las ciencias básicas (matemáticas y ciencias naturales) ocupan el 22,22% del total de créditos.
4. Los fundamentos de ingeniería ocupan el 16,67% del total de créditos.
5. Los fundamentos médicos ocupan el 5,56%.
6. Las asignaturas relacionadas con la especialidad de Ingeniería Biomédica oscilan entre el 33 y 46% del total de créditos. Esto incluye el trabajo de grado y la pasantía, cada una con un total de 8,33% del total de los créditos académicos del programa.

- *Tendencias de los programas de Ingeniería Biomédica en los Estados Unidos (EE.UU):*

Para el caso de los EE.UU se identificaron los siguientes patrones de comportamiento en los programas de Ingeniería Biomédica [7-8].

Tabla 1. Tipos de programas de Ingeniería Biomédica según la UE [5].

| Tipo de Programa | Característica distintiva |
|------------------|---|
| Tipo 1 | Programas de Ingeniería Biomédica con un componente general de temas relacionados con la Ingeniería Biomédica que cubren al menos un 50% del plan de estudios y un módulo de aplicaciones menores específicas, tales como: electrónica médica, evaluación de tecnologías, ingeniería clínica, informática médica o física médica. |
| Tipo 2 | Programas de Ingeniería Biomédica con un componente general de temas relacionados con la Ingeniería Biomédica que cubren al menos un 50% del plan de estudios y un módulo de aplicaciones específicas o con una fuerte orientación hacia uno de los módulos de aplicación de la Ingeniería Biomédica. |
| Tipo 3 | Programas interdisciplinarios con un módulo en temas relacionados con la Ingeniería Biomédica y balanceado con otros temas no especializados en Ingeniería Biomédica, tales como: electricidad, electrónica y mecánica. |

Tabla 2. Créditos (Cr) y su porcentaje en cada tipo de programa [5].

| Categoría | Programa Tipo 1 Ingeniería Biomédica | | Programa Tipo 2 Ingeniería Biomédica | | Programa Tipo 3 Ingeniería Biomédica | |
|--|--------------------------------------|--------|--------------------------------------|--------|--------------------------------------|--------|
| | Bachelor | | Bachelor | | Bachelor | |
| | Cr | % | Cr | % | Cr | % |
| Matemáticas | 20,00 | 11,11 | 20,00 | 11,11 | 20,00 | 11,11 |
| Ciencias naturales | 20,00 | 11,11 | 20,00 | 11,11 | 20,00 | 11,11 |
| Fundamentos de ingeniería | 30,00 | 16,67 | 30,00 | 16,67 | 30,00 | 16,67 |
| Fundamentos médicos | 10,00 | 5,56 | 10,00 | 5,56 | 10,00 | 5,56 |
| Competencias generales y sociales | 10,00 | 5,56 | 10,00 | 5,56 | 10,00 | 5,56 |
| Fundamentos de la ingeniería biomédica | 25,00 | 13,89 | 25,00 | 13,89 | 25,00 | 13,89 |
| Tópicos de profundización | 15,00 | 8,33 | 15,00 | 8,33 | 5,00 | 2,78 |
| Electivas con aplicaciones menores | 20,00 | 11,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Electivas con aplicaciones específicas | 0,00 | 0,00 | 20,00 | 11,11 | 0,00 | 0,00 |
| Tesis (independiente) | 15,00 | 8,33 | 15,00 | 8,33 | 15,00 | 8,33 |
| Pasantía | 15,00 | 8,33 | 15,00 | 8,33 | 15,00 | 8,33 |
| Módulos de otras disciplinas | ----- | ----- | ----- | ----- | 30,00 | 16,66 |
| Total BME | 90,00 | 49,99 | 90,00 | 49,99 | 60,00 | 33,33 |
| Total BME | 180,00 | 100,00 | 180,00 | 100,00 | 180,00 | 100,00 |

Nota: Un crédito equivale a 60 horas de trabajo.

- Existen al menos 119 programas de Ingeniería Biomédica que se imparten en EE.UU. Unidos.
- De ellos, en el año 2008, existía un total de 46 programas acreditados, lo cual representa un 38,65% del total de programas. Es notable destacar que hubo un crecimiento de un 92% en la acreditación con respecto al 2002, lo cual denota una preocupación en el aumento de la calidad de los programas que se ofertan.
- La duración de los programas oscila entre 8 y 10 semestres, siendo más común la duración de 8 semestres.
- Se observa una tendencia casi exponencial en el aumento de programas de Ciencias Biomédicas e Ingeniería Biomédica así como los que se adicionan cada año, tanto en pregrado como en posgrado.
- La matrícula de estudiantes en Ingeniería Biomédica es del 3% con relación a la matrícula en todas las ingenierías [9], estudio realizado entre el 1979-2003.
- El 4% de todos los ingenieros que se gradúan son Ingenieros Biomédicos [9], estudio realizado entre el 1979-2003.

Adicional a esto, en un estudio realizado en el 2003, por un Consorcio de Universidades Norteamericanas formado por la Universidad de Vanderbilt, Northwestern y Austin en Texas, el Instituto de Ciencias Tecnológicas de Harvard, el Instituto Tecnológico de Massachusetts (por sus siglas en Inglés: MIT) y el Centro de Investigación e Ingeniería para las Tecnologías Educativas en Bioingeniería; se encontró, que a pesar de que aún no existe un consenso en el contenido, el tipo de cursos y las áreas en los programas que se ofrecen en EE.UU, tienen un denominador común en el currículo de esta especialidad en el contenido y en las competencias...” [3].

2.2 Programas de formación de Ingeniería Biomédica en Colombia:

En Colombia, la Ingeniería Biomédica nace en la Universidad de los Andes, en la década de los años sesenta, con los primeros trabajos en fisiología y neurofisiología, construyendo los primeros lazos entre la Ingeniería y la Medicina. Otros precursores estuvieron dados por la Universidad de Antioquia [10] y, en la misma

región, la Escuela de Ingeniería de Antioquia en convenio con la Universidad CES [11], y otros más en la región Caribe [12-13].

Es importante destacar que la enseñanza de la Ingeniería Biomédica en muchos países de la región de América Latina y el Caribe, donde Colombia no es una excepción, se realiza en dos modalidades. Por un lado se tienen programas de ingeniería electrónica en los cuales a partir de los últimos semestres (7° a 10°) se comienza a impartir un grupo de asignaturas o materias electivas que perfilan al estudiante hacia la Ingeniería Biomédica, realizando tesis de grado relacionadas con temas de la Ingeniería Biomédica. Por otro lado, se cuenta con programas de Ingeniería Biomédica puros, que son auspiciados por departamentos de investigaciones con un nivel de madurez que les permite ofrecer un programa de Ingeniería Biomédica.

Con el fin de conocer el estado real de los programas de pregrado, se realizó una caracterización de los programas de Ingeniería Biomédica puros para el caso de Colombia. Los datos fueron extraídos del sitio web del Ministerio de Educación de la República de Colombia [14] utilizando la herramienta de búsqueda implementada para tales propósitos llamada Sistema Nacional de Información

de Educación Superior (SNIES) [15]. Las Tablas 3 y 4 muestran los Programas de Ingeniería Biomédica y Bioingeniería y en la Fig. 1 se representa la distribución de los programas de Ingeniería Biomédica y Bioingeniería, respectivamente, por departamento. La caracterización de los programas existentes se desarrolló a partir de los siguientes elementos:

1. Denominación del pregrado: para este caso, se realizó una búsqueda por las palabras clave Ingeniería Biomédica y Bioingeniería.
2. Carácter académico del programa: denotado por Universidad (U), Institución Universitaria (IU), Institución Tecnológica (IT) e Institución Técnica Profesional (ITP).
3. Tipo u origen de la universidad que ofrece el programa: denotadas por privada (P) y oficial (O).
4. La metodología de enseñanza: denotadas por presencial (Pres) y a distancia (Dist)
5. La duración en años/semestres.
6. Registro Calificado (RC) y Acreditación de Alta Calidad (AC).
7. El número de créditos (Cr).

Tabla 3. Programas de Ingeniería Biomédica registrados en Sistema de Información de Educación Superior (SNIES) [15].

| Nombre de la Institución | Denominación del programa: Ingeniería Biomédica | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----|--------|-----|-------------|---|-------------------|------|----------|---------------------|-----------|------|----|---------|
| | Carácter académico | | Origen | | Metodología | | Cantidad de sedes | | Registro | | Dur (sem) | Cr** | | |
| | U | IU | IT | ITP | P | O | Pres | Dist | Bgta | Resto País | RC | AC | | |
| Universidad Antonio Nariño* | X | | | | X | | X | | 1 | 2 (Cauca y Bolívar) | X | | 10 | 160-174 |
| Universidad Autónoma de Manizales | X | | | | X | | X | | 0 | 1(Caldas) | X | | 10 | 175 |
| Universidad Autónoma de Occidente | X | | | | X | | X | | 0 | 1 (Valle del Cauca) | X | | 10 | 160 |
| Universidad Manuela Beltrán* | X | | | | X | | X | | 1 | 1 (Santander) | X | | 10 | 160 |
| Corporación Universitaria de Ciencia y Desarrollo | | X | | | X | | X | | 1 | 0 | X | | 10 | 168 |
| Escuela Colombiana de Carreras Industriales | | X | | | X | | X | | 1 | 0 | X | | 10 | 157 |
| Escuela de Ingeniería de Antioquia – Universidad CES | | X | | | X | | X | | 0 | 1 (Antioquia) | X | X | 10 | 160 |
| Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM) | | X | | | | X | X | | 0 | 1 (Antioquia) | X | | 10 | 180 |
| Total | | | | | | | | | 4 | 7 | | | | |

* Solo se cuentan los programas activos al momento de la indagación.

**Un crédito es equivalente a 48 horas de trabajo.

Tabla 4. Programas de Bioingeniería Registrados en el SNIES [15].

| Nombre de la Institución | Denominación del Programa: Bioingeniería | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|----|----|-----|--------|---|-------------|------|------|---------------------|----|----------|----|-----------|
| | Carácter académico | | | | Origen | | Metodología | | | Cantidad de sedes | | Registro | | Dur (Sem) |
| | U | IU | IT | ITP | P | O | Pres | Dist | Bgta | Resto País | RC | AC | | |
| Universidad Santiago de Cali* | X | | | | X | | X | | 1 | 1 (Valle del Cauca) | X | | 10 | 168 |
| Universidad de Antioquia | X | | | | | X | X | | 0 | 1 (Antioquia) | X | | 10 | 184 |
| Colegio Mayor de Antioquia | | X | | | X | | X | | 0 | 1 (Antioquia) | X | | 10 | 168 |
| Total | | | | | | | | | 1 | 3 | | | | |

* Solo se cuentan los programas activos al momento de la indagación.

**Un crédito es equivalente a 48 horas de trabajo.

De acuerdo con la Tabla 3, se puede identificar el siguiente patrón de comportamiento en los programas de pregrado en Ingeniería Biomédica:

1. Hasta la fecha, según el Ministerio de Educación Nacional, existen 8 Instituciones de Educación Superior que ofertan 11 programas de Ingeniería Biomédica con Registro Calificado, de estos sólo uno cuenta con Acreditación de Alta Calidad.
2. De las 8 Instituciones de Educación Superior, 4 son Universidades y el resto son de tipo Institución Universitaria.
3. Los programas son en un 100% ofrecido en la modalidad presencial y las instituciones son de carácter privado, excepto el ITM que es oficial.
4. De los 11 programas, se ofrecen 4 (36,36 %) en la Ciudad de Bogotá D.C. y 7 (63,64%, el resto) en otras ciudades capitales del país.
5. La duración promedio de los programas de Ingeniería Biomédica es de 10 semestres.
6. El número de créditos académicos oscila entre 157 y 180.

De acuerdo con la Tabla 4, se puede identificar el siguiente patrón de comportamiento en los programas de pregrado en Bioingeniería:

1. Hasta la fecha, según el Ministerio de Educación Nacional, existen cuatro programas de Bioingeniería con registro calificado, ofrecidos por tres Instituciones de Educación Superior. De ellas, dos son Universidades y una es de tipo Institución Universitaria. Dos son de carácter privado y una oficial.
2. Los programas son ofrecidos en un 100% en la modalidad presencial.
3. De los 3 programas, dos se ofrecen en Antioquia (Medellín) y uno en el Valle del Cauca (Cali); este último programa tiene una extensión en Bogotá D.C.

4. La duración promedio de las carreras de Bioingeniería es de 10 semestres.
5. La cantidad de créditos académicos oscila entre 168 y 184.

Es importante destacar que la oferta de los programas de Ingeniería Biomédica y Bioingeniería en su conjunto en la ciudad de Bogotá D.C. representa el 30% de la totalidad de la oferta en el país, Antioquia (Medellín) representa el 27%, Valle del Cauca (Cali) el 13% y los demás departamentos representan el 30% restante. Los programas de educación superior en Ingeniería Biomédica muestran una uniformidad en cuanto a la duración (10 semestres) y a las competencias a desarrollar con ligeras diferencias en cuanto a los énfasis.

Con relación al perfil ocupacional del egresado de los programas de Ingeniería Biomédica y Bioingeniería la tendencia actual de formación, de acuerdo a los planes de estudio de las diferentes instituciones de educación superior, se puede resumir en los siguientes aspectos:

1. Consultor en la gestión de tecnologías biomédicas.
 2. Gerente, asesor técnico o ingeniero de proyectos en la modernización del equipamiento tecnológico de hospitales, clínicas y centros de rehabilitación.
 3. Director de ingeniería y mantenimiento en instituciones hospitalarias.
 4. Supervisor e instructor del personal médico y paramédico en su área de competencia.
 5. Jefe del departamento de Ingeniería Clínica, gerente o promotor comercial para las empresas productoras o comercializadoras de equipos médicos.
 6. Asesor de instituciones hospitalarias para la implantación y supervisión de las normas nacionales e internacionales de bioseguridad y las que regulan el uso del equipamiento tecnológico biomédico.
- *Caracterización de matriculados y graduados de Ingeniería Biomédica dentro de su campo de conocimiento:*

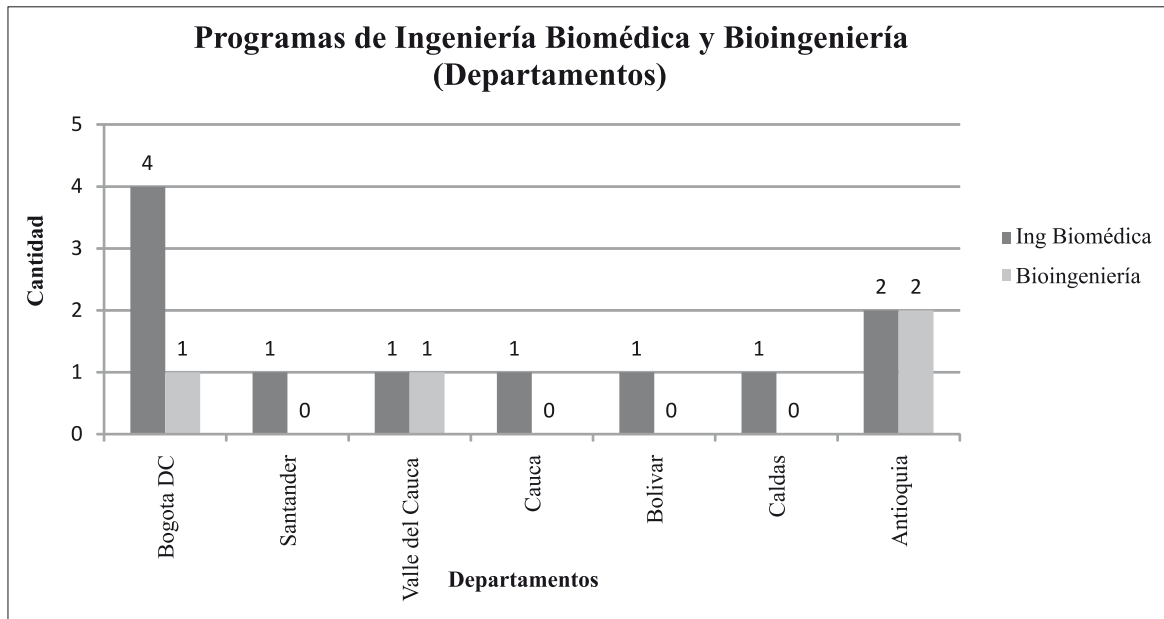


Fig. 1. Distribución de los programas de Ingeniería Biomédica y Bioingeniería por departamento.

A continuación se presenta el patrón de graduados y matriculados de la Ingeniería Biomédica en Colombia. Esta información fue consultada en el Observatorio Laboral del Ministerio de Educación Nacional [16] en donde se clasifica a las Ingenierías en la categoría de “Ingenierías, Arquitectura y Urbanismo” y la Ingeniería Biomédica en la subcategoría de “Ingeniería Biomédica y afines”, la cual incluye para el caso del pregrado: Bioingeniería, Ingeniería Biomédica, Técnico Profesional

en Electromedicina, Tecnología en Bioelectrónica y Tecnología en el Mantenimiento de Equipos Biomédicos.

La Tabla 5 muestra la tendencia de matriculados en contra de los graduados en todos los niveles de formación de la Ingeniería Biomédica y afines (2001-2008). La tendencia total es presentada de manera gráfica en la Fig. 2. La Fig. 3 muestra la relación porcentual de los graduados y los matriculados en Ingeniería Biomédica en contra de todas las ingenierías.

Tabla 5. Tendencia de Matriculados (M) en contra de los Graduados (G) en todos los niveles de formación de la Ingeniería Biomédica y afines (2001-2008) [16].

| | Técnica profesional | | Tecnológica | | Universitaria | | Especialidad | | Todas las modalidades | |
|-------|---------------------|-----|-------------|-----|---------------|-----|--------------|----|-----------------------|-------|
| | M | G | M | G | M | G | M | G | M | G |
| 2001 | 106 | 29 | 438 | 0 | 727 | 57 | 10 | 10 | 1281 | 96 |
| 2002 | 262 | 31 | 870 | 0 | 949 | 107 | 46 | 31 | 2127 | 169 |
| 2003 | 205 | 50 | 570 | 5 | 1999 | 134 | 24 | 1 | 2798 | 190 |
| 2004 | 202 | 60 | 647 | 40 | 1265 | 98 | 23 | 7 | 2137 | 205 |
| 2005 | 219 | 33 | 652 | 143 | 821 | 32 | 27 | 28 | 1719 | 236 |
| 2006 | 255 | 34 | 528 | 58 | 856 | 69 | 14 | 12 | 1653 | 173 |
| 2007 | ND* | 33 | ND* | 58 | ND* | 31 | ND* | 2 | ND* | 124 |
| 2008 | ND* | 46 | ND* | 84 | ND* | 96 | ND* | 20 | ND* | 246 |
| Total | 1249 | 270 | 3.705 | 304 | 6.617 | 528 | 144 | 91 | 11.715 | 1.193 |

ND* Información no disponible.

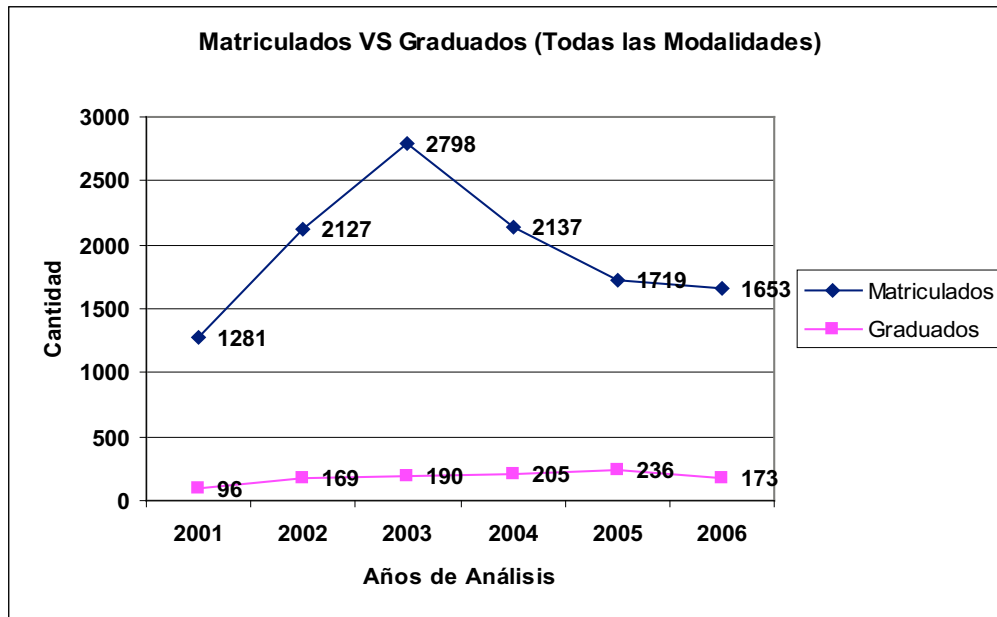


Fig. 2. Tendencia total de matriculados en contra a graduados en todos los niveles de formación de la Ingeniería Biomédica y afines (2001-2006). Fuente: Observatorio Laboral. Ministerio de Educación [16].

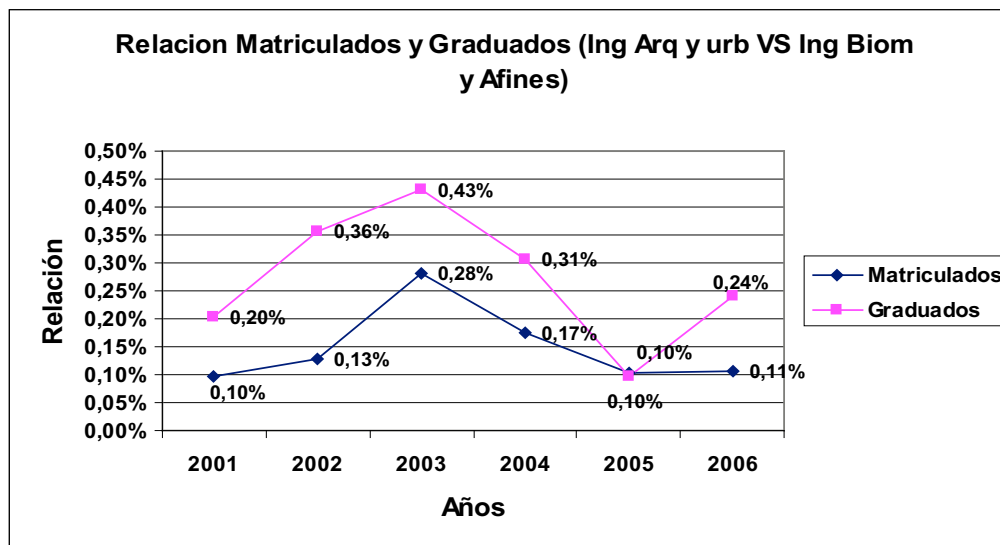


Fig. 3. Relación porcentual entre el total de matriculados y graduados en la enseñanza Universitaria de todas las ingenierías, arquitectura y urbanismo en contra a ingeniería biomédica y afines (2001-2006). Fuente: Observatorio Laboral. Ministerio de Educación [16].

De esta información se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. Considerando la información disponible en su totalidad, entre el 2001 y el 2006, se graduaron en Ingeniería Biomédica y afines en formación Universitaria, el 7,51% (Graduados/ Matriculados, 497/6617) de los estudiantes que se matricularon (Fig. 2 y Tabla 5).
2. Actualmente existen al menos 528 Ingenieros Biomédicos y Bioingenieros graduados en el país (Tabla 5). Representando esto como promedio, solamente el 0,27% con respecto al resto de las ingenierías, siendo este valor muy bajo (Fig 3).
3. La tasa de graduados por año, entre 2001 y 2007 es en promedio de 75 Ingenieros Biomédicos y Bioingenieros.

4. Existe un total de 574 graduados en las áreas de Ingeniería Biomédica y afines en la formación Técnica Profesional y Tecnológica (Tabla 5), lo cual representa una razón de 0,92 técnicos profesionales por cada Ingeniero Biomédico (ver ecuación 1)

$$\text{Razón TPT} - \text{Univ} = \frac{TP + T}{Univ} * 100$$

Donde

TP: Técnica Profesional.

T: Tecnológica.

Univ: Universitaria.

5. Existe un total de 91 especialistas en las áreas de Ingeniería Biomédica y afines en la formación de especialización (Tabla 5), lo cual representa una razón de 0,17 especialistas por cada Ingeniero Biomédico (Especialistas/Universitario, 91/528).

III. LA INGENIERÍA BIOMÉDICA EN UN ENTORNO CAMBIANTE

el entorno en el que se desarrolla la Ingeniería Biomédica se encuentra impregnado de constantes cambios regulatorios, demográficos, tecnológicos y científicos. Estos cambios ofrecen oportunidades de desarrollo de la profesión y a la vez generan retos para las entidades formadoras de estos futuros profesionales. Obviamente, el desarrollo de la profesión estaría estrechamente vinculado con los procesos de renovación educativa que apunta a la competitividad del profesional, como por ejemplo el proyecto Tuning para América Latina [17] y particularmente para Ingeniería Biomédica el proyecto BIOMEDEA [6].

En cuanto a aspectos regulatorios globales, el ejercicio de la Ingeniería Biomédica se encuentra amparado por lo ocurrido en marzo de 2007, cuando la Asamblea Mundial de Salud aprobó una resolución particular sobre tecnologías sanitarias centrada en dispositivos médicos. La Asamblea invitó a los Estados Miembros a que se comprometieran en la formulación de estrategias y planes nacionales de evaluación, adquisición y gestión de tecnologías en salud [18]. Este posicionamiento de la Ingeniería Biomédica dentro de las agendas mundiales en salud marca su “mayoría de edad” dado por el hecho de que, además del prestigio y de la calidad científica del gremio, la comunidad profesional que se desempeña en el sector de la salud ha reconocido que “...la tecnología debe ser considerada como un elemento más dentro del sistema médico y dentro de sus roles está el de lograr un mejoramiento del desempeño humano frente a la automatización de los procesos para disminuir los

errores...” [19], por solo citar un ejemplo. Incluso en otras latitudes, la Ingeniería Biomédica ha desarrollado investigaciones en donde se explora la utilización de la tecnología dentro de los sistemas de salud y hace una contribución a la formulación de políticas en salud [20].

En cuanto al marco reglamentario nacional, esta profesión se encuentra enmarcada en primer lugar por la Ley 100 de 1993, por medio de la cual se instituyó el Sistema General de Seguridad Social, estableció un marco general de seguridad social en salud y consideró, dentro de los determinantes de salud, aspectos que hacen referencia al manejo de la tecnología relacionado con transferencia, adquisición, mantenimiento y sistemas de calidad que incluye tanto servicios como tecnologías para la salud, acompañada por su reglamentación [21-22].

En un análisis realizado sobre la prestación de los servicios de salud, se han encontrado dos problemas significativos: uno es la baja capacidad resolutoria y el otro está relacionado con la ausencia de mecanismos de evaluación e incorporación de tecnología. En este mismo orden de ideas se han detectado serios problemas tecnológicos y científicos, entre el periodo 2002-2006, como es el caso de un “marcado deterioro de la Infraestructura y Equipamiento Biomédico de la Red Pública Hospitalaria” [23], con periodos de uso del 40 años en no menos del 50% del equipamiento que se utiliza actualmente.

En los últimos años, en Colombia se ha observado un crecimiento de la preocupación por el tema de las consecuencias de los errores médicos [24]. En atención al tema se presenta la emisión de una serie de normativas que buscan regular el uso de la tecnología en los hospitales [21-22]. Adicionalmente, el INVIMA ha impulsado un conjunto de iniciativas con el objetivo de controlar las tecnologías biomédicas usadas en la prestación de servicios de salud. Una de las tantas iniciativas es la estrategia de vigilancia y evaluación sanitaria en pro de la seguridad de los pacientes, denominada tecnovigilancia, la cual ha sido definida como el conjunto de actividades orientadas a la identificación, evaluación, gestión y divulgación oportuna de la información relacionada con los incidentes adversos, problemas de seguridad o efectos colaterales que presenten estas tecnologías durante su uso, a fin de tomar medidas eficientes que permitan proteger la salud de una población determinada [25].

Finalmente, en el año 2005 se plantea la Política Nacional de Prestación de Servicio de Salud 2007-2010 [26], con la cual el Ministerio de la Protección Social pretende garantizar el acceso, optimizar el uso de los recursos y mejorar la calidad de los servicios que se prestan a la población. Dicha política establece en

su Estrategia 7 el “fortalecimiento de los procesos de evaluación e incorporación de tecnología biomédica” y plantea como uno de sus proyectos la implementación del Sistema Nacional de Evaluación de Tecnologías en Salud.

Otro factor que influye sobre el quehacer del Ingeniero Biomédico y por ende justifica su existencia, es el que tiene que ver con los cambios demográficos, los más importantes son la población de adultos mayores y la discapacidad. La población colombiana se caracteriza por la presencia de un porcentaje significativo de adultos mayores. Los adultos mayores han venido aumentando en relación con la población total del país. Así, en 1964 representaban el 3,8%, en 1973 el 4%, en 1985 el 5%, en 1995 el 6,4%, en el 2000 el 6,8%, y se prevé que para el 2050 será el 21,7%. Las personas que se encuentran en ésta etapa del ciclo vital presentan problemas de salud, tales como: diabetes, enfermedades cardiovasculares y enfermedades reumáticas, entre otras.

La discapacidad es otra variable a tener en cuenta en los aspectos demográficos. La OMS calcula que cerca del 12 % de la población de cualquier país presenta discapacidad y que esta cifra aumenta en países pobres o con violencia como Colombia. Alrededor de cuatro millones de personas viven bajo condición de discapacidad en Colombia, debido a enfermedades crónicas, lesiones, violencia, infección, desnutrición y otras causas relacionadas con la pobreza. Este número va en aumento; el 80% de las personas con discapacidad viven en países de bajos recursos, la mayoría son pobres y tienen poco o ningún acceso a servicios básicos, incluyendo la rehabilitación [27].

Esto implica que además de los problemas de salud ya existentes (enfermedades cardiovasculares, cánceres, diabetes, obesidad, etc.) las enfermedades pasarán de ser fortuitas y repentinas a crónicas, agravadas por la situación socio-política del país. Lo cual demanda que el estado deberá destinar más recursos para atender estos problemas.

Un elemento adicional a considerar en el quehacer del Ingeniero Biomédico, es el relacionado con las tecnologías biomédicas. Según la “Food and Drug Administration” (FDA), organismo que se encarga en los Estados Unidos del registro, control y certificación de los dispositivos médicos, en la actualidad existen más de 50.000 tipos diferentes de equipos médicos y cada año se agregan a la anterior cantidad 5.000 productos nuevos [28]. Esta diversidad de tecnologías biomédicas hace cada vez más difícil su incorporación de manera apropiada en el sistema de salud, lo cual dificulta la sostenibilidad de las mismas, sobretodo cuando se cometen errores de planificación estratégica y gestión de tecnologías (mantenimiento, adquisición, metrología, capacitación, etc.).

Finalmente, los nuevos descubrimientos científicos en el campo de la biología y la introducción de las nuevas tecnologías biomédicas son factores que influyen sobre los servicios en el sector de la salud y por tanto, también impactarán el ejercicio profesional del Ingeniero Biomédico. Los aspectos más significativos que se han producido en los últimos diez años son la decodificación del mapa del Genoma Humano, las investigaciones básicas y aplicadas en el campo de las nano-tecnologías [29] y el avance y desarrollo de las Nuevas Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (NTIC) hacia lo que la empresa “International Business Machines” (por sus siglas en Inglés: IBM) ha llamado o definido, como Sistemas Autónomos [30] que prometen contribuir a la aceleración del tránsito de una medicina curativa a una preventiva, tránsito en el cual el Ingeniero Biomédico cuenta con un importante papel [31-32].

4. CONCLUSIÓN

A partir de la información presentada se puede concluir:

A pesar de la oferta de programas activos de Ingeniería Biomédica a nivel nacional, la tasa de graduados es baja con relación a: la población colombiana que va en aumento, el incremento de personas con discapacidad y adultos mayores y el número de graduados de otras ingenierías. Esto genera que el país se encuentre en desventaja para enfrentar las transformaciones de índole regulatorio, demográfico, tecnológico y científico. Por eso, tanto los programas de formación existentes, como los nuevos, deben ser capaces de desarrollar competencias en los estudiantes que vayan encaminadas a enfrentarse a los retos del entorno cambiante en el cual están inmersos.

La caracterización de los programas de pregrado tanto de Ingeniería Biomédica como de Bioingeniería, permite concluir que estos no presentan diferencias significativas en cuanto al número de créditos, el cual tiene un intervalo de variación de 24 créditos; con relación a la duración del programa, todos se encuentran en 10 semestres; la modalidad es presencial en todos los casos; además, la mayoría de las instituciones oferentes son de carácter privado. Se podría pensar que diferencias más significativas estarían dadas por la trayectoria investigativa, la capacidad instalada de laboratorios, tecnología y escenarios de práctica y los modelos pedagógicos de la enseñanza de la Ingeniería Biomédica.

Con relación al contexto en el que se desarrolla la profesión en Colombia, se puede observar que el marco reglamentario en salud, en lo relacionado con Vigilancia de Tecnología Biomédica, genera bases sólidas para el desarrollo de la Ingeniería Biomédica. Por eso, los

Ingenieros Biomédicos deben aumentar su participación en las mesas de discusión sobre las políticas en salud.

Finalmente, se podría concluir que los nuevos avances científicos y tecnológicos hacen que los programas de Ingeniería Biomédica cubran nuevas áreas (además de las ya conocidas: Ingeniería en Rehabilitación y de Tejidos, Ingeniería Clínica, Informática Médica, Bioinformática y Procesamiento Digital de Señales), tales como: Nanotecnología, Robótica, Genómica, Proteómica, Sistemas Microelectromecánicos para el suministro preciso de fluidos a muy pequeñas escalas, Modelado Computacional Multiescala de células, tejidos y proteínas. En ese sentido Colombia estaría en la obligación de generar estrategias para afrontar este tipo de retos que ya son directrices de formación a nivel internacional.

REFERENCIAS

- [1] The Whitaker Foundation, Definition of Biomedical Engineering. Consultado el 16 de Octubre de 2009. Disponible en: <http://www.whitaker.org>.
- [2] ACOFI – ICFES, Nomenclatura de títulos de pregrado en ingeniería en Colombia, Diciembre de 2000.
- [3] Linsenmeier R.A. What Makes a Biomedical Engineer? Defining the Undergraduate Biomedical Engineering Curriculum”. *IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 22,4, 32-38. July/August, 2003.
- [4] National Institute of Health Bioengineering Consortium. Consultado el 15 de Octubre de 2009. Disponible en: <http://www.nibib.nih.gov/HealthEdu/ScienceEdu/BioengDef>
- [5] Nagel J.H., Slaaf D.W., Barbenel J. Medical and Biological Engineering and Science in the European Higher Education Area. *Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE*, 26,3, 18-25, May/June 2007.
- [6] EAMBES (Alianza Europea para las ciencias Biológicas e Ingeniería médica), IFMBE (Federación Internacional para la Ingeniería Médica y Biológica). Unión Europea. Biomedea Project 2005, Criteria for the accreditation of Biomedical Engineering programs in Europe. Consultado el 30 de Septiembre de 2009. Disponible en: <http://www.biomedea.org/Documents/Criteria%20for%20Accreditation%20Biomedea.pdf>
- [7] The Whitaker Foundation. Biomedical Engineering Curriculum Database. Consultado el 6 de Octubre de 2009. Disponible en: <http://bmes.seas.wustl.edu/Whitaker/>.
- [8] ABET (Cuerpo de Acreditación de Ingenierías y Tecnologías de los Estados Unidos). Accredited Programs, Bioengineering and Biomedical Engineering. Consultado el 6 de Octubre de 2009. Disponible en: <http://www.abet.org/papers.shtml>
- [9] The Whitaker Foundation. Supporting research and education in biomedical engineering. Student Enrollments. Consultado el 14 de Diciembre de 2009. Disponible en: <http://bmes.seas.wustl.edu/WhitakerArchives/glance/enrollments.html>.
- [10] Hernández M. La Bioingeniería en Colombia, por el camino de alianzas estratégicas. *Revista Ingeniería Biomédica*, 3,5, 10-14, enero-junio 2009.
- [11] Soto J.M. Ingeniería Biomédica. Historia en Construcción. *Revista Ingeniería Biomédica*, 3,5, 28-30, enero-junio 2009.
- [12] Romero Santiago A. La bioingeniería en el caribe colombiano, historia y evolución. *Revista Ingeniería Biomédica*, 3,5, 22-27, enero-junio 2009.
- [13] Soler López F.A. La bioingeniería y la ingeniería biomédica en Colombia. *Revista Ingeniería Biomédica*, 3,5, 31-32, enero-junio 2009.
- [14] República de Colombia. Ministerio de Educación. Consultado el 14 de Octubre de 2009. Disponible en: <http://www.mineducacion.gov.co/>, octubre del 2007.
- [15] República de Colombia. Ministerio de Educación. Sistema Nacional de Información de Educación Superior SINIES. Consultado el 14 de Octubre de 2009. Disponible en: <http://200.41.9.227:7777/men/sniesBasico/informacionProgramasAcademicos.jsp#>.
- [16] República de Colombia. Ministerio de Educación. Observatorio Laboral. Consultado el 14 de Octubre de 2009. Disponible en: http://www.graduadoscolombia.edu.co:8080/o3portal/viewdesktop.jsp?cmd=open&source=Perfil+Graduados%2FEstudiantes+y+Graduados++Graduados+por+Nivel+de+Formaci%2F3n%23_public
- [17] Beneitone P. Editores. Reflexiones y perspectivas de la educación superior en América Latina. Informe final. *Proyecto Tuning - América Latina 2004-2007*. Universidad de Deusto, Bilbao. 2007. Consultado el 13 de Noviembre de 2009. Disponible en: http://tuning.unideusto.org/tuningal/index.php?option=com_docman&Itemid=191&task=view_category&catid=22&order=dmdate_published&ascdesc=DESC
- [18] OMS (Organización Mundial de la Salud). Finaliza la Asamblea Mundial de la Salud con acuerdos sobre el intercambio de virus gripales y la propiedad intelectual. Consultado el 13 de Noviembre de 2009. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2007/wha02/es/index.html>
- [19] Kohn L.T., Corrigan J.M., Donaldson M.S. Editors. To Err Is Human: Building a Safer Health System. Committee on Quality of Health Care in America. Institute of Medicine National Academy Press. Washington, D.C, 312, 2000.
- [20] Kachieng'a M.O. Development of a health technology policy framework for sustainable health care services in South Africa. *Change Management and the New Industrial Revolution, IEMC '01 Proceedings*, 298-304, 2001.
- [21] República de Colombia. Ministerio de la Protección Social. Decreto Número 4725 de 2005 (Diciembre 26) “por el cual se reglamenta el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización y vigilancia sanitaria de los dispositivos médicos para uso humano”. Consultado el 13 de Noviembre de 2009. Disponible en: <http://www.minproteccionsocial.gov.co/VbeContent/library/documents/DocNewsNo15472DocumentNo2802.PDF>
- [22] República de Colombia. Ministerio de la Protección Social. Resolución Número 1043 de 2006 (del 3 de abril de 2006), “por la cual se establecen las condiciones que deben cumplir los Prestadores de Servicios de Salud para habilitar sus servicios e implementar el componente de auditoría para el mejoramiento de la calidad de la atención y se dictan otras disposiciones”. Consultado el 13 de Noviembre de 2009. Disponible en: http://www.cruzrojacolombiana.org/normatividad/otras_leyes/decreto%201043%20de%202006%20auditoria.pdf
- [23] Otálvaro E. Mesa de Trabajo: Así Vamos en Salud. Medellín 22 de Junio de 2007. Consultado el 1 de Diciembre de 2009. Disponible en: http://www.asivamosensalud.org/descargas/Elkin_Otalvaro.pdf

- [24] El Tiempo.com. Noticias relacionadas con errores médicos. Consultado el 30 de Septiembre de 2008. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/buscar?q=muertes+por+errores+medicos+&producto=eltiempo&x=12&y=13>.
- [25] República de Colombia. INVIMA (Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos. Tecnovigilancia. Consultado el 13 de Noviembre de 2009. Disponible en: <http://www.invima.gov.co/Invima///tecnovigilancia/tecnovigila.jsp?codigo=489>
- [26] República de Colombia. Ministerio de la Protección Social. Política Nacional de Prestación de Servicio de Salud. Consultado el 13 de Noviembre de 2009. Disponible en: <http://www.minproteccionsocial.gov.co/VBeContent/library/documents/DocNewsNo17047DocumentNo6114.PDF>
- [27] WHO. World Health Organization. What is being done to improve the daily lives of people with disabilities? May 2005. Consultado Agosto de 2008. Disponible en: <http://www.who.int/features/qa/16/en/print.html>
- [28] Denis E.R. Manual de Ingeniería Clínica, Monografía, UNEXPO, Puerto Ordaz, Venezuela, 2001. Consultado Agosto de 2008. Disponible en: [http://dali.uao.edu.co:7777/pls/portal/docs/PAGE/UAO/PROG_PRE/FAC_ING/ESP_ELEC_INF_GNRAL/Contenidos/\(INGENIERIA%2520CLINICA%25201\).pdf](http://dali.uao.edu.co:7777/pls/portal/docs/PAGE/UAO/PROG_PRE/FAC_ING/ESP_ELEC_INF_GNRAL/Contenidos/(INGENIERIA%2520CLINICA%25201).pdf)
- [29] Fonash S.J. "Micro and nanotechnology: Impact on Biomedical science and practice", *AAMI Conf.*, Minneapolis, MN, June 1-4. 2002.
- [30] Salehie M., Tahvildari L. Autonomic Computing: IBM perspective on the state of Information Technology, Armonk, NY: International Bussiness Machines, Oct, 2005. Citado por: Grimes S. The future of clinical engineering. The Challenge of change. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*. 22 (2). March-April 2003.91-100.
- [31] IEEE. Engineering in Medicine & Biology. Designing a Career in Biomedical Engineering. IEEE Operations Center, New Jersey, 2003. Disponible en: <http://www.embs.org/docs/careerguide.pdf>.
- [32] Singh H. Conference Report: Bioengineering in the Millennium: National Institute of Health Symposium Bioengineering-Building the Future of Biology and Medicine. *Journal of Medical Engineering & Technology*. 22,6, 243-247, November 1998.