

# **MANUAL DE BIOÉTICA PARA INGENIEROS BIOMÉDICOS**

**MARGARITA MARÍA PINEDA ROMERO**

**DIRECTORA DE TRABAJO DE GRADO:**

**Dra. JUANA MARÍA JARAMILLO GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA**

**FACULTAD DE MEDICINA**

**ESPECIALIZACIÓN EN BIOÉTICA**

**CHÍA, 2010**

## **MANUAL DE BIOÉTICA PARA INGENIEROS BIOMÉDICOS**

**MARGARITA MARÍA PINEDA ROMERO**

**Coinvestigadora: SANDRA MILENA ESPINEL FIGUEREDO**

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA**

**FACULTAD DE MEDICINA**

**ESPECIALIZACIÓN EN BIOÉTICA**

**CHÍA, 2010**

## **TITULO**

**MANUAL DE BIOÉTICA PARA INGENIEROS BIOMÉDICOS**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pá
INTRODUCCIÓN	5
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	6
SUPUESTOS CONCEPTUALES	9
1. CAPÍTULO I FUNDAMENTACIÓN BIOÉTICA	15
1.1 ¿Qué es la Bioética?	15
1.2 Surgimiento de la Bioética	16
1.3 Algunos escritos de los autores que han fundamentado la bioética	19
1.4 Principios de la Bioética	20
1.5 Bioética personalista	22
1.6 Principios de la Bioética Personalista planteados por Monseñor Elio Sgreccia	22
1.7. Principios de la Bioética centrada en la persona. Planteamiento del Doctor Pablo Arango Restrepo	25
2. CAPÍTULO II LA INGENIERÍA BIOMÉDICA: PERFIL, ROLES Y ACTIVIDADES	27
2.1 ¿Qué es la Ingeniería Biomédica?	27
2.2 Historia de la Ingeniería Biomédica	27
2.3 Perfil del Ingeniero Biomédico	29
2.4 Campos de Acción	33
2.5 Dilemas éticos en la aplicación de la Ingeniería Biomédica	34
CAPÍTULO III MANUAL DE BIOÉTICA PARA INGENIEROS	36
1. PRESENTACIÓN	38
2. OBJETIVOS	40
3. PERFIL Y FUNCIONES DEL INGENIERO BIOMÉDICO	41
3.1 PERFIL DEL INGENIERO BIOMÉDICO	41
3.2 FUNCIONES DEL INGENIERO BIOMÉDICO	41
4. FUNDAMENTACIÓN BIOÉTICA DE LAS ACTIVIDADES PROPIAS DE LA INGENIERÍA BIOMÉDICA	45
5. CONCLUSIONES	57
6. BIBLIOGRAFÍA	60

## INTRODUCCIÓN

Sin lugar a dudas la Bioética en nuestros días tiene una vital importancia en todos los ámbitos y roles en los que la vida, de alguna manera, se encuentra sujeta a las decisiones del personal de salud y de las personas que hacen parte de la comunidad a la que pertenecen. De ahí que, el Manual de Bioética para Ingenieros Biomédicos presente los principios básicos de la Bioética y de la Ingeniería Biomédica, para al final entregar un Manual que le sirva al ingeniero biomédico para orientar su labor como profesional.

El trabajo de investigación **MANUAL DE BIOÉTICA PARA INGENIEROS BIOMÉDICOS** intenta servir de puente entre la teoría de la Bioética y la práctica de la Ingeniería Biomédica ya que en el mundo actual se hace necesario tener claros los principios fundamentales de una práctica ética en el ejercicio de la Ingeniería Biomédica como rama del saber que se interesa por la aplicación de los principios y técnicas de la ingeniería al campo de la medicina.

Este trabajo de investigación se va a desarrollar en tres capítulos, el primero tratará los principios de la Bioética centrados en la persona, por considerar que los principios de la Bioética Anglosajona tienen más un carácter asistencial y desconocen una realidad más trascendente que tiene que ver con el ser humano entendido como persona.

En el segundo capítulo intentaremos acercarnos a la Ingeniería Biomédica, su historia, alcances y perfil del Ingeniero Biomédico con el fin de razonar sobre su importancia para la ciencia médica y por lo tanto como apoyo en el tratamiento de enfermedades que pueden ser aliviadas gracias al apoyo de los conocimientos propios de la Ingeniería.

El tercer capítulo se constituye en el Manual de Bioética para Ingenieros Biomédicos identificando los principios que deben sustentar las actividades del Ingeniero Biomédico.

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

## **Pregunta de Investigación**

¿Es necesaria una guía o manual de Bioética para ingenieros biomédicos?

Este interrogante reclama de la comunidad académica el desarrollo del mismo, para enriquecer y fortalecer el ejercicio de la ingeniería biomédica de modo que se respete la dignidad y la vida de las personas, que, en últimas, son la razón de ser del ingeniero biomédico.

### **Subpregunta de Investigación**

¿El ingeniero biomédico conoce su responsabilidad ético moral frente a su trabajo con los equipos médicos y frente al paciente que los requiere?

### **Descripción y delimitación del problema**

Este trabajo tiene como finalidad la construcción de un Manual de Bioética para Ingenieros Biomédicos. Sabemos que el ingeniero biomédico tiene funciones específicas y especiales dentro de las instituciones hospitalarias y su responsabilidad principal es mejorar la calidad de vida de las personas y dentro del ámbito de la formación integral del ingeniero es fundamental que reconozca su función como persona prestadora de servicio y por ende; más allá de arreglar, crear, repotenciar e innovar un equipo, tiene también una responsabilidad social encaminada a proteger y a ayudar a los pacientes.

Es por esto que el trabajo de investigación describe las responsabilidades del ingeniero biomédico y elabora una propuesta reflexiva desde la Bioética, consolidada en el Manual de Bioética para Ingenieros Biomédicos, en el cual busca plantear los principios básicos de la bioética centrada en la persona, para que así el ingeniero biomédico reconozca y tenga claros los alcances de su profesión, no sólo en relación con los equipos médicos sobre los cuales trabaja, sino con respecto a lo más importante de su profesión que es la vida de los pacientes, sus familias, las instituciones para las cuáles trabaja y, en general, para la sociedad.

## **Justificación**

Hasta el momento no hay documentos previos sobre manuales de bioética para ingenieros biomédicos. El más cercano es el Manual de Bioética de Monseñor Elio Sgreccia que ha tenido gran acogida a nivel mundial por sus grandes aportes sobre la bioética y su relación con la biomédica.

Con el Manual de Bioética para Ingenieros Biomédicos, se busca hacer un acercamiento entre las responsabilidades propias del ingeniero biomédico y la Bioética, para especificar y aclarar la relación entre el campo de la biomédica y la Bioética.

El Manual de Bioética para ingenieros biomédicos busca que así como existen protocolos para desarrollar el trabajo ingenieril dentro de la biomédica, se logre consolidar una propuesta de manual enmarcado en los principios fundamentales de la bioética, ya que hasta el momento no se cuenta con material suficiente sobre este tema de gran importancia para la sociedad actual, en la que los avances tecnológicos deben servir para el mejoramiento de las condiciones de vida de todas las personas, pero que muchas veces por desconocimiento o ingenuidad se actúa sin tenerlos en cuenta.

## **Objetivos**

### **General**

Elaboración del Manual de Bioética para Ingenieros Biomédicos

### **Específicos**

1. Describir los principios fundamentales de la bioética
2. Describir el perfil del ingeniero biomédico y su responsabilidad social
3. Correlacionar los principios bioéticos con el perfil del ingeniero biomédico para establecer la pertinencia de los mismos en este campo del conocimiento y de la técnica
4. Construir el Manual de bioética para ingenieros biomédicos

## **Metodología**

### **Metodología Descriptiva**

El proyecto de grado ***ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE BIOÉTICA PARA INGENIEROS BIOMÉDICOS***, se enmarca en la metodología descriptiva en cuanto a que “su propósito es dar un panorama lo más preciso posible del fenómeno a que hace referencia.”(1) Es importante destacar que los estudios descriptivos pueden tratar los temas de una manera general o detallada, respondiendo a los intereses y necesidades del investigador, sin embargo es necesario aclarar que ellos “se centran en medir con la mayor precisión posible”(1) el fenómeno estudiado, respondiendo así a una característica propia de los estudios descriptivos que consiste en que “requiere considerable conocimiento del área que se investiga para formular las preguntas específicas que busca responder.”(1)

### **Tipo de Investigación**

El tipo de investigación que se realizará es descriptivo - cualitativo.

### **Fuentes para la obtención de Información**

#### **Fuentes Primarias**

Se utilizaran fuentes primarias directas como son: Libros, artículos de periódico, artículos científicos, trabajos de grado, documentos oficiales y publicaciones periódicas que nos proporcionan información de primera mano. También es de gran utilidad la entrevista abierta a Ingenieros biomédicos, bioeticistas, personal de la salud, administradores de instituciones hospitalarias que han estado en contacto directo con la problemática estudiada y que de una manera global pueden darnos luces para la comprensión de la temática.

## **SUPUESTOS CONCEPTUALES**

## **La Ingeniería Biomédica**

La ingeniería biomédica es la disciplina que aplica los principios de la ingeniería en el campo de la medicina. "Se dedica fundamentalmente al diseño y construcción de productos sanitarios y tecnologías sanitarias tales como equipos médicos, prótesis, dispositivos médicos, dispositivos de diagnóstico (imagenología médica) y de terapia. También interviene en la gestión o administración de los recursos técnicos ligados a un sistema de hospitales. Combina la experiencia de la ingeniería con necesidades médicas para obtener beneficios en el cuidado de la salud. El cultivo de tejidos suele ser considerada parte de la bioingeniería y en ocasiones la producción de determinados fármacos"(2), sin embargo es necesario diferenciar a la ingeniería biomédica de la bioingeniería y de la ingeniería en biología o ingeniería biológica. La bioingeniería es una disciplina que integra las ciencias de la física, química, matemáticas y la computación con principios de ingeniería para estudiar la biología, medicina, comportamiento y salud. Por su parte la ingeniería en biología o la ingeniería biológica es la biología basada en la disciplina ingenieril que integra las ciencias de la vida con la ingeniería en los avances y aplicación de los conceptos fundamentales de sistemas biológicos desde niveles moleculares de ecosistemas.

El Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos (IEEE) define la ingeniería biomédica como una disciplina que tiene avances y conocimiento en ingeniería, biología y medicina y que busca mejorar la salud humana a través de las actividades interdisciplinarias que integran las ciencias ingenieriles con las ciencias biomédicas y la práctica clínica.

Recorriendo la historia, encontramos que "hay autores que indican que existe la ingeniería biomédica desde que se aplicaron remedios a problemas particulares del individuo como una prótesis del dedo gordo del pie que fue descubierta en una tumba egipcia con una antigüedad de más de 3000 años. Otros autores mencionan a los dibujos anatómicos de Leonardo Da Vinci y sus aproximaciones a brazos de palanca, o los trabajos de Luigi Galvani y de Lord Kelvin sobre la conducción eléctrica en los seres vivos. No obstante, el

desarrollo de la instrumentación eléctrica y electrónica produjo una explosión de resultados y se puede considerar como uno de los orígenes más cercanos de la ingeniería biomédica. Esto se da principalmente entre los años de 1890 y 1930. Ejemplos de esto son los diseños para el registro de señales electrofisiológicas, comenzando por los registros de A.D. Waller en corazones de humanos (1887), el refinamiento de la técnica por parte de W. Einthoven al desarrollar un galvanómetro de cuerda (1901) y la aplicación de este al registro de señales electroencefalográficas en humanos por Berger (1924). La instrumentación electrónica a partir de tubos de vacío se empleó por E. Lovett Garceau para amplificar estas señales eléctricas y el primer sistema de electroencefalógrafo comercial de tres canales fue construido por Alfred Grass en 1935. Otro ejemplo es el desarrollo de la instrumentación en imagenología. Desde el descubrimiento de los rayos-X por Röentgen en 1895 hasta su primera aplicación en biomedicina pasó una semana. Desde 1896, Siemens y General Electric ya vendían estos sistemas. En la actualidad, los nuevos desarrollos en imagenología han tomado mucho más tiempo en lograr su aplicación clínica. El principio de resonancia magnética se descubrió en 1946, pero no fue sino hasta 30 años después, que se pudo desarrollar un sistema para uso en humanos."(3)

El recorrido por la historia del desarrollo de la ingeniería biomédica nos muestra que el hombre siempre ha estado inquieto por el conocimiento no sólo del cuerpo humano, sino también de herramientas que mejoren y solucionen problemas de tipo cotidiano y que tienen que ver con la salud. Es así como fomenta día a día el conocimiento y la aplicación de dichas herramientas y que muchas veces le ha costado su propia salud y la de las personas con las que han compartido sus experiencias, ya que es muy difícil en su empeño investigativo prever las consecuencias de sus investigaciones. Por citar algunos casos tenemos el de caso de Anna de Röentgen, quién además de ser una mujer ejemplar y colaborativa con el trabajo de investigación de su esposo, también fue la primer persona de quién se obtuvo una imagen radiográfica. En las placas radiográficas se pueden observar los huesos de su mano derecha en la que se distingue su anillo de compromiso flotando sobre los huesos. Anna 14 años más tarde muere y queda la pregunta si la exposición por más de 15

minutos a los rayos X tuvo que ver algo con su muerte. Lo mismo sucede con la muerte de Röentgen quién falleció a causa de un cáncer de recto, cuatro años después de la muerte de su esposa.

Esto no quiere decir que no se deba hacer investigación, lo que se plantea es la necesidad de cada día hacer más seguras las prácticas investigativas, preservando en todo sentido la salud tanto de los investigadores como la de los pacientes que hacen parte de la investigación. Es ahí donde cobra vida la conciencia bioética del investigador.

### **Áreas de desempeño de la ingeniería biomédica**

La ingeniería biomédica se reconoce como multidisciplinaria ya que muchas ramas del saber influencian los campos de estudio y son fuentes de información. Algunas de las ramas del saber que hacen parte de ésta disciplina son(3):

- Biomagnetismo y técnicas cerebrales, por las cuales se estudia el fenómeno en la producción de campos magnéticos por seres vivos. Entre los ejemplos de estos fenómenos se incluyen los potenciales eléctricos de las membranas celulares y las corrientes eléctricas que fluyen en los nervios y en los músculos a causa de su potencial eléctrico.
- Creación de imágenes y óptica biomédicas, en las que destacan los equipos para diagnóstico a través de imagenología, entre los cuales encontramos la Ecografía, los Rayos X, la Tomografía Axial Computarizada y la Resonancia Magnética Nuclear entre otros.
- Biomateriales, los cuales son farmacológicamente inertes que se utilizan para ser implantados dentro de un sistema vivo y que buscan reemplazar o restaurar alguna función y que están en contacto permanente con fluidos corporales.
- Biomecánica y biotransporte, tienen por objeto el estudio de las estructuras mecánicas que existen en los seres vivos, fundamentalmente en el cuerpo humano.
- Instrumentación médica, que se encarga de la construcción de los dispositivos médicos utilizados ya sean invasivos, mínimamente invasivos o de control y monitoreo.

- Ingeniería molecular y celular, de las cuales hace parte la nanotecnología que se dedica al control y la manipulación de la materia a nivel atómico y molecular.
- Biología de sistemas, que se encarga de la investigación en los procesos biológicos representados a través de sistemas matemáticos.

## **La Bioética**

Todas las actuaciones en las que esté de por medio la vida, son actuaciones en las que la bioética está presente. A veces sin darnos cuenta, perdemos de vista la importancia de lo fundamental y es allí donde es preciso hacer algunas reflexiones que no son nuevas, pero que por el avance tecnológico y científico de la sociedad son necesarias, ya que se han ido dejando de lado los valores de la persona y ha primado lo científico- tecnológico y lo económico por encima de los valores naturales y fundamentales de la vida. Es ahí donde cobra vida el tema del presente capítulo, para adentrarnos en el concepto de la bioética y sus fundamentos.

Hasta 1970 “nadie hablaba de bioética, ni siquiera existía el término en lengua alguna. Por esto no sorprende que no exista una definición compartida de bioética y que existan muchas discusiones sobre su estatuto epistemológico. Incluso la historia de sus orígenes, a pesar de hallarse tan cercana a nosotros, es compleja y discutida en muchos de sus detalles.”(4)

María Dolores Espejo y Aurelio Castilla, plantean que la bioética “se debe ocupar de unir la ética y la biología, los valores éticos y los hechos biológicos teniendo como tarea enseñar cómo utilizar el conocimiento en el campo científico – biológico.”(5), Para Niceto Blazquez y Luis Miguel Pastor García el concepto avanza hacia “que la bioética debe ser concebida como aquella parte de la ética o filosofía moral que estudia la licitud o no licitud de las intervenciones sobre la vida del hombre, particularmente de aquellas relacionadas con la práctica y el desarrollo de las ciencias médicas y biológicas”(6), ampliando su discusión que empieza a ser objeto de estudio y discusión de las ciencias biológicas, médicas y jurídicas, con lo que se demuestra que la sociedad requiere encontrar los principios y lineamientos que le permitan a la sociedad reflexionar sobre la vida, las condiciones en que se

desarrolla, el cuidado por parte de los profesionales comprometidos con ella, la aplicación de la tecnología para su cuidado y su trascendencia, siendo ésta última la que rige en primera instancia toda la reflexiones anteriores.

Es importante reconocer que para entender la importancia de la bioética, tenemos que referirnos a los “antecedentes cercanos, es decir, a un terreno favorable para su surgimiento”(4) como son los problemas sobre la investigación con seres humanos, la eutanasia, el aborto, la eugenesia, la ingeniería genética, el cambio de sexo y otros más que en la actualidad ponen de manifiesto en la sociedad, su necesario y dedicado estudio para entenderlos mejor. Y para que, cuando ellos se presenten ante la sociedad en general por parte de sus estudiosos se planteen de manera clara y argumentada.

Son predecesores de Potter, el “sacerdote, profesor de ciencias naturales, Giuseppe Antonelli, que en 1891 publicó, en dos grandes volúmenes, la obra *Medicina pastoralis in usum confessariorum*”(4) y el Papa Pio XII, quien estudió y planteó en sus discursos problemas que, a la postre, fueron estudio de la bioética, e hizo grandes aportes en este campo.

Por último se puede afirmar que es en Estados Unidos donde nace la bioética en la década de los sesenta, esto como consecuencia de “la divulgación de abusos cometidos en la experimentación con seres humanos y en otros ámbitos de investigaciones biomédicas que suscitó discusiones vivaces en la opinión pública y en el mundo científico, con significativas repercusiones también a nivel político.”(4)

Para el año de 1970 aparece por primera vez el término Bioética publicado en un artículo del oncólogo Van Rensselaer Potter. *The science of survival* que tuvo gran acogida ya que el planteaba que el avance tecnocientífico sin límites podía provocar la supervivencia del hombre sobre la tierra, ya que la experimentación con seres vivos sin ningún control ni respeto terminaría acabando con la humanidad, pues ella mostraba una dicotomía entre la cultura científica y la humanístico – moral, porque según él esta dicotomía dañaba el ecosistema y que por lo tanto la bioética tenía por objeto enseñar a usar el conocimiento en el campo científico biológico, amparado en los principios éticos.

Para todos es cierto que muchos de los avances científicos han tenido repercusiones positivas para el hombre en todos los campos y que han permitido el progreso y el bienestar, pero también es cierto que muchos de esos avances y sin temor a ser fatalistas, han generado devastación y daño no sólo para el hombre, sino como el mismo Potter lo planteaba para el ecosistema.

### **Ética centrada en la Persona**

“Los criterios morales hay que buscarlos en la naturaleza moral del hombre.”(4)

Ya que el hombre para lograr su plena realización necesita un conjunto de valores que son los que lo impulsan para el desarrollo de sus proyectos personales, académicos y sociales. Desde las concepciones materialista o inmaterialista del hombre, se coincide en entender al hombre como un ser para el que sus acciones y elecciones tienen que ver mucho con su realización como persona. Es por esto que atendiendo a esta concepción como soporte teórico que se propone el presente Manual de Bioética para Ingenieros Biomédicos, fundamentado en una antropología realista y por lo tanto en una ética realista.

## CAPÍTULO I

### 1. FUNDAMENTACIÓN BIOÉTICA

Todas las actuaciones en las que esté de por medio la vida, son actuaciones en las que la bioética está presente. A veces sin darnos cuenta, perdemos de vista la importancia de lo fundamental y es allí donde es preciso hacer algunas reflexiones que no son nuevas, pero que por el avance tecnológico y científico de la sociedad son necesarias, ya que se han ido dejando de lado los valores de la persona y ha primado lo científico- tecnológico y lo económico por encima de los valores naturales y fundamentales de la vida. Es ahí donde cobra vida el tema del presente capítulo, para adentrarnos en el concepto de la bioética y sus fundamentos.

#### 1.1 ¿Qué es la Bioética?

Hasta 1970 “nadie hablaba de bioética, ni siquiera existía el término en lengua alguna. Por esto no sorprende que no exista una definición compartida de bioética y que existan muchas discusiones sobre su estatuto epistemológico. Incluso la historia de sus orígenes, a pesar de hallarse tan cercana a nosotros, es compleja y discutida en muchos de sus detalles.”(4)

María Dolores Espejo y Aurelio Castilla, plantean que la bioética “se debe ocupar de unir la ética y la biología, los valores éticos y los hechos biológicos teniendo como tarea enseñar cómo utilizar el conocimiento en el campo científico – biológico.”(5), Para Niceto Blazquez y Luis Miguel Pastor García el concepto avanza hacia “que la bioética debe ser concebida como aquella parte de la ética o filosofía moral que estudia la licitud o no licitud de las intervenciones sobre la vida del hombre, particularmente de aquellas relacionadas con la práctica y el desarrollo de las ciencias médicas y biológicas.”(6) Rodrigo Guerra López, en su artículo *“Por una bioética sin adjetivos”* hace un planteamiento mucho más amplio de la bioética en el sentido que plantea que la bioética incluye diversos tipos de conocimiento de manera sincrónica y que a la vez está influida por los postulados y paradigmas propios de las diversas disciplinas involucradas, con lo que la bioética se presenta como “la oportunidad para apreciar la necesidad de una nueva y más

completa *interdisciplina* que permita ofrecer con gran rigor un saber racional y razonable sobre la libertad humana desafiada por las exigencias éticas de los organismos vivos –en todas sus formas-, del desarrollo de biotecnología y del medio ambiente”, con lo que la bioética empieza a ser objeto de estudio y discusión de las ciencias: filosofía, antropología, biología, medicina y derecho, con lo que se demuestra que la sociedad requiere encontrar los principios y lineamientos que le permitan a la sociedad reflexionar sobre la vida, las condiciones en que se desarrolla, el cuidado de la misma por parte de los profesionales comprometidos con ella, la aplicación de la tecnología para su cuidado y su trascendencia, siendo ésta última la que rige en primera instancia todas la reflexiones anteriores.

## **1.2 Surgimiento de la Bioética**

Es importante reconocer que para entender la importancia de la bioética, tenemos que referirnos a los “antecedentes cercanos, es decir, a un terreno favorable para su surgimiento”(4) como son los problemas sobre la investigación con seres humanos, la eutanasia, el aborto, la eugenésia, la ingeniería genética, el cambio de sexo y otros más que en la actualidad ponen de manifiesto en la sociedad, su necesario y dedicado estudio para entenderlos mejor. Y para que, cuando ellos se presenten ante la sociedad en general por parte de sus estudiosos se planteen de manera clara y argumentada.

Algunos piensan que estos problemas son actuales, pero es necesario recordar que “existen antecedentes remotos o raíces lejanas y profundas. Problemas morales sobre la vida, la salud, la medicina eran objeto de estudio serio y sistemático desde hace tiempo”(4); lo que pasa es que no existía el mismo acceso a la educación por parte de toda la sociedad, ni se contaba con las redes de comunicación que tenemos hoy en día. Además de que “en el mundo occidental, un estudio de ese tipo era terreno casi exclusivo de la teología moral de la Iglesia Católica; mientras que algunos aspectos, de los problemas sobre la vida y la salud humana, afines a los morales, eran objeto también de otras disciplinas, como la deontología médica y la medicina legal.(4)

A finales del siglo XIX, se hace el primer acercamiento a la Bioética, el innovador fue Giuseppe Antonelli, sacerdote y profesor de ciencias naturales

quien en 1891 publicó en dos volúmenes el libro: “*Medicina pastoralis in usum confessariorum*”. En tiempos más cercanos aparece la denominación de Ética Médica, que se trata del estudio exclusivo de los problemas en los que se involucra la vida y/o la salud y en los que interviene el personal médico. Otro de los grandes aportes sobre el tema lo hace Pio XII, quien estudió y planteó en sus discursos problemas que requerían el estudio de la bioética y que fueron tratados ampliamente, dirigidos a auditorios cualificados como Congresos y organismos científicos. Estos documentos son tan relevantes que ningún investigador niega ver en ellos la prehistoria de la bioética.(4)

Se puede afirmar que es en Estados Unidos donde nace la bioética en la década de los sesenta, esto como consecuencia de “la divulgación de abusos cometidos en la experimentación con seres humanos y en otros ámbitos de investigaciones biomédicas suscito discusiones vivaces en la opinión pública y en el mundo científico, con significativas repercusiones también a nivel político... de este modo en 1967, se produjo en el terreno académico la fundación del primer departamento de Ciencias humanas para estudiantes de medicina en el campus de Pennsylvania y, por parte del gobierno USA, la constitución de un Comité para el control de la experimentación sobre sujetos humanos, mientras que en los ambientes del Congreso se percibía un interés creciente por los *Valores Humanos en la Medicina*.”(4)

Es así como en 1970 aparece el término Bioética publicado en un artículo del oncólogo Van Rensselaer Potter. *The science of survival* que tuvo gran acogida ya que el planteaba que el avance tecnocientífico sin límites podía provocar la supervivencia del hombre sobre la tierra, ya que la experimentación con seres vivos sin ningún control ni respeto terminaría acabando con la humanidad, pues ella mostraba una dicotomía entre la cultura científica y la humanístico – moral, porque según él esta dicotomía dañaba el ecosistema y que por lo tanto la bioética tenía por objeto enseñar a usar el conocimiento en el campo científico biológico, amparado en los principios éticos.

Se puede decir que Potter presentaba una visión futurista del uso de la tecnología sobre los seres vivos. “En otras palabras la ética no debe referir únicamente al hombre, sino que debe entender su consideración al conjunto de

la biosfera o mejor dicho, a cualquier intervención científica del hombre sobre la vida en general... Porque no basta con el <<instinto>> de supervivencia: hay que elaborar una <<ciencia>> de la supervivencia, que el autor identifica con la Bioética. Por encima de la valoración de la propuesta específica de Potter en el plano teórico – el autor critica la concepción biológica mecanicista – reduccionista de la bioquímica y de la biología molecular, defendiendo más bien una visión <<holística>> que interpreta en sentido organicista la manifestación de la vida en sus diversas formas, dentro de una visión naturalista que rechaza cualquier concepto de creación -, es interesante subrayar el núcleo conceptual en que fundamenta el nacimiento de la Bioética: la necesidad de que la ciencia biológica se plantea preguntas éticas, de que el hombre se interroga sobre la relevancia moral de su intervención sobre la vida. Se trata de superar la tendencia pragmática del mundo moderno que aplica inmediatamente el saber sin una mediación racional, y mucho menos moral.”(7)

Para todos es cierto que muchos de los avances científicos han tenido repercusiones positivas para el hombre en todos los campos y que han permitido el progreso y el bienestar, pero también es cierto que muchos de esos avances y sin temor a ser fatalistas, han generado devastación y daño no sólo para el hombre, sino como el mismo Potter lo planteaba para el ecosistema, son ejemplo claro de ello, los fenómenos climáticos, el uso de armas nucleares y biológicas para la guerra, muchos de los fertilizantes y fungicidas que tienen efectos colaterales en la salud de quienes los usan y de quienes los consumen, esto sin contar con los cultivos transgénicos y lo peor aún, los avances científico tecnológicos que tienen que ver con la manipulación de los seres vivos como son la fecundación in vitro, la ingeniería genética, y otros que como lo demuestra “el informe Belmont en el que se señala por primera vez los principios bioéticos y en cuyo origen se encuentran los abusos cometidos en la investigación con seres humanos en el desarrollo de las nuevas tecnologías aplicadas en medicina.”(5)

### 1.3 Algunos escritos de los autores que han fundamentado la bioética

**Van Rensselaer Potter,**

- Bioethics: The science of survival" (Bioética: La ciencia de la supervivencia)
- Bioethics: Bridge to the Future (La bioética: Un puente hacia el futuro)

**Daniel Callahan**, es quién ha planteado a la sociedad norteamericana los dilemas en cuanto a la relación del derecho con la bioética

- What Price mental health? : The ethics and politics of setting priorities
- Settings limits: medical goals in an aging society
- What kind of life: limits of medical progress
- A world growing old: the coming health care challenges. Daniel Callahan, Ruud H.J. Meulen y Eva Topinkova

**Beauchamp Y J Childress**, hicieron parte de la comisión que publicó el Informe Belmont, y definieron los cuatro principios de la bioética norteamericana (o principalista): autonomía, no maleficencia, beneficencia y justicia. Beauchamp considera que los principios deben ser especificados para aplicarlos a los análisis de los casos concretos, o sea, deben ser discutidos y determinados por el caso concreto a nivel casuístico.

- Principles of biomedical ethics

**Edmund. D. Pellegrino**, es profesor emérito de Medicina y Ética Médica y Profesor Adjunto de Filosofía en la Universidad de Georgetown. Es el director del Consejo de Bioética del presidente de los Estados Unidos. Es miembro del American College of Physicians, de la American Association for the Advancement of Science, del Instituto de Medicina de la National Academy of Sciences, de la Pontificia Academia para la Vida; tiene más de cuarenta doctorados *honoris causa*, y recibió el Premio Benjamin Rush de la American Medical Association, y el Premio Abraham Flexner de la Association of American Medical Colleges.

- The virtues in medical practice

**Lino Ciccone,**

- Bioética: historia, principios, cuestiones

**Mons. Elio Sgreccia,**

- Manuale di bioética (Manual de Bioética)
- Los desafíos de la bioética hoy

#### **1.4 Principios de la Bioética**

Si bien es cierto que a lo largo de la historia de la Bioética, ha tenido resonancia y ha trascendido el contenido del Reporte Belmont, en el que se plantearon tres principios bioéticos fundamentales (Autonomía, Beneficencia y Justicia); el rápido desarrollo de la tecnología y de la ciencia médica, impulsado en gran medida ante la necesidad de encontrar y desarrollar herramientas para el cuidado, la prevención y el tratamiento de muchas enfermedades, ha generado diversos modelos éticos con principios jerarquizados de diferente manera con el fin de ayudar a la resolución de problemas contemporáneos, que son de los que se ocupa la Bioética. Para el caso de este trabajo, expondré los cuatro principios norteamericanos, dada su importancia histórica, pero me adentraré en aquellos fundamentados en una ética centrada en la persona, ya que considero que ella incluye la palabra persona y dignidad de la persona. “Porque la bioética es un saber práctico - normativo que con una metodología interdisciplinar busca dar respuestas no al hombre en general sino a las personas reales en particular, el ‘ser humano en general’ no existe. Quienes existen son las personas. Ser persona es afirmar que un ser humano *existe* en concreto. Ser persona es una palabra que reconoce el *ser* antes que el *hacer*, el *ser* concreto antes que el *abstracto*, el *ser* presupuesto en toda *función* antes que la *función*.(8)

Recordemos entonces que es en Estados Unidos de América, donde nuevamente se empieza a trabajar en la formulación de los principios de la Bioética. “El principal estímulo procede del desconcertante descubrimiento de investigaciones clínicas con personas que desconocían que estaban siendo utilizadas como conejillos de indias”(4), es así como se constituye en 1974 la National Commission for the protection of Human Subjects of Biomedical an

Behavioral Research y de esta Comisión surgen 3 principios que se relacionan en el Reporte Belmont. Tales principios son: Autonomía, Beneficencia y Justicia.

Principio de Autonomía o Respeto de la autonomía del paciente “o de respeto de la persona: en sustancia se trata de la exigencia de asegurar el efectivo respeto de la voluntad de participar o no en investigaciones clínicas experimentales. Para su puesta en marcha, en el informe se dan directivas para obtener un ‘consenso informado’.”(4)

Principio de Beneficencia “este principio se expresa en dos reglas complementarias: no producir daños, maximizar las ventajas y minimizar los riesgos”(4).

Principio de Justicia “indica el criterio según el cual se deben repartir riesgos y beneficios con imparcialidad”(4)

Al año siguiente del Reporte Belmont, Beauchamp y Childress adicionan el principio de ausencia de daño, “este principio “expresa la obligación de no producir daño intencionadamente. En la ética médica se ha asociado estrechamente al dicho *primum non nuocere* “sobre todo [o antes de nada] no hacer daño.”(4) Este principio presenta en la actualidad implicaciones nuevas que son objeto de discusión.

Estos principios hacen parte de lo que se denomina “principalismo” que es la ética propuesta por la Comisión que redactó el informe Belmont y en la que Beauchamp T.L y Childress J.F, participaron. En su libro *Principles of Biomedical ethics*, fundamentan un “paradigma” ético como referencia práctico –conceptual, dirigida a los profesionales de la salud con el fin orientarlos en situaciones concretas. Es importante aclarar que ellos fundamentan su propuesta en el utilitarismo y la deontología. Y aunque dicho paradigma ético ha tenido gran difusión y acogida, se evidencia que “la formulación de los principios sin una fundamentación ontológica antropológica hace que éstos se vuelvan estériles y confusos.”(7)

De ahí que el modelo ético centrado en la persona nos presente, no solamente un cambio de lenguaje sobre el tema, sino que nos acerca a la fundamentación

de los valores ya que “el modelo ético personalista admite y considera la existencia de los valores, pero los considera fundados en la realidad metafísica: un valor no puede ser tal sin un contenido real y sin una capacidad perceptivo – valorativa inscrita en la persona; frente a la persona, que intuye y evalúa, la realidad se configura como valor cuando adopta el carácter de “bondad”, de correspondencia con el ser y con la vida de las personas.”(7) La fundamentación de los valores éticos implica el uso de la inteligencia y la reflexión, como fundamentales ya que ellas establecen y ordenan su aplicación en el plano real y racional.

Monseñor Elio Sgreccia, con estas reflexiones, nos presenta los principios de la bioética personalista que, como ya se dijo, son el centro y guía del presente trabajo.

### **1.5 Bioética personalista**

“Esta corriente básicamente busca evitar los excesos del utilitarismo y conciliar objetividad y subjetividad en una ética de los valores a través de la razón. Se trata de dar importancia al sujeto, a la persona, no en oposición pero sí en preeminencia frente a una ley objetiva que se impondría desde fuera. A esta corriente se debe la importancia que se da desde hace algunos años a los derechos fundamentales de la persona, con un interés manifiesto por las declaraciones de derechos, incluidos los de los enfermos, y la insistencia en unos determinados principios bioéticos. Estos principios son, en breve resumen, una concepción personalista de la corporeidad humana, el valor fundamental de la vida física, el principio de totalidad o terapéutico, el de la libertad y responsabilidad, y el principio de socialidad o subsidiariedad.”(9)

### **1.6 Principios de la Bioética Personalista planteados por Monseñor Elio Sgreccia**

#### **1.6.1 El principio de Defensa de la vida**

El Principio de Defensa de la vida física “la vida corporal, física, del hombre no representa algo extrínseco a la persona, sino que representa el *valor fundamental* de la persona misma. Decimos “valor fundamental”, porque se

debe entender que la vida corporal no agota toda la riqueza de la persona, la cual es también, y ante todo, espíritu, y por esto trasciende como tal al cuerpo mismo y a la temporalidad. Sin embargo, respecto a la persona el cuerpo es coesencial, es su encarnación primera, el *fundamento único* en el cual y por medio del cual la persona se realiza y entra en el tiempo y en el espacio, se expresa y se manifiesta, construye y expresa los otros valores, incluida la libertad, la sociabilidad e incluso también su propio proyecto futuro.”(7)

### **1.6.2 El principio de Libertad y Responsabilidad**

Para entender más claramente este principio es necesario hacer referencia al concepto de acto ético, en el cual la libertad y la responsabilidad son su fundamento. Es así como “la primera observación que se ha de hacer en este aspecto de la bioética es que, antes que el derecho a la libertad, está el derecho a la defensa de la vida; en otras palabras, la libertad debe hacerse a cargo responsablemente ante todo de la vida propia y de la ajena. Esta afirmación se justifica por el hecho de que, para ser libres, se requiere estar vivos, y por esto la vida es la condición indispensable para que todos y cada uno de nosotros podamos ejercer la libertad... Por obvia que parezca, esta afirmación presenta hoy en día muchos problemas en el campo de la ética médica, por ejemplo, a propósito del llamado “derecho a la eutanasia”: en nombre de la libertad de elección, no se tiene derecho a decidir la supresión de una vida. Otra aplicación se puede hacer también en el campo de los cuidados obligatorios para los enfermos mentales o ante el rechazo de alguna terapia por motivos religiosos.”(7)

### **1.6.3 El principio de Totalidad o Principio Terapéutico**

“Es uno de los principios básicos que caracterizan la ética médica. Se funda en el hecho que la corporeidad humana es un todo unitario resultante de partes distintas, unificadas entre sí orgánica y jerárquicamente por la existencia única y personal.”(7)

Este principio en la práctica tiene bastantes implicaciones que van desde una intervención sobre una parte enferma con el fin de salvar la parte sana,

entendiendo así que lo que está en juego no es la vida sino la integridad física, y por lo tanto se debe tratar de asegurar que existe una proporción alta de éxito de dicho procedimiento y se debe contar con la autorización del paciente para proceder. Sin embargo dentro de éste mismo principio es necesario analizar otras intervenciones quirúrgicas como la esterilización terapéutica, el trasplante de órganos o la genoterapia, sin dejar de lado la esterilización anticonceptiva, la fecundación in vitro y el aborto terapéutico.

“Este principio, es leído por algunos en sentido organicista: se puede lesionar una parte del organismo sólo si esto ayuda al mismo organismo entendido físicamente. Otros lo interpretan de una manera extensiva, entendiendo por totalidad el bienestar psicológico o psicosocial, prescindiendo del organismo físico y de su recomposición armónica con el bien espiritual. Otros, finalmente, y nos parece que son los que mejor lo interpretan, incluyen en la totalidad a la totalidad física, espiritual y moral de la persona, y por tanto, en una totalidad personalista, n la que sin embargo se ha de respetar igualmente al organismo físico. El cuerpo, por consiguiente, no es entendido en sentido exclusivo (sin reparar en el resto), sino en sentido asertivo y unitario, esto es, considerando el bien corporal dentro del conjunto del bien espiritual y moral de la persona.”(7)

#### **1.6.4 El Principio de Sociabilidad y Subsidiariedad**

Cada día cobra fuerza en la sociedad la necesidad de socializar la medicina, es por esto que se habla del principio de sociabilidad, entendiéndolo como nos lo presenta Monseñor Elio Sgreccia en el cual plantea que este principio “compromete a todas y cada una de las personas en su propia realización al participar en la realización del bien a sus semejantes. En el caso de la promoción de la vida y de la salud, implica que todo ciudadano se ha de comprometer a considerar su propia vida y la de los demás como un bien no sólo personal, sino también social, y compromete a la comunidad a promover la vida y la salud de todos y cada uno, a fomentar el bien común promoviendo el bien común de todos y cada uno.”(7)

Por su parte cuando hablamos del principio de subsidiariedad, tenemos que revisar que “El origen del vocablo es antiguo, puesto que se remonta al latín *subsidiūm*, que designaba el orden militar de los *triarii*, esto es, las tropas de

refuerzo (las *subsidiariae cohortes*); del vocablo originario se deriva el término italiano de «*sussidio*» entendido correctamente en el sentido de ayuda económica provista a los necesitados.”(10)

Desde el marco de lo jurídico, social y del lenguaje, el concepto de la Sociabilidad y Subsidiariedad, implica entenderlo en un primer sentido, con un carácter vertical; como la relación entre el ordenamiento comunitario y los ordenamientos nacionales y/o a la relación entre el Estado y los ciudadanos, restándole la posibilidad de autonomía.

En un segundo plano se le da un carácter horizontal y se entiende más como la subsidiariedad bien sea entre el Estado y los ciudadanos o entre los ciudadanos e individuos mismos permitiéndoles actuar desde su autonomía.

Monseñor Sgreccia, en una clara argumentación, muestra como en la actualidad estos principios tienden a confundirse ya que “la comunidad, por una parte, debe ayudar más allí donde mayor es la necesidad (cuidar más a quién está más necesitado de cuidados y gastar más con quién más enfermo está); y, por la otra, no debe suplantar o sustituir a la libre iniciativa de los particulares o de grupos, sino garantizar su funcionamiento”(7), dando así origen a muchas formas de plantear este principio como por ejemplo a lo que se llama la ““eutanasia social”, motivada por la elección dramática e infausta de las sociedades a costa de los enfermos incurables, de los discapacitados graves y de los enfermos mentales”(7), con lo que se pierde de vista el principio de defensa de la vida, y del mismo principio de sociabilidad, ya que se supeditan a los problemas sanitarios y económicos de los países, y terminan por confundir la medicina como ciencia, como asistencia y como organización sanitaria.

### **1.7. Principios de la Bioética centrada en la persona. Planteamiento del Doctor Pablo Arango Restrepo**

Aunque los principios de la bioética personalista esbozados en el punto anterior por Monseñor Elio Sgreccia, rompen con el utilitarismo de los primeros principios planteados por la corriente anglosajona, ellos son para el Dr. Pablo Arango Restrepo, médico ortopedista, especialista, master y doctor en Bioética, una fuente de reflexión.

Es por esto que sobre los principios planteados por Monseñor, el Dr. Arango, nos insiste en ampliar dichos principios desde una concepción de la antropología que respete y se sustente en los conceptos de persona y dignidad humana.

En el artículo titulado “*Necesidad de los Principios. Pero, ¿Cuáles principios?*”(11) El Dr. Arango nos presenta catorce principios, desde los cuales, la mirada de la Bioética centrada en la persona, amplía el fundamento de la misma y nos sirve como guía para reflexionar sobre los problemas contemporáneos.

A continuación presento los principios y los invito a leer el artículo para una mejor comprensión del tema.

- Principio del valor fundamental y respeto de la vida del ser humano desde la concepción hasta la muerte
- Respeto a la dignidad de la persona humana
- El cuerpo humano debe ser respetado
- Los demás son iguales a nosotros en dignidad. Lo primero, no perjudica
- Principio de Responsabilidad
- Principio de totalidad o principio terapéutico
- Principio del voluntario indirecto o causa de doble efecto
- Principio del mal menor
- Principio de veracidad
- Principio de fidelidad
- Principio de solidaridad
- Principio de tolerancia
- Principio de privacidad
- Principio de precaución

## CAPÍTULO II

### 2. LA INGENIERÍA BIOMÉDICA: PERFIL, ROLES Y ACTIVIDADES

#### 2.1 ¿Qué es la Ingeniería Biomédica?

Para el presente trabajo de investigación es necesario responder a la pregunta sobre ¿Qué es la Ingeniería Biomédica?, con el fin de saber cuál es el perfil, rol y actividades propias de los profesionales de esta disciplina, para luego en el tercer capítulo plantear una propuesta de *Manual de Bioética para el Ingeniero Biomédico*.

La Ingeniería Biomédica estudia la aplicación de las herramientas de análisis de la ingeniería para dar solución a problemas médicos y biológicos. Con ello se ve la importancia de incluir la Bioética en la formación y ejercicio de esta profesión.

#### 2.2 Historia de la Ingeniería Biomédica

La ingeniería biomédica es una disciplina en la que confluyen dos grandes ciencias la medicina y la ingeniería. Algunos autores plantean que desde que se aplicaron remedios a pequeños problemas, como una prótesis de dedo gordo en el antiguo Egipto hace más de 3000 años, los dibujos de Da Vinci y los trabajos de Galvani y Kelvin, sobre la electricidad en seres vivos se puede considerar como los orígenes cercanos de la ingeniería biomédica. Es importante anotar que éstos primeros intentos de aplicación de técnicas ingenieriles a la medicina fueron muy importantes para el desarrollo de la hoy llamada ingeniería biomédica, vemos como la instrumentación electrónica a partir de tubos de vacío que empleo Lovett Garceau para ampliar señales eléctricas, el primer electroencefalógrafo construido por Alfred Grass y Röntgen en 1895 describe los rayos X.

“Se puede decir que la antecesora más cercana de la ingeniería biomédica es la cibernetica que ha jugado un papel determinante en la revolución

tecnológica, y hombres como Arturo Rosenblueth, el fisiólogo Walter B. Cannon y Norbert Wiener, que trabajaron en el Instituto Tecnológico de Massachussets y en la Escuela de Medicina de Harvard desde 1937 hasta 1943, fueron quienes desde el concepto de cibernetica dieron desarrollo al de instrumentación, importante antecesor de la relación de la ingeniería con la medicina.”(12)

“Ellos, en el año de 1972, crean en México, desde el Departamento de Fisiología y Biofísica una maestría en Bioelectrónica y es allí donde se empiezan a formar algunos de los primeros profesores interesados en los programas de Ingeniería Biomédica, que conformaron en 1988 lo que se llamó Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología y Biónica con la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería para luego en 1996 proponer el programa en Tecnologías Avanzadas.”(12)

En las últimas décadas “suelen citarse algunos hitos de colombianos destacados en el área, como el marcapasos y la biotelemetría desarrollados por el ingeniero Jorge Reynolds Pombo en los años 60 y la válvula para hidrocefalia desarrollada por el médico Salomón Hakim y el ingeniero José Gabriel Venegas.”(13) Sin embargo, las instituciones de educación superior en el país han trabajado consistentemente desde la década de los setentas en el desarrollo de programas académicos que integran áreas médicas con las ingenierías, muchas veces impulsados por el imperativo de cumplir con las normas vigentes, más que por la conciencia de la necesidad de la preparación y el estudio serio de estas áreas del conocimiento.

Con el desarrollo tecno científico de la ingeniería y la medicina se empiezan a mostrar resultados como lo son “el corazón artificial y el equipo de diálisis que hace las veces de riñón. Pero es hasta ahora que la ingeniería biomédica, la ciencia encargada de estos inventos que salvan vidas, está ganando terreno en Colombia.”(14)

La Universidad de los Andes y la Universidad del Rosario crearon la primera maestría en ciencias biomédicas. La importancia de esta disciplina es muy grande ya que vivimos en un país que a consecuencia de la violencia hace que tengamos muchas personas incapacitadas y a través la Ingeniería Biomédica le intentamos dar solución a esos problemas.

Se da paso así al nacimiento de nuevas especialidades en las universidades e instituciones de educación superior, que hoy ofrecen posgrados en campos que hasta hace algunos años eran inimaginables, como la cibernética, la genética y la ingeniería biomédica.

Es importante anotar que en la historia de la ingeniería biomédica vemos como el afán de conocimiento provocó que muchas de las técnicas recién encontradas, rápidamente fueran aplicadas en seres vivos sin un control social, algo que en la actualidad es de vital importancia y que día a día crece la necesidad de regular dichas prácticas y es ahí donde cobra vida el presente trabajo al buscar plantear un Manual de Bioética para ingenieros biomédicos.

### **2.3 Perfil del Ingeniero Biomédico**

Definir el perfil del ingeniero biomédico implica hacer la revisión del conjunto de capacidades y competencias que caracterizan su formación para asumir las responsabilidades, funciones y tareas propias del desarrollo de su profesión.

Para la Escuela de Ingeniería de Antioquía y la Universidad CES, “el Ingeniero Biomédico es un profesional que aplica sus conocimientos en ingeniería para la solución de los problemas en el área de la salud. Así, se encarga del desarrollo, implementación y gestión de los recursos médicos que apoyan a la prevención, el diagnóstico, tratamiento y rehabilitación de la población. Participa en los procesos involucrados en la atención en salud, dentro de estos está el manejo de la información del paciente (tanto imágenes como historia clínica), y en la creación de políticas dirigidas al mejoramiento de la prestación de los servicios en salud”.

Para la Escuela Colombiana de Carreras Industriales el perfil del ingeniero biomédico se define como el profesional que está en capacidad de:

- “Asimilar, dominar y utilizar conocimientos en ingeniería para aplicarlos en medicina y biología
- Tener capacidad de análisis para mejorar y hacer aplicativos en la tecnología en salud
- Hacer planteamientos en solución de problemas en la medicina en términos de ingeniería
- Llevar a cabo procesos de simulación y modelación de elementos vivos
- Asesorar y liderar grupos de mantenimiento de tecnología biomédica
- Realizar procesos investigativos de aplicación de la ingeniería en la salud y la vida.”(15)

El perfil del **Ingeniero Biomédico egresado de la Universidad Manuela Beltrán**, considera que éste es un profesional integral con formación humana, con criterio propio, que trabaja en equipos multidisciplinarios y participa activamente en la creación, y desarrollo de tecnologías biomédicas.

La Universidad Manuela Beltrán enfatiza la formación del ingeniero biomédico en:

- Calibrar, reparar, homologar equipos biomecánicos y bioelectrónicos que cumplan con la normatividad internacional.
- Ejercer acciones de asesoría, interventoría y administración de sistemas y/o procesos biomecánicos, bioelectrónicos y de biomateriales.
- Ejercer acciones de asesoría, interventoría y administración de sistemas y procesos técnicos hospitalarios.
- Adquirir conocimientos y habilidades para planificar y dirigir departamentos de ingeniería clínica
- Entender la complejidad de los sistemas biológicos para mejorar la práctica médica.

Al revisar los diferentes perfiles propuestos, se nota que todas las instituciones de educación superior llegan a conceptos muy similares sobre el perfil del ingeniero biomédico.

**FUNCIONES, PERFIL Y ÁREAS DE DESEMPEÑO DEL INGENIERO BIOMÉDICO**

<b>Funciones del Ingeniero Biomédico</b>	<b>Perfil del Egresado</b>	<b>Áreas de Desempeño Laboral por Sector</b>
Adquisición de Tecnología Biomédica		<b>Sector Industrial:</b> Industria de Manufactura y Farmacéutica Centros Hospitalarios, Clínica y Centros de Salud
Evaluación de Tecnología Biomédica	Aplica efectiva y eficazmente las ciencias básicas y las competencias desarrolladas por la profesión en la propuesta e implementación de soluciones prácticas tendientes al mejoramiento continuo de la calidad de vida, entendida esta como el estado de completo bienestar físico, mental y social de la población.	<b>Sector Comercial:</b> Trabajador Independiente Empresas Prestadoras de Servicios Firmas Consultoras o Auditoras Vendedores de Insumos y Equipos
Innovación Tecnológico en Biomédica	Integra las ciencia de la ingeniería con la ciencias biomédica y la práctica clínica desde una perspectiva multidisciplinaria y multiprofesional con el fin de contribuir a la solución de problemas de la medicina y la biología para mejorar la calidad de vida de las personas con condiciones de salud que restringen su independencia e integración a la comunidad	<b>Sector Servicios:</b> Entidades Académicas Centros de Investigación Agencias Gubernamentales y No Gubernamentales Firmas Consultoras o Auditoras Vendedores de Insumos y Equipos
Desarrollo Tecnológico en Biomédica		
Investigación Experimental en Biomédica		

Fuente: Comité Curricular de Ingeniería Biomédica CIB. Ing. Hermann Dávila Torres. 2010.

## **PERFIL OCUPACIONAL**

El Ingeniero Biomédico de la ECCI, se puede desempeñar como:

- “Jefe de Ingeniería de cualquier institución hospitalaria
- Asesor de mantenimiento de EPS, IPS, ARS
- Ingeniero de empresas de tecnología biomédica
- Investigador en temas de modelamiento, simulación, desarrollo de tecnología
- Asesor comercial de empresas de tecnología biomédica
- Perito de empresas públicas y/o privadas en temas relacionados con la biología y la medicina
- Ingeniero clínico u hospitalario
- Consultor en temas relacionados con la biología y la medicina”(16)

### **2.4 Campos de Acción**

Al ser la ingeniería biomédica ampliamente reconocida como multidisciplinaria, encontramos que los campos de acción son múltiples y diversos. Algunos de ellos tienen que ver con:

- “Biomagnetismo y técnicas cerebrales
- Creación de imágenes y óptica biomédicas.
- Biomateriales
- Biomecánica y biotransporte
- Instrumentación médica
- Ingeniería molecular y celular
- Biología de sistemas.”(16)

El ingeniero biomédico también puede desempeñarse como diseñador de equipos biomédicos, investigador, consultor en la adquisición de tecnologías biomédicas, gerente de Instituciones Hospitalarias, asesor técnico, liderar

proyectos de modernización de equipamiento tecnológico de hospitales, jefe del área de mantenimiento de clínicas y hospitales, supervisor e instructor de personal médico, enfermeras y paramédicos, gerente o promotor de empresas comercializadoras de equipos biomédicos, asesor de instituciones hospitalarias para la implementación de normas de bioseguridad a nivel nacional e internacional.

## **2.5 Dilemas éticos en la aplicación de la Ingeniería Biomédica**

En todas las áreas del conocimiento y en los asuntos cotidianos, el hombre se ve obligado a tomar decisiones ante sus actuaciones. Pareciera que en algunos casos de poca trascendencia no se requiere de reflexiones muy profundas, y que sólo cuando dichas actuaciones tienen trascendencia, es cuando hay que recurrir a los principios que fundamentan la existencia. Argumento que no es correcto, porque aún en las cosas pequeñas es necesario recurrir a los principios éticos, por ejemplo; reciclar en casa los residuos no peligrosos, aparentemente no tienen mayor significado, pero cuando se analiza globalmente dicha actuación vemos como el reciclar trae grandes beneficios a la humanidad. Lo que pasa es que no siempre a dichas actuaciones les damos la ponderación que merecen.

A veces se escucha decir que en la actualidad la humanidad ha perdido o desviado los principios, pero dicha afirmación pierde vigencia cuando hacemos un recorrido por la historia y encontramos que son muchas las actuaciones del hombre que no han tenido como sustento los principios centrados en la persona y en su dignidad. Creo que es un asunto de todos los tiempos y que lo que hay que hacer es saber reconocerlos y estar siempre atentos a actuar conforme a ellos, entendiendo que siempre encontraremos en la sociedad posturas que nos inviten al utilitarismo y al hedonismo y posturas que nos inviten a centrarnos en la persona y su dignidad.

En esta parte final del Capítulo II, es necesario hacer mención, a algunos de los problemas sobre los que se vuelca la Bioética como por ejemplo los avances

en genética, que incluyen el desarrollo del Proyecto Genoma Humano a partir de la aplicación de las tecnologías reproductivas. Ellos han suscitado preocupaciones de carácter ético por considerar que atentan contra la dignidad de la persona, sin embargo, en muchos países ya están siendo aplicados desconociendo este principio rector. Dentro de este campo se presentan como dilemas éticos como son la modificación del genoma humano y la clonación.

Es importante anotar también que la experimentación con animales, al igual que los cultivos transgénicos, la construcción de armas biológicas cada vez más sofisticadas implican problemas éticos que se presentan y se constituyen en situaciones actuales que requieren, de la sociedad en conjunto y de cada uno de nosotros, posturas coherentes con los principios éticos que ponen en el centro a la persona.

Cierro con esta pequeña introducción para entrar en el último capítulo del presente trabajo y para centrar la propuesta del Manual de Bioética para Ingenieros Biomédicos

## **CAPÍTULO III**

### **MANUAL DE BIOÉTICA PARA INGENIEROS**

*El campo de la bioética nos acerca a un tema necesario e importante para los ingenieros biomédicos y del que pocas veces hablamos:*

*La Dignidad de la Persona  
¡Que sea esta la oportunidad para reflexionar!*

*Margarita María Pineda Romero*

## **ÍNDICE DE CONTENIDOS**

- 1. PRESENTACIÓN**
- 2. OBJETIVOS**
- 3. PERFIL Y FUNCIONES DEL INGENIERO BIOMÉDICO**
  - 3.1 PERFIL DEL INGENIERO BIOMÉDICO**
  - 3.2 FUNCIONES DEL INGENIERO BIOMÉDICO**
- 4. FUNDAMENTACIÓN BIOÉTICA DE LAS ACTIVIDADES PROPIAS DE LA INGENIERÍA BIOMÉDICA**
- 5. CONCLUSIONES**
- 6. BIBLIOGRAFÍA**

## PRESENTACIÓN

El Manual de Bioética para ingenieros es una oportunidad para concretar como lo dice el ingeniero Fernando Soler, Rector de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales y pionero de los programas de ingeniería biomédica en el país, -el conjunto de normas que permiten el desempeño ético en el campo de la ingeniería biomédica-, teniendo en cuenta que esta disciplina es el conjunto de desarrollos ingenieriles que permite la prolongación, preservación, conservación y cuidado de la vida.

Para Soler, el ingeniero biomédico es un profesional creativo capaz de manejar y diseñar nuevos desarrollos e implementarlos en equipos de diagnóstico, tratamiento y rehabilitación en el campo de la medicina, por eso el proponer un Manual de Bioética para Ingenieros Biomédicos, es una oportunidad para clarificar los alcances de la profesión con respecto a la preservación de la vida y el respeto de la dignidad del hombre como principios rectores.

El Ingeniero Soler es enfático en plantear que la importancia de la Bioética, tiene que ver con los cuidados, parámetros y normas que rigen las funciones que se le encomiendan al ingeniero biomédico y que aunque en los programas de pregrado de ingeniería biomédica, se hace lo posible por cubrir la formación en Bioética, el pensum es bastante estrecho y la asignación de tiempos no es suficiente para abarcar todos los temas que ella implica.

El Ingeniero Hermann Dávila, Ingeniero Electrónico y Especialista en Gerencia de Ingeniería Hospitalaria, que se desempeña como Coordinador Académico del Programa de Ingeniería Biomédica de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales amplía el planteamiento sobre la importancia de la elaboración de un Manual de Bioética para ingenieros biomédicos por considerar que la Bioética es la disciplina que vela por la regulación de las relaciones del hombre con los seres vivos respetando en todo momento su dignidad y que por lo tanto va a ser de gran ayuda para interpretar el quehacer del futuro ingeniero biomédico.

Según Dávila, es necesario que toda actividad relacionada de forma directa e indirecta con la vida del ser humano o con las condiciones que la limitan o restringen, requiere de un marco de actuación que debe ser regulado y vigilado por un ente pertinente, que para la Ingeniería Biomédica todavía no está muy definido.

De igual manera Dávila plantea que cuando se desarrolla, diseña, innova, investiga, conserva o mantiene tecnología, siempre estará presente la constante Bioética y es por esto que resulta importante la estructuración y conformación de comités de Bioética que vigilen y validen dichas actuaciones en espacios y contextos específicos. Desde su entorno profesional y académico, el ingeniero Dávila cree que actualmente en los programas de pregrado de ingeniería biomédica, no existen espacios suficientes para la discusión y reflexión del tema bioético durante la etapa de formación del profesional. Sin duda, para él, es de gran importancia realizar un trabajo desde la óptica de la Bioética y la ingeniería biomédica, para encontrar aciertos y diferencias en la forma como estas ciencias deben convivir armónicamente en la Biomédica.

Por este motivo, es primordial contar con la orientación y experiencia de expertos de las distintas profesiones relacionadas con el ejercicio profesional del ingeniero biomédico, para que de esta manera se pueda dar inicio a la fundamentación ética de su profesión. En últimas esto es lo que se intenta plantear en el presente Manual de Bioética para ingenieros biomédicos.

## **2. OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Identificar las actividades propias del ingeniero biomédico y plantear la fundamentación bioética para su desarrollo y aplicación.

### **ESPECÍFICOS**

- Describir el perfil y las funciones del ingeniero biomédico para clarificar el entorno del ejercicio profesional del mismo.
- Describir los principios fundamentales de la bioética centrada en la persona.
- Proponer una fundamentación bioética que soporte la realización de las actividades profesionales del ingeniero biomédico.

### **3. PERFIL Y FUNCIONES DEL INGENIERO BIOMÉDICO**

#### **3.1 PERFIL DEL INGENIERO BIOMÉDICO**

“El Ingeniero Biomédico es un profesional que aplica sus conocimientos en ingeniería para la solución de los problemas en el área de la salud. Así, se encarga del desarrollo, implementación y gestión de los recursos médicos que apoyan a la prevención, el diagnóstico, tratamiento y rehabilitación de la población. Participa en los procesos involucrados en la atención en salud, dentro de los que está el manejo de la información del paciente (tanto imágenes como historia clínica), y en la creación de políticas dirigidas al mejoramiento de la prestación de los servicios en salud.”(17) Es un profesional en condiciones de: “Asimilar, dominar y utilizar conocimientos en ingeniería para aplicarlos en medicina y biología, tiene capacidad de análisis para mejorar y hacer aplicativos en la tecnología en salud, hacer planteamientos en solución de problemas en la medicina en términos de ingeniería, llevar a cabo procesos de simulación y modelación de elementos vivos, asesorar y liderar grupos de mantenimiento de tecnología biomédica y realizar procesos investigativos de aplicación de la ingeniería en la salud y la vida.”(16) Por tanto el ingeniero biomédico es un profesional integral con formación humana, con criterio propio, que trabaja en equipos multidisciplinarios y participa activamente en la creación y desarrollo de tecnologías biomédicas.

#### **3.2 FUNCIONES DEL INGENIERO BIOMÉDICO**

##### **3.2.1 ADQUISICIÓN DE TECNOLOGÍA BIOMÉDICA**

Es la metodología que se utiliza para la adquisición de Tecnología. Sirve de base al personal relacionado con la gestión de tecnología biomédica para orientarlo en la toma de decisiones que dan como resultado la obtención de la tecnología necesaria que responde a las necesidades de la población de su área de influencia, con lo que se busca optimizar la prestación de los servicios de salud con calidad.

La implementación en nuestro país del Sistema Obligatorio de Garantía de Calidad en Salud (SOGCS) ha generado cambios importantes en los procesos de atención en los que se ha hecho énfasis en el aseguramiento de la calidad y la satisfacción de los usuarios. Es por esto que todas las instituciones prestadoras de servicios de salud (IPS) están compitiendo en la adquisición de tecnología de punta para satisfacer a los usuarios que consideran que ésta tecnología de alto costo es señal de calidad. Por lo anterior, se evidencia la necesidad de establecer la importancia y la relación que adquiere la tecnología biomédica en el logro de los objetivos y metas propuestos por el SOGCS, con lo que se espera que dicha implementación impacte positivamente la salud de los colombianos.

La gestión de la tecnología biomédica no es un proceso autónomo, sino que se relaciona con un conjunto de subprocessos cuyo objetivo final es la satisfacción de las necesidades de los usuarios y el servicio de calidad.

El Ministerio de Protección Social presenta a través de su página de internet un manual para la adquisición de tecnología biomédica en el que se describen los pasos que se deben seguir para la adquisición de la tecnología biomédica. Se puede consultar en: [http://www.sbeb.org.br/cbeb2008/Engenharia%20CI%EDnica%20-%20Equipamentos%20M%E9dicos/p\\_0788.pdf](http://www.sbeb.org.br/cbeb2008/Engenharia%20CI%EDnica%20-%20Equipamentos%20M%E9dicos/p_0788.pdf)

### **3.2.2 EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍA BIOMÉDICA**

Es un proceso enfocado al mejoramiento en la calidad y a la eficiencia en la prestación de los servicios de salud. A través de la adquisición de la tecnología efectiva que se hace por medio de la evaluación técnica y clínica. El objetivo de la evaluación de las tecnologías de salud es recolectar, analizar y sintetizar información y conocimiento para contribuir a mejorar la toma de decisiones en la práctica médica y en las políticas de salud. Para ello, es necesario un trabajo colaborativo en un ambiente multidisciplinario que retroalimente de modo efectivo el uso de tecnologías de salud. Se sugiere, por tanto, que las entidades prestadoras de servicios de salud conformen comités para la

evaluación de dichas tecnologías y sigan en cierta medida un protocolo que incluya documentos técnicos, estudio de mercado y demostración de los equipos. De manera que se tomen las decisiones más efectivas. Para ampliar este tema se puede revisar el artículo:  
<http://revistabme.eia.edu.co/Art%C3%ADculos/Edici%C3%B3n%204/34-45%20Evaluaci%C3%B3n%20tecnolog%C3%ADa%20biom%C3%A9dica%29.pdf>

### **3.2.3 INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN BIOMÉDICA**

En Biomédica la innovación tecnológica es una constante, ya que siempre se intenta mejorar los equipos ya creados, volverlos más agiles, transportables, flexibles y que brinden más y mejores servicios. Se puede decir que todas las empresas dedicadas a la fabricación de equipos biomédicos están innovando constantemente. Muestra de ello es el Instituto MIRA ([MIRA brochure](#)), que lleva a cabo investigación de extraordinaria calidad internacional y que desarrolla y soporta la investigación biomédica.

### **3.2.4 DESARROLLO TECNOLÓGICO EN BIOMÉDICA**

Es innegable que en las últimas décadas se ha demostrado el papel estratégico de la tecnología en la sociedad y su importancia en todos los sectores de la sociedad. Particularmente, a partir de 1950 se da origen a innumerables trabajos de investigación que han analizado en profundidad las principales características del desarrollo tecnológico y aunque se ha aprendido mucho al respecto y se ha logrado un gran desarrollo para la humanidad, es también necesario revisar los problemas éticos que ellos implican sobre todo para la biomedicina. Francisco Vilardell, en su artículo ["Problemas éticos de la Tecnología Médica"](#) nos presenta un ejemplo.

### **3.2.5 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL**

El libro de Rafael Álvarez Cáceres “*El método científico en las ciencias de la salud*”, nos muestra como las ciencias de la salud y la medicina han sufrido

cambios durante los últimos quince años en su estructura de pensamiento, y se ha pasado de una lógica deductiva a la incorporación del método científico que es mucho más exigente. Álvarez diferencia dos grupos de profesionales médicos; los que ejercen la medicina práctica y los que se dedican en gran parte a la investigación. Con esta afirmación profundiza en la necesidad de reconocer la importancia que tiene el método científico en la correcta práctica de las ciencias de la salud y específicamente de la medicina. Propone, por tanto, que la medicina científica, con el soporte de las nuevas tecnologías, debe imponerse para el bien de toda la humanidad; así confirma la importancia del uso del método científico en medicina. Situación que también deriva en muchos problemas éticos porque algunos llegan a considerar al ser humano objeto de investigación restándole respeto a la dignidad de la persona y confundiendo que para el método científico es válido tomar al ser humano como sujeto de investigación sin quitarle el valor que tiene.

#### **4. FUNDAMENTACIÓN BIOÉTICA DE LAS ACTIVIDADES PROPIAS DE LA INGENIERÍA BIOMÉDICA**

##### **Bioinformática (Tecnologías de la Información)**

Esta disciplina utiliza la tecnología de la información para responder a preguntas complejas en biología. Es un área de investigación multidisciplinaria que enfoca su estudio en el genoma humano, esperando que en el futuro dicha investigación pueda servir para mejorar la calidad de vida de los seres humanos. “El Proyecto del Genoma Humano (PGH) ha servido para explorar nuestro ambiente genético y para ponernos al tanto de los recursos beneficiales que pueden contribuir a entender y mejorar nuestras vidas. Su meta principal es una lista y localización de nuestros *genes*, la unidad hereditaria individual responsable de nuestro desarrollo desde el momento de la concepción, de la forma en que crecemos y maduramos, y de la forma en que vivimos y morimos.”(18)

El proyecto del genoma implica cuestiones éticas centrales relacionadas con la ingeniería genética y la información genética. Al hacer referencia a la manipulación genética es necesario diferenciar entre la intervención en células somáticas y en líneas germinales. La manipulación de las células somáticas altera a las células del cuerpo y los cambios resultantes se limitan a un individuo. Por el contrario, la manipulación de las líneas germinales altera a las células reproductivas, lo que implica cambios en las generaciones futuras. El uso de la intervención en células somáticas para tratar enfermedades se reconoce éticamente aceptable, debido a que los riesgos están limitados a un solo paciente y las intervenciones son consistentes con el propósito de la medicina, sin embargo no podemos asegurar que no existen otras complicaciones en el procedimiento, y es ahí donde aplica el Principio de Doble efecto.

La intervención de “células somáticas para el tratamiento de enfermedades graves puede considerarse ética porque puede ser apoyada por los principios fundamentales de autonomía, beneficencia y justicia.”(19) Por el contrario en las intervenciones a las líneas germinales generan preocupaciones éticas más

profundas, debido a que se comprometen las generaciones futuras y su impacto no se puede prever con seguridad. “Mientras la ingeniería genética y el uso de información aumenten, también aumentaran las preguntas de ética. A medida que aumente nuestra capacidad para llevar a cabo chequeos genéticos y para la ingeniería genética, nos enfrentaremos a cuestiones éticas más difíciles, incluyendo cuestiones sobre los límites de la autonomía de los padres y de la aplicación de las leyes que cuidan el bienestar de los niños.”(18) Es por esto que para el desarrollo de esta actividad el ingeniero biomédico debe tener presente en su investigación, el principio de Respeto a la Dignidad de la persona humana, que resalta que los demás son iguales a nosotros en dignidad y, que por lo tanto, en aras de la investigación o de la ciencia, no se puede manipular el ser humano y tomarlo como objeto de estudio, el Principio de Precaución se refiere a que debemos tener en cuenta que estamos manipulando información genética, que compromete de una u otra forma la vida humana y el resultado de los trabajos e investigaciones están diseñados para darlos a conocer a la comunidad científica y aplicarlos en otras personas. Y el Principio de Responsabilidad tiene que ver con el manejo de la información, a quien se le entrega y ¿Cuándo la ética profesional permite hacer entrega de esa información?

### **Biomateriales**

“Se pueden definir como materiales biológicos comunes tales como piel, madera, o cualquier elemento que reemplace la función de los tejidos o de los órganos vivos. En otros términos, un biomaterial es una sustancia farmacológicamente inerte diseñada para ser implantada o incorporada dentro del sistema vivo.”(20) Los biomateriales se utilizan en: reemplazos articulares, placas del hueso, cemento ortopédico, ligamentos y tendones artificiales, implantes dentales para la fijación del diente, prótesis del vaso sanguíneo, válvulas del corazón, dispositivos de la reparación de la piel, reemplazos cocleares y lentes de contacto. Los problemas éticos con respecto a los biomateriales tienen que ver con los peligros potenciales asociados a ellos que pueden ser de orden biológico, ambiental, de envejecimiento del producto o relacionados con su uso. Los fabricantes de los productos tienen la responsabilidad de velar por sus productos y para ello deben investigar y

analizar la información para identificar los posibles peligros potenciales y estimar los riesgos para establecer un balance que favorezca su uso. El Ingeniero Biomédico, para el desarrollo de esta actividad debe tener en cuenta el principio de Responsabilidad haciendo las pruebas de resistencia, la durabilidad, la aceptabilidad de los materiales en el paciente, rugosidad, grado de pulido y delicadeza del implante, porosidad, potencial eléctrico, humectación y comportamiento hidrofóbico o hidrófilo ya que estos factores afectan la compatibilidad del implante en el paciente. Dentro del principio de Responsabilidad el profesional debe analizar los requisitos físicos del implante para que cumplan con el tamaño y la forma adecuadas para cada paciente, implica hacer pruebas de resistencia, densidad y peso. En últimas, debe hacer bien su trabajo para poder responder por la calidad y seguridad de los materiales que produce. También se ve implicado el principio de Precaución, en el sentido de minimizar cualquier riesgo que tenga la implementación de los biomateriales, y considerando la posibilidad de riesgos imprevisibles dados por la implementación de nuevas tecnologías. Además por ningún motivo se puede permitir que por minimizar costos no se utilicen los materiales necesarios para cumplir con los requerimientos básicos.

También aplica el principio de Voluntario Indirecto o causa de doble efecto, en el sentido de considerar como única opción terapéutica posible el uso de estos materiales y aceptar los riesgos que implican, pero lo importante aquí es recordar que lo que define el análisis del principio es el “realizar una acción en sí misma buena o indiferente que tenga un doble efecto (uno bueno y uno malo), si el efecto bueno es inmediato, el fin de quien la realiza es honesto y existe una causa proporcionada para permitir el efecto malo.”(11)

### **Biomecánica**

“Es la aplicación de las leyes mecánicas a las estructuras vivas, especialmente al aparato locomotor del cuerpo humano.”(21) La Biomecánica se basa en la simulación computacional de órganos, tejidos y sistemas; ha tenido un importante el desarrollo gracias a los avances tecnológicos de las computadoras y se perfila como una de las herramientas más utilizadas en el diseño de prótesis, seguimiento de patologías, procesos biológicos y

comportamiento de los tejidos. Con el avance de esta investigación se puede predecir el comportamiento de los sistemas y se estudian nuevas teorías sobre los procesos biológicos para poder innovar y así poder construir nuevos modelos adecuados para explicar fenómenos como la marcha, la formación de tumores, entre otros.

La biomecánica puede incurrir en problemas éticos ya que sólo se pueden hacer aproximaciones pero no estamos seguros, a ciencia cierta, de cómo va a responder el órgano o tejido simulado. Por eso el ingeniero biomédico, al desarrollar esta actividad, debe tener presente el principio de Veracidad, ya que debe primar la honestidad científica para la continuidad en el desarrollo de estas tecnologías. Si se sospecha que alguna puede poner en peligro la integridad o la vida de un ser humano, estas investigaciones o tecnologías deberán suspenderse o sacarse del mercado, no importan las pérdidas económicas que eso suponga. Se debe ser claro en el desarrollo de la simulación de los sistemas, si sabemos que no funciona y que no se debe implementar con los pacientes por ningún motivo podemos permitir que se haga el desarrollo de la tecnología. El principio de Responsabilidad es fundamental ya que trabajamos sobre diseños que van a ser implementados en personas y por tan razón el Ingeniero Biomédico está obligado a ejercer sus labores de forma que no vaya a representar ningún mal para el paciente, recordando que la Biomecánica involucra la corrección de disfunciones en el cuerpo humano y que por lo tanto tiene la necesidad de cumplir a cabalidad con los estándares de calidad propuestos. El principio de Precaución está implicado ya que en las investigaciones deben ser considerados los beneficios y los riesgos para luego aplicar el desarrollo ingenieril de la biomecánica.

## **Biotecnología**

“Consiste en la utilización de microorganismos así como de células vegetales y animales para producir materiales tales como alimentos, medicamentos y productos químicos útiles a la humanidad.”(22) De una manera amplia se puede definir la biotecnología como el uso de organismos y sistemas biológicos para actividades comerciales y de servicios. Con respecto a la aplicación en seres humanos es muy importante resaltar que ella tiene que ver con productos

biológicos de uso terapéutico, vacunas génicas, anticuerpos monoclonales, sondas génicas, secuenciación del genoma humano y terapia génica. Estas, actividades, aunque parecen tener respuesta a problemas como el enanismo, el tratamiento de determinadas enfermedades óseas y regeneración de tejidos en personas con quemaduras graves, también han demostrado desencadenar efectos secundarios, algunos impredecibles, probablemente debido a la inestabilidad de estos microorganismos y genes manipulados en el laboratorio. Un problema particular que deriva del desarrollo biotecnológico es el que tiene que ver con el uso de las sondas génicas para diagnóstico genético prenatal. Éstas son moléculas de ADN que reconocen genes en los cromosomas y utilizan marcadores para identificar si el feto que va a nacer es portador o no de genes defectuosos, con el fin de no permitir el nacimiento de aquellos que presenten deficiencias. Sin embargo es necesario recalcar que el diagnóstico prenatal es aceptable si respeta la integridad y vida del niño en gestación, siempre que esos estudios deriven en beneficio y cuidado del ser humano y recordar que el ser portador de una malformación o enfermedad no le quita la dignidad propia del ser humano y, por lo tanto, el respeto que debe dedicársele. El Ingeniero Biomédico debe ser cuidadoso y tener presente para el desarrollo de esta actividad los principios de: Respeto de la vida del ser humano desde la concepción hasta la muerte natural, el Principio de precaución con relación a los efectos futuros de estas intervenciones por el riesgo en el que se pone la vida del individuo en quien se hace el procedimiento.

También es necesario tener en cuenta los principios de responsabilidad y precaución, ya que cabe la pregunta: ¿para qué hacer un diagnóstico prenatal si no se cuenta con las herramientas para darle respuesta al padecimiento del nonato y, por el contrario, se pone en riesgo su vida?

### **Procesamiento de Bioseñales**

Es un área de la ingeniería que se dedica al análisis y procesamiento de señales discretas (audio, voz, imágenes, video). Esta área se dedica al estudio de las señales electrofisiológicas del cuerpo humano. Uno de los problemas más destacados que se presentan para esta actividad tienen que ver con la detección precoz de muerte encefálica y el manejo intensivo de los donantes, ya que los avances tecnológicos en las Ciencias Médicas, la creación de las

Unidades de Cuidados Intensivos y la atención al paciente lesionado, han transformado los criterios acerca del diagnóstico del momento de la muerte.

Las UCIs cuentan con métodos y equipos que pueden prolongar la función cardiorespiratoria de los pacientes pero no mantienen la integridad del organismo como un todo, lo que da lugar al concepto de muerte encefálica como indicador de la muerte, por eso se hace necesario el trabajo interdisciplinario basado en la seguridad y el conocimiento en la toma de decisiones sobre el paciente. Los principios que regulan esta actividad son el valor fundamental y respeto de la vida del ser humano desde la concepción hasta la muerte natural ya que al obtener a través de equipos de diagnóstico las señales electrofisiológicas es posible limitar los esfuerzos terapéuticos y evitar el encarnizamiento, que atenta contra la dignidad y supone irrespeto e injusticia. Respeto al cuerpo humano en el caso de la detección de la muerte encefálica ya que no podemos olvidar que él hace parte sustancial de la persona humana, la responsabilidad de hacer las cosas bien hechas para poder velar por la dignidad de los pacientes y la precaución porque nuestras acciones se verán reflejadas en el futuro y no podemos entonces hacer tratamientos o diagnósticos que tiempo después signifiquen un problema para el paciente, ya que sea por descuido, por falta de información o por inexperiencia.

### **Ingeniería Clínica**

Las funciones de los Ingenieros Clínicos incluyen la capacitación y la supervisión de técnicos de electromedicina, trabajar con las autoridades sanitarias y entidades de certificación en el hospital, inspecciones y auditorías, y servir como consultores tecnológicos para el personal del hospital.

La ingeniería clínica se encarga de resolver a través de la aplicación de métodos de la ingeniería problemas que se presentan en la prestación de los servicios de salud. "Hay abundantes ejemplos que demuestran como la medicina moderna está utilizando instrumentos nuevos para la observación, manipulación y control" (23) de las funciones fisiológicas, corporales y del dolor

garantizándole, a través de la tecnología, acortar el periodo de enfermedad o recuperación al paciente. La mejor tecnología es aquella que no sólo detecta enfermedades con alta efectividad, sino que a la vez permite prevenirlas y, por lo tanto, aumentar la esperanza de vida.

Es el ingeniero clínico el que sirve de puente entre la medicina y la ingeniería haciendo que se le dé el uso correcto a la tecnología en la atención del paciente, buscando brindar en todo momento atención de alta calidad y con alto espíritu de servicio. Por tanto, el ingeniero clínico debe investigar, analizar y, basado en la experiencia propia y de los avances científicos, decidir sobre la confiabilidad de los equipos médicos, los protocolos de uso y mantenimiento; con el fin de advertir las necesidades y beneficios del uso de dicha tecnología. Los principios que regulan esta actividad son el de Responsabilidad el cual radica en estar pendiente de los procesos que se desarrollan en la institución hospitalaria, de igual manera el estar pendiente de las acciones del personal a su cargo para tener la seguridad que los servicios ofertados se brinden de manera clara, eficiente y de calidad. El Principio de Veracidad propone que por ningún motivo podemos ocultar la verdad en cuanto el desarrollo de procesos y los errores de forma en la prestación de los servicios, el Principio de Fidelidad hace relación al sentido de pertenencia, el Principio de Solidaridad en cuanto que el estado tiene la obligación se subsidiar a las personas de escasos recursos y de igual manera las personas que poseen los recursos deben solidarizarse con quienes no los tienen, y el Principio de Precaución, siendo su función la búsqueda del bienestar tanto de los pacientes como del personal que están involucrados directa o indirectamente en la institución a través del uso correcto de la tecnología.

## **Metrología**

“Tiene por objetivo el estudio de los sistemas de medida en cualquier campo de la ciencia. También tiene como objetivo indirecto que se cumpla con la calidad. La Metrología tiene dos características muy importantes el resultado de la medición y la incertidumbre de medida.”(24) La metrología tiene como fin el

brindar la confianza sobre el instrumento que vamos a utilizar, ya que ella se encarga de hacer los ajustes del instrumento de medición lo que se asocia a la reducción de error. Por esto es muy importante el mantenimiento preventivo y correctivo para asegurar la calidad de las mediciones de los instrumentos de medición. Algunas de las bondades de la metrología son la exactitud, la repetibilidad que evita el error en la medida, la resolución, las unidades de la medición y los alcances de la misma. Es por esto que, una de las actividades profesionales que más se valora del ingeniero biomédico es la de poder hacer mantenimiento preventivo y correctivo al equipo biomédico con el fin de evitar errores en su aplicación y uso. Es fundamental, por tanto, para el desarrollo de esta actividad tener presentes los principios de responsabilidad, de veracidad y de precaución, puesto que el personal médico que utiliza dichos equipos confía en que ellos cumplen con las características de exactitud necesarias para proteger la vida de los pacientes y que el ingeniero biomédico encargado de esta labor ha hecho su trabajo bien, con seriedad y profesionalismo.

### **Micro y Nanotecnología:**

“Es el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia a nano escala, y la explotación de fenómenos y propiedades de la materia a nano escala.”(25)

La nanotecnología incluye el aporte de casi todas las disciplinas de las ciencias naturales, la medicina y la ingeniería. Desaparecen las fronteras entre la física, la química y la biología y no se puede entender simplemente como una continuación de la microtecnología, sino que extiende sus posibilidades a lo que hoy se llama nanociencia, que es la que se encarga de estudiar sistemas complejos basados en el uso de componentes con propiedades específicas que dependen de su tamaño. Algunos materiales se comportan de manera muy distinta cuando son trabajados a nanoescala, lo que se constituye en un desafío para el conocimiento. Por tanto, el desarrollo e investigación de esta actividad requiere del investigador, del ingeniero y del científico un soporte amplio en los principios de responsabilidad, el Principio de veracidad y el

Principio de precaución por ser una actividad en la que convergen las ciencias naturales, la medicina y la ingeniería, por el acelerado desarrollo de su conocimiento y sus insospechados resultados e implicaciones.

### **Ingeniería en Rehabilitación**

La ingeniería de rehabilitación surge como una especialización de la ingeniería biomédica y su finalidad es la de proveer ayudas técnicas a personas con discapacidad para que puedan llevar su vida de manera independiente y continuar realizando las actividades propias de su edad y de su grupo social. Gracias al desarrollo de la investigación tecnológica y la innovación producida por la ingeniería, los pacientes disfrutan hoy de una variada gama de productos, cuyos costos muchas veces son un obstáculo para los pacientes. Es así como se generan problemas éticos en lo relacionado con el tipo de materiales usados para producirlos y el tiempo dedicado a la rehabilitación de los pacientes; lo mismo que la práctica de cirugías en ancianos, por considerar que son cirugías de alto impacto tanto en la salud del paciente como en lo económico. Es por esto que el ingeniero biomédico, especialista en rehabilitación, debe esforzarse por investigar y crear ayudas técnicas de alta calidad y con bajos costos, intentando llegar a los pacientes de los sectores socioeconómicos menos favorecidos. Por tanto esta actividad se sustenta en los principios de Respeto a la dignidad de la persona humana ya que son merecedoras de justicia e igualdad en el cuidado cuando se encuentren disminuidas las funciones características de la persona. El Principio de Responsabilidad porque al estar involucrada la recuperación de un paciente debe primar en el ingeniero el profesionalismo, Principio de solidaridad ya que al hablarse de los altos costos que representa la rehabilitación en cuanto a la implementación de nuevas tecnologías el Estado está en la obligación de subsidiar al que no puede, y en la sociedad, basados en la solidaridad, los que tienen subsidian a los que no pueden, Principio de privacidad en cuanto a que la información obtenida es personal y por ningún motivo puede ser divulgada sin el consentimiento del paciente.

### **Robótica**

“La robótica es la ciencia encaminada a diseñar y construir aparatos y sistemas capaces de realizar tareas propias de un ser humano.”(26) Uno de los usos de los robots es en la cirugía, lo que permite que los procedimientos sean menos invasivos, se reducen los movimientos del cirujano haciendo los cortes mucho más precisos y sirven para llegar a áreas del cuerpo de difícil acceso. El cirujano también está en una posición más cómoda que en una cirugía abierta y tiene mayor visibilidad del área a operar, sin embargo la cirugía asistida por robots requiere de más tiempo porque es necesario programarlo el equipo, y los costos del procedimiento también aumentan, por lo que no está disponible para todos los pacientes.

Existen muchas ventajas de la cirugía asistida por robot, por ejemplo la recuperación es más rápida, hay menos dolor y menos sangrado, menos riesgos también de infección, la hospitalización es más corta y las cicatrices son pequeñas. Sin embargo más allá de éstos beneficios queda la pregunta sobre si la aplicación de la robótica a la práctica médica, dejaría a esta última sólo en el plano asistencial, quitándole la esencia a la relación médico – paciente, constrinviendo el concepto de comunicación y afectividad que se debe desplegar de las relaciones interpersonales. El uso de robots, genera relaciones de corte impersonal y superficial, en las que falta la calidez humana por parte del personal médico. También es necesario recordar que la robótica puede generar complicaciones debido a una disfunción del equipo o la aparición de complicaciones y ellas pueden agravar aún más la situación del paciente intervenido. Es por esto que “en tales circunstancias se alcancen a producir flagrantes violaciones de la dignidad y los derechos del enfermo (privacidad, confidencialidad, autonomía). La profundización de esta brecha es uno de los riesgos de una medicina que cada vez más acude a diversas formas de ciber-mediación donde el contacto interpersonal, la relación piel a piel, y rostro a rostro es sustituida por un intermediario: un “doctor robotizado”, un “humanoide médico” u otros artilugios cibernéticos que con la ganancia de mayor efectividad técnica, impliquen una pérdida de la riqueza comunicativa interpersonal que precisa el acto médico.”(27)

## Telemedicina

“La telemedicina permite que un médico, o equipo médico, cuide a distancia la salud de un individuo o de un grupo de individuos, mediante el empleo de medios diagnósticos y terapéuticos manejados remotamente.”(28) La telemedicina, tiene que ver con el cuidado de la salud a distancia e involucra servicios y tecnologías complejas que incluyen las comunicaciones, internet, bases de datos y archivo y trasmisión de imágenes. Se excede así el concepto habitual de la medicina, impactando también a los individuos que reciben diagnósticos y procedimientos. Se puede pensar que esta actividad contribuye al mejoramiento en la prestación del servicio de salud, sobre todo, en comunidades apartadas de difícil acceso. El uso de la telemedicina también permitiría la reducción de costos médicos y generaría optimización del tiempo del personal médico. Sin embargo, aún no se logra un acuerdo concluyente sobre los criterios, parámetros, ventajas y desventajas del uso de la telemedicina, por considerar que aún no se ha establecido el verdadero impacto sobre el bienestar y la salud de quienes son atendidos a través de ella.

Otro de los aspectos que llama la atención sobre esta actividad, tiene que ver con si se cuenta o no, en las regiones apartadas hacia las que va dirigida la telemedicina, con una red de telecomunicaciones adecuada o aceptable, que sirva efectivamente para responder a las necesidades de estas comunidades, además de sugerir otra pregunta complementaria, y es si el personal médico y los usuarios de la telemedicina están suficientemente capacitados en el manejo de las computadoras.

Y por último, con respecto a éste modelo de atención, aún no se han empezado a hacer las consideraciones éticas sobre la atención del paciente y la función del médico en el momento del diagnóstico. Aquí también aplica la preocupación por la despersonalización del acto médico (diagnóstico o terapéutico) de la que hablaste arriba y creo importante mencionarlo. En éste sentido es necesario que para la implementación de la telemedicina se tengan presentes los principios de Respeto a la dignidad de la persona humana, de responsabilidad, privacidad y precaución, por considerar que dicha actividad debe fundamentar su actuación en ellos. El principio de Justicia, en cuanto el alto costo de los recursos necesarios de las nuevas tecnologías por lo que se

hace necesario realizar los estudios previos para certificar su eficacia y eficiencia, El principio de proporcionalidad ya que el uso de la nueva tecnología trae como consecuencia, tanto un mal uso de ella, como el consumo excesivo de la misma, obligando a desviar fondos y desamparando la atención de otras necesidades primarias.

## CONCLUSIONES

Existe una relación intrínseca entre la práctica de la ingeniería biomédica y la bioética, ya que ésta no es simplemente la aplicación de tecnologías, sino que, al estar directamente relacionada con la práctica de otros profesionales - médicos, enfermeras, rehabilitadores, fonoaudiólogos, psiquiatras entre otros-; él, de manera indirecta requiere, además del conocimiento, fundamentar su profesión en principios éticos que propendan por la salvaguarda de la vida de los pacientes a quienes se les aplica la tecnología biomédica que él diseñó o produjo.

El profesional de ingeniería biomédica debe analizar los avances científico - tecnológicos, valorando las consecuencias positivas y negativas que puedan tener en los pacientes a los cuales se les va a aplicar. Y como profesional debe tener claro que todas las decisiones de carácter profesional que tome son trascendentales para la vida del ser humano, su cuidado y preservación.

Los avances científicos y tecnológicos que desde la ingeniería biomédica se han alcanzado, también han generado múltiples problemas éticos que tienen que ver con el aumento de la expectativa de vida, la ingeniería genética, el control de la natalidad, las técnicas de soporte vital, etc.; que han llevado a generar nuevos cuestionamientos sobre el significado de la vida humana y su relación con el mundo que la rodea. Es por esto que, el estudio de la Bioética cada día cobra más interés para intentar comprender los retos que plantean los avances científico - tecnológico cuando son aplicados a la vida humana. Estos avances, además de plantear interrogantes y contradicciones, también implican el gran desafío de no perder de vista lo realmente importante: la preservación de principios rectores sobre la vida y dignidad humana.

Si bien es cierto, todos estos avances le han servido a la humanidad para comprender mejor al ser humano, también han generado múltiples problemas éticos al pensar en la vida humana como un objeto de investigación o de intervención tecnológica, olvidándose de los principios fundamentales que buscan proteger la dignidad, el valor incalculable de cada ser humano.

No se puede seguir creyendo que la investigación científica sea válida simplemente por el hecho de ser capaz de producir nuevos conocimientos, o por la imperiosa necesidad de someter a la naturaleza y bajo la excusa de que puede ser beneficiosa para la humanidad. Es necesario entender y trabajar globalmente para que se logre poner límites a la investigación científica, ya que no se pueden esconder abusos contra la dignidad de la vida humana, detrás de los avances científico - tecnológicos. En este sentido las sociedades de todo el mundo han mostrado avances al reconocer la importancia de la Bioética en la práctica médica y en la investigación en salud. La Bioética está presente en las comisiones de bioseguridad, comités de bioética, en los centros de educación superior y en muchas otras instancias; intentando, de manera colaborativa e interdisciplinaria, regular las prácticas médicas y el uso de la ciencia y la tecnología en relación con la vida humana.

La ciencia y la tecnología han permitido llevar a cabo intervenciones quirúrgicas complejas como las realizadas con el uso de la Telemedicina, la Robótica, la Bioinformática, la micro y nano tecnología y la ingeniería clínica, entre otras; se han logrado avances insospechados para la humanidad. Sin embargo, con dichas actividades se han abierto múltiples discusiones sobre problemas éticos que tienen que ver directamente con los conceptos de vida, calidad de vida, bienestar y principios éticos, que ya no se quedan solamente en el plano de la actuación individual, sino que cada vez se visualizan sus repercusiones en el ámbito global de la humanidad.

Aunque el hombre en el transcurrir de la historia ha pensado en alcanzar la inmortalidad, es importante recordar que es necesario retornar la mirada sobre lo natural de la vida, que tiene que ver con sus inicios, su desarrollo, conservación y término, lo que nos obliga a pensar en la vida desde perspectivas más amplias, dónde lo importante no es solamente el cuidado del cuerpo y la mente, sino que es necesario indagar por principios rectores que regulan la permanencia del hombre y su desarrollo. No como objetos, sino como sujetos responsables y solidarios, que entienden el verdadero valor de la vida humana y su dignidad inalienable.

Por tanto, este trabajo contribuye, de alguna manera, a la necesidad de centrar la mirada desde la Ingeniería biomédica sobre las verdaderas implicaciones de su actividad ingenieril con respecto a la vida del ser humano y a su dignidad. Se puede decir que es un llamado a estudiar y reforzar el concepto de la vida que desde la Ingeniería Biomédica se maneja, por esto en el ámbito académico es necesario reforzar e institucionalizar el estudio de la aplicación de principios éticos no sólo con respecto a lo que tiene que ver con el mantenimiento y la reparación de equipos, sino que se debe centrar en entender que esos equipos van a ser aplicados en personas y que por lo tanto el ingeniero es responsable directo, también, del bienestar y cuidado de la vida del paciente.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Hernández Sampieri, R. Metodología de la Investigación. México. Mc Graw Hill, 1991.
- (2) Ingeniería Biomédica. Gobierno de la Provincia de Misiones Argentina. (<http://www.misiones.gov.ar/>) [En línea] Consultado 20 de Marzo de 2010. Disponible en: [\[http://www.salud.misiones.gov.ar/index.php?option=com\\_content&task=view&id=2228\]](http://www.salud.misiones.gov.ar/index.php?option=com_content&task=view&id=2228)
- (3) Orduña, W.; Quiroga, D. BIOMÉDICA. Fundación Universitaria Castellanos. (<http://www.slideshare.net>) [En línea] Consultado 26 de marzo de 2010. Disponible en: [\[http://www.slideshare.net/zulith93/biomedica-3115735\]](http://www.slideshare.net/zulith93/biomedica-3115735)
- (4) Ciccone, L. Bioética: Historia, principios, cuestiones. [En línea]. Madrid, España. Consultado 25 de Abril de 2010. Disponible en: [\[http://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=wxrWiRsUI1MC&oi=fnd&pg=PA14&dq=Vent%27anni+di+bioetica:+idee,+protagonisti,+istituzioni,+Padua+199.+Gracias+D.+Fundamentos+de+Bio%C3%A9tica+Madrid&ots=7ij0oSE-TU&sig=5DNZ-xpfwzHfleNQBeg9sf921X4#v=onepage&q&f=false\]](http://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=wxrWiRsUI1MC&oi=fnd&pg=PA14&dq=Vent%27anni+di+bioetica:+idee,+protagonisti,+istituzioni,+Padua+199.+Gracias+D.+Fundamentos+de+Bio%C3%A9tica+Madrid&ots=7ij0oSE-TU&sig=5DNZ-xpfwzHfleNQBeg9sf921X4#v=onepage&q&f=false)
- (5) Espejo, M. Castilla, A. Bioética en las ciencias de la Salud. Historia y definición de la Bioética. Granada. Asociación Alcalá. 2001.
- (6) Blazquez, N. Pastor, L. Bioética Fundamental. Madrid. Biblioteca de Autores Cristianos. 1996.
- (7) Sgreccia, E. Manual de Bioética. 3ra Edición. México. Editorial Diana. 1994.
- (8) Guerra, Rodrigo. Medicina y Ética. Revista Internacional de Bioética, Deontología y ética Médica. Abril – Junio de 2009. Volumen XX, Numero II.
- (9) León, F. Dignidad humana, libertad y bioética. Persona y Bioética. (<http://personaybioetica.unisabana.edu.co/>) [En Línea] Consultado 23 de marzo de 2010. Disponible en:

[<http://personaybioetica.unisabana.edu.co/index.php/personaybioetica/article/viewArticle/589/1327>]

(10) Frosini, T. Subsidiariedad y Constitución. (<http://www.cepc.es/>) [En línea].

Consultado 20 de Abril de 2010. Disponible en:  
[http://www.cepc.es/rap/Publicaciones/Revistas/3/REPNE\\_115\\_017.pdf](http://www.cepc.es/rap/Publicaciones/Revistas/3/REPNE_115_017.pdf)

(11) ARANGO, P. Necesidad de los principios. Pero, ¿cuáles principios?. Persona y Bioética. 2003 No. 19. 70-83

(12) Azpiroz, J. Ingeniería Biomédica, (<http://web.mac.com>) [En línea]. Consultado Marzo 18 de 2010. Disponible en:  
[http://web.mac.com/ci3m/Site\\_3/Material\\_Adicional\\_files/IngBiomed1.pdf](http://web.mac.com/ci3m/Site_3/Material_Adicional_files/IngBiomed1.pdf)

(13) Hernández, M. La bioingeniería en Colombia, por el camino de las alianzas estratégicas. [En línea] Consultado 22 de Abril de 2010. Disponible en:  
[http://www.google.com.co/search?hl=es&source=hp&q=La+bioingenier%C3%A1+en+Colombia%2C+por+el+camino+de+las+alianzas+estrat%C3%A9gicas+.&rlz=1R2GGGLL\\_esCO339&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs\\_rfai=](http://www.google.com.co/search?hl=es&source=hp&q=La+bioingenier%C3%A1+en+Colombia%2C+por+el+camino+de+las+alianzas+estrat%C3%A9gicas+.&rlz=1R2GGGLL_esCO339&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai=)

(14) Los posgrados del Siglo XXI. Revista Semana. (<http://www.semana.com>) [En línea]. Consultado 20 de Abril de 2010. Disponible en:  
[http://www.semana.com/wf\\_ImprimirArticulo.aspx?IdArt=20974](http://www.semana.com/wf_ImprimirArticulo.aspx?IdArt=20974)

(15) Perfil Profesional del Ingeniero Biomédico. Escuela Colombiana de Carreras Industriales ECCI. ([www.ecci.edu.co](http://www.ecci.edu.co)) [En línea]. Consultado 2 de Mayo de 2010. Disponible en:  
[http://www.ecci.edu.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=45%3Aingenieria-biomedica&catid=15%3ACiclo+Profesional&Itemid=43&limitstart=2](http://www.ecci.edu.co/index.php?option=com_content&view=article&id=45%3Aingenieria-biomedica&catid=15%3ACiclo+Profesional&Itemid=43&limitstart=2)

(16) Perfil Ocupacional del Ingeniero Biomédico. Escuela Colombiana de Carreras Industriales ECCI. ([www.ecci.edu.co](http://www.ecci.edu.co)) [En línea]. Consultado 2 de Mayo de 2010. Disponible en:  
[http://www.ecci.edu.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=45%3Aingenieria-biomedica&catid=15%3ACiclo+Profesional&Itemid=43&limitstart=2](http://www.ecci.edu.co/index.php?option=com_content&view=article&id=45%3Aingenieria-biomedica&catid=15%3ACiclo+Profesional&Itemid=43&limitstart=2)

(17) Torres, E. ¿Y qué hace el Ingeniero Biomédico? (<http://ing-biomedica.blogspot.com>). [En Línea]. Consultado 15 de Abril de 2010. Disponible en: [<http://ing-biomedica.blogspot.com/2007/08/y-qu-hace-el-ingenero-biomedico.html>]

- (18) Carroll, M.; Ciaffa, J. El proyecto genoma humano: Una revisión científica y ética. (<http://www.actionbioscience.org>). [En Línea]. Consultado 18 de Mayo de 2010. Disponible en: [[http://www.actionbioscience.org/esp/genomica/carroll\\_ciaffa.html](http://www.actionbioscience.org/esp/genomica/carroll_ciaffa.html)]
- (19) Lacadena, L. Terapia Génica. (<http://cerezo.pntic.mec.es>). [En Línea]. Consultado 22 de Mayo de 2010. Disponible en: [<http://cerezo.pntic.mec.es/~jlacaden/tgenica5.html>]
- (20) Biomateriales. (<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx>) [En Línea]. Consultado 17 de Abril de 2010. Disponible en: [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/37/htm/sec\\_14.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/37/htm/sec_14.htm)
- (21) Ramón, G. Que es Biomecánica. [En Línea]. Consultado 20 de Mayo de 2010. Disponible en: [[viref.udea.edu.co/contenido/menu\\_alterno/apuntes/ac09-intro.pdf](http://viref.udea.edu.co/contenido/menu_alterno/apuntes/ac09-intro.pdf)]
- (22) Biotecnología. (<http://www.casafe.org>) [En Línea]. Consultado 26 de Abril de 2010. Disponible en: [<http://www.casafe.org/biotecnologia.html>]
- (23) Taborda, R. El Ingeniero Clínico y su rol en un Hospital. [En Línea]. Consultado 12 de Mayo de 2010. Disponible en: [<http://www.nib.fmed.edu.uy/Seminario%202006/Trabajos%20estudiantes%202006/Taborda,%20Rodrigo.pdf>]. 1-5
- (24) Metrología. (<http://www.sitenordeste.com>) [En Línea]. Consultado 15 de Abril de 2010. Disponible en: [<http://www.sitenordeste.com/mecanica/metrologia.htm>]
- (25) Nanotecnología. (<http://www.euroresidentes.com>) [En Línea]. Consultado 18 de Mayo de 2010. Disponible en: [[http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/nanotecnologia\\_que\\_es.htm](http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/nanotecnologia_que_es.htm)]

- (26) Que es la Robótica. (<http://www.roboticspot.com>) [En Línea]. Consultado 12 de Mayo de 2010. Disponible en: [<http://www.roboticspot.com/robotica/robotica.shtml>]
- (27) Ingeniería biónica, el sueño de lo posible: integrar al hombre y la máquina. (<http://medicablogs.diariomedico.com>) [En Línea]. Consultado 14 de Mayo de 2010. Disponible en: [<http://medicablogs.diariomedico.com/santos/tag/cibernetica/>]
- (28) Telemedicina. (<http://www.drgdiaz.com>) [En Línea]. Consultado 10 de Mayo de 2010. Disponible en: [<http://www.drgdiaz.com/eco/telemedicina/index.shtml>]