

# 7

## LA BIOINGENIERIA, TECNICA INTERDISCIPLINARIA

\* John Bustamante Osorno

### RESUMEN

---

Se hace una revisión del desarrollo de la Bioingeniería, como una técnica interdisciplinaria en la que participan médicos, biólogos, ingenieros, físicos, matemáticos, ingenieros de sistemas y químicos. Se resalta el aporte de la Bioingeniería en la práctica médica, tanto en la investigación como en el diagnóstico y tratamiento.

**Palabras clave:** Bioingeniería, técnica interdisciplinaria.

### SUMMARY

---

A review is made of the development of the Bioengineering as an interdisciplinary technique in which participate physicians, biologists, engineers, physicist, mathematicians, system engineers and chemists. The contributions of Bioengineering in medical practice, in research as well as in the diagnosis and treatment, are remarked.

**Key words:** Bioengineering, interdisciplinary technique.

---

\* *Doctorado Bioingeniería, Instituto de Cibernética (Universidad Politécnica de Cataluña - Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España) Barcelona - España. Investigador Grupo de Bioingeniería, Centro de Investigaciones para el Desarrollo Integral CIDI Universidad Pontificia Bolivariana), Medellín - Colombia.*

## LAS NUEVAS TECNOLOGIAS

Los enormes progresos realizados por la medicina curativa y preventiva en los últimos años, gracias a la contribución de la física, la química y las ciencias de la información, no sólo han influido en las modalidades de la asistencia médica y sanitaria, sino que están transformando el contenido y la práctica de la propia profesión médica. Con los nuevos ambientes de la moderna sociedad científica, son muchas las actividades que han tomado perfiles diferentes. El engranaje de la ciencia en su continuo movimiento gesta nuevas realidades y hace necesarias innovaciones que se adapten a estas nuevas circunstancias. Viajar a la par con dichos avances permite el interactuar y reunir recursos en busca de soluciones a aquellos problemas que aquejan a la humanidad, como acceder al conocimiento por sí mismo.

Gracias a la estrecha participación de múltiples disciplinas, podemos contar hoy con grandes adelantos tecnológicos, los cuales nos brindan las herramientas necesarias para adentrarnos más en el difícil campo de la investigación y trabajar para el desarrollo de las ciencias.

Continuamente manifestando que vivimos una época de especialización. Ahora bien, ello no es impedimento para que las diversas ciencias establezcan entre sí vínculos cada vez más estrechos. La Biofísica y la Bioquímica son un ejemplo de este acercamiento, así como las técnicas interdisciplinarias básicas de la Bioingeniería, como son la Bioinstrumentación, la Biomecánica, la Bioelectrónica y la Biocibernética.

## LA BIOINGENIERIA

### 1. INTRODUCCION

Sólo hacia el siglo XVII se inició la observación de los aspectos biológicos por par-

te de la física. Antes, una y otra rama: la física y la biología, se consideraban por separado como ciencias que no tenían ninguna relación. La física, se decía, sólo era aplicable a los objetos inanimados (1,2).

Para los biólogos, el concepto mismo de la vida partía de un mero axioma, y desde este punto se desarrollaba todo su trabajo. Para los matemáticos y físicos su contacto con el entorno biológico partía de aislados cuestionamientos, preguntas que encausaban explicaciones a fenómenos físicos dados y que poco a poco llevó a tratar grandes grupos de procesos observados en el ente biológico.

Hoy en día la aplicación de métodos físicos exactos en el análisis de los organismos vivos han proporcionado datos de mucho significado para el conocimiento de su funcionalidad: los fenómenos biomecánicos y bioeléctricos que en él participan, y en general de cómo se ejercen las interrelaciones de unos y otros para llevar a cabo las funciones dentro de estos organismos (3).

Estas áreas de trabajo, la biomecánica, la bioelectrónica y la biomatemática en general, han llevado por una nueva vía de evolución a las disciplinas biológicas y médicas, en las que sólo se había distinguido una etapa cualitativa que evoluciona según se adentra en los conocimientos anatómicos y taxonómicos, puramente descriptivos. Pero de otro lado, el descubrimiento de leyes y la capacidad de realizar medidas llevan ya a una etapa cuantitativa, indicando que se pasa de una disciplina considerada hasta el momento como un arte, a una disciplina como ciencia.

En el campo de la investigación de los sistemas vivos no es suficiente el tener el objeto a estudiar y unos conocimientos previos, quizás extrapolados de otros estudios. Se necesita de un montaje técnico que en ocasiones puede ser sofisticado y de algu-

na manera complejo, lo que hace imperativa la colaboración interdisciplinaria de los equipos de trabajo en los que se incluyen médicos, biólogos, ingenieros, físicos, matemáticos, ingenieros de sistemas y químicos, entre otros. Cada uno aporta todo aquello de su área del conocimiento, no queriendo decir con ello que trabajen de forma aislada en el grupo, sino que por el contrario, a la vez que se entrega la información y los conocimientos pertinentes, también buscan lazos de unión entre el equipo.

Precisamente de esta interdisciplinaria nace la técnica llamada BIOINGENIERIA, que estudia y busca la aplicación de principios y métodos de las ciencias exactas, en general, y de la ingeniería, en particular, para la solución de problemas de las ciencias biológicas y médicas.

## 2. ANTECEDENTES DE LA BIOINGENIERIA

La idea de estudiar el cuerpo humano con criterios mecánicos no es nueva. Las primeras observaciones sistemáticas de los movimientos humanos fueron llevados a cabo por Leonardo da Vinci (1452-1519). Durante el Renacimiento, Galileo y Newton establecieron las bases experimentales y teóricas para analizar el movimiento. La obra de Alfonso B. Borelli (1608-1679), discípulo de Galileo, "De Motu Animalium", cuya primera parte apareció en el último año de vida del autor, describe el cuerpo humano en términos mecánicos y matemáticos y expone las leyes del movimiento, la contracción muscular, la geometría de los movimientos, la resistencia y los efectos de palanca que entrañan los movimientos de flexo-extensión de los miembros. Borelli reunía las características de un Bioingeniero moderno que se doctoró en medicina en Nápoles y más tarde fue profesor de matemáticas en Pisa. Aristóteles, Descartes y Sanctorius fueron

también representantes de esta escuela de mecanicistas. Serían estos investigadores los iniciadores de la Biomecánica (3).

Hacia el siglo XVIII el mundo científico se encontraba en efervescencia, tanto como el mundo político (Revolución Francesa). Luigi Galvani (1737-1798), médico obstetra, había descubierto en 1791 que los músculos de la rana se contraían cuando se les tocaba simultáneamente con dos metales distintos. Según él, el tejido vivo poseía "Electricidad Animal". Este trabajo fue publicado por Galvani en "Bononiensi scientiarum et artium instituto atque academia commentari". Alessandro Volta (1745-1827), físico, dudó de la explicación de Galvani y demostró que la yuxtaposición de dos metales diferentes podía mantener una corriente eléctrica sin la presencia del tejido vivo. Esto generó una famosa y productiva controversia entre ambos investigadores que condujeron a los actuales conocimientos de la Bioelectrónica (3).

A partir de estos principios conocidos se desarrolló otra especialidad interdisciplinaria y básica de la bioingeniería, la Biomatemática, que trata de introducir el formalismo y el rigor de las matemáticas en las ciencias biológicas (4). El matemático Leonard Euler escribió en 1775 un tratado sobre los fenómenos cardiovasculares relacionados con la propagación de las ondas, trabajo que fue pobremente difundido. A éste lo siguieron otros como Otto Franck, en 1899, quien revivió el tratado de Euler y publicó otros trabajos sobre el tema. Diversos enfoques matemáticos fueron dados con respecto a la excitación nerviosa hacia finales del siglo XIX. Braune y Fischer presentaron a comienzos de este siglo una teoría matemática de la locomoción humana.

En 1925 apareció el libro titulado "Elementos de Física Biológica", escrito por A.J.

Lotka, en el que se intentó abarcar toda la Biología en un estudio matemático. Algunos de los trabajos fueron continuados por Volterra quien en 1931 publicó el libro "Leçons sur la Théorie Mathématique de la Lutte pour la Vie" (3).

En 1926 Nicolas Rashevsky, físico y matemático, buscando la aplicación del razonamiento físico a ramas especiales de la Biología, concibió la idea de desarrollar una matemática biológica que cubriera todo el campo de la biología y acuñó el término de "Biofísica". Aceptando que un campo limitante como el de la Biofísica obtendría grandes beneficios de la cooperación entre biólogos, que podrían poseer pocos conocimientos de la física; y físicos, que podrían tener pocos conocimientos de la Biología. En 1939 Rashevsky fundó el "Bulletin of Mathematical Biophysics", que se convirtió en la primera publicación interdisciplinaria de carácter internacional.

Posteriormente se llega a la confluencia de las diferentes líneas de trabajo que constituyen la base de la Bioingeniería. Confluencia acelerada a partir de 1940, donde cabe mencionar la gran influencia del grupo de Norbert Wiener con sus trabajos en Cibernética (Ciencia del Control), publicado en su libro clásico "Cybernetics" en el que se revisan los sistemas biológicos de control, analizando sus posibles lazos de realimentación mediante la aplicación de técnicas clásicas de la Ingeniería, lo que dio origen a la Biocibernética (5).

En 1958, un grupo de investigadores dedicados al trabajo en el área de la Bioingeniería se reunieron en París con el objeto de conformar una asociación internacional que representara y uniera los grupos de trabajo en Ingeniería Biológica y Médica. El organismo quedó oficialmente constituido al siguiente año (1959), y así nació la Federación Internacional de Ingeniería Biológica y Médica, que publica periódica-

mente la Revista "Medical and Biological Engineering and Computing".

### 3. PRINCIPIOS Y APLICACIONES DE LA BIOINGENIERIA

Desde 1977 el Comité de Educación del Group of Engineering in Medicine and Biology of Institute of Electrical and Electronics Engineers dividió la Bioingeniería en tres grandes áreas:

- 3.1 Bioingeniería o Ingeniería Biológica: considerada como la más general y básica. Se refiere a la biología como un todo, trata de descubrir nuevos fenómenos en los procesos biológicos e intenta clarificar otros ya conocidos. En ésta, la Medicina sería parte de la Biología.
- 3.2 Ingeniería Biomédica o Ingeniería Médica: contenida en la anterior, orientada hacia el hombre, más pragmática, con la intención de controlar las enfermedades e investigar problemas básicos y aplicados.
- 3.3 Ingeniería Clínica: la más joven de estas tres divisiones, dirigida a los problemas asistenciales de salud, de hospitales y de servicios de urgencia.

Estas tres grandes áreas no se deben separar por cuanto persiguen un similar y paralelo objetivo, el de procurar el bienestar humano. Es así como la Ingeniería y la Medicina procuran en última instancia el desarrollo del mismo objetivo:

Ingeniería: trata de mejorar, mantener y restablecer el bienestar humano aplicando conocimientos de las ciencias exactas.

Medicina: trata de mejorar, mantener y restablecer la salud humana aplicando conocimientos de las ciencias biológicas.

Se pueden clasificar en dos grandes grupos las contribuciones y campos de aplicación de la Bioingeniería a la Medicina:

La primera es el estudio de los aspectos mecánicos y eléctricos de los sistemas biológicos. Cabe dentro de este grupo el estudio de las respuestas del organismo en general a las influencias del entorno, fenómenos endógenos y exógenos, y lo referente al procesado de señales, así como los programas de investigación por medio de técnicas de simulación (6,7).

La segunda, ocupa el campo del manejo de aquellos trastornos que afectan el organismo humano. Entre este grupo se encuentra la fabricación de instrumentos y aparatos para el diagnóstico, el tratamiento y la rehabilitación.

En una obra de David Fishlock sobre la relación entre el hombre y la máquina (Man Modified. Cape, Londres, 1969), el autor analiza la colaboración entre el médico y el ingeniero bajo los siguientes epígrafes: El Hombre medido, el Hombre ampliado, el Hombre imitado y el Hombre trasplantado.

#### **4. DISCIPLINAS QUE ARMAN, ESTRUCTURAN Y COMPONENTEN LA BIOINGENIERIA**

##### **4.1. Ciencias Básicas Generales:**

4.1.1 Biología, Fisiología y Química.

4.1.2 Física y Matemáticas.

4.1.3 Electrónica y Computación.

##### **4.2. Ciencias Básicas Interdisciplinarias:**

4.2.1 Biofísica.

4.2.2 Biomatemática.

4.2.3 Bioquímica.

##### **4.3. Disciplinas Componentes:**

4.3.1 Bioinstrumentación.

4.3.2 Bioelectrónica.

4.3.3 Biomecánica.

4.3.4 Biocibernética.

4.3.5 Biónica.

4.3.6 Bioinformática.

4.3.7 Procesamiento de señales biológicas.

#### **5. FORMACION Y ESTADO ACTUAL DEL BIOINGENIERO**

La Bioingeniería tiene ya un prontuario de varios años. En los Estados Unidos el primer plan de estudios de Bioingeniería se inició en 1952; 13 años después, en 1965, existían 61 programas en funcionamiento. Hoy se pueden encontrar grupos dedicados al trabajo en el área de Bioingeniería en todos los países desarrollados y se han creado múltiples asociaciones en todo el mundo.

Aunque la combinación de dos carreras tan distintas como la Medicina y la Ingeniería no corresponde a las tendencias actuales de la formación de Ingenieros Biomédicos, de hecho el Bioingeniero debe dominar perfectamente el lenguaje de ambas profesiones.

La mayoría de los actuales programas de estudios en Bioingeniería están destinados a los médicos y/o los ingenieros y en consecuencia concebidos para que el alumno adquiera una formación básica de la disciplina con la que no está familiarizado. Los centros docentes se ven así obligados a prever dos modalidades de formación inicial: cursos intensivos de física y matemáticas para los médicos y biólogos, y cursos intensivos de fisiología y biología para los físicos e ingenieros. Estos cursos pueden durar uno o dos años, al cabo de los cuales el estudiante se encuentra en condiciones de abordar los estudios y trabajos de investigación comunes que le llevarán a obtener el título de Bioingeniero.

La formación de Ingenieros Biomédicos tiene que ajustarse a diferentes especialidades y por lo tanto es necesario que se establezcan programas independientes de especialización en Ingeniería Clínica e Ingeniería Médica. De otro lado, se debe fomentar tanto la formación de investigadores y personal docente, como personal capacitado al manejo y reparación de instrumentos y aparatos que hoy son un elemento indispensable en la sanidad.

Actualmente el mundo de la investigación médica absorbe una elevada proporción de Ingenieros Biomédicos, también muy solicitados por las industrias en el ramo. En cambio, los servicios de asistencia médica y organización sanitaria apenas hacen uso por ahora de los Ingenieros Biomédicos, aunque es probable que no tarden en hacerlo en mayor grado.

En nuestro país existe un enorme retraso en este campo, que obedece a la poca flexibilidad de los programas de estudios, la dificultad de incorporar nuevos sistemas de formación en un contexto tradicional y de otro lado, la situación económica que limita la inversión en programas de tecnología de punta.

## 6. CONCLUSION

El desarrollo de la Bioingeniería es fruto del esfuerzo multidisciplinario de ingenieros, físicos, médicos y biólogos. El Ingeniero y el Matemático, apoyados en sus conocimientos técnicos, buscan nuevos campos de trabajo y los han encontrado en el estudio del ente biológico. El Médico y el Biólogo han comprendido la importancia de la tecnología en el diagnóstico, la reparación y la reconstrucción de sistemas humanos, aportes que pueden proporcionarle los primeros. El desarrollo de nuevas tecnologías para la miniaturización ha proporcionado a la medicina circuitos in-

tegrados muy sensibles y precisos para medir diversos parámetros biológicos. El perfeccionamiento de microdispositivos para hacer funcionar múltiples equipos como marcapasos, prótesis, instrumental endoscópico, entre otros, ha mejorado la capacidad de intervención en el cuerpo humano. La obtención de nuevos materiales ha ampliado el campo de aplicación de las Bioprótesis (8).

El mundo moderno, quiéralo o no, ha de acostumbrarse a convivir con las máquinas. De este modo, el médico y el ingeniero están llamados a encontrarse en este gran complejo "Hombre-Máquina", creado dentro del engranaje tecnológico actual y que dominará la mayoría de los aspectos del mundo del mañana. Por lo tanto se hace necesario acrecentar el diálogo entre ambas profesiones y para ello se debe obtener un lenguaje unificado. No ha sido fácil unir dos ramas de la ciencia sin que surjan problemas, sin embargo, es ya un hecho que la Ingeniería y la Medicina tienden cada vez más a acercarse.

## REFERENCIAS

1. González, P. M. Las raíces del cálculo infinitesimal en el siglo XVII. Alianza Universidad (Eds.). 1992. Madrid.
2. Bustamante Osorno, J. Biofísica de membranas biológicas. Revista Selecta Médica. G. Mejía (Ed.). Año 4. No. 1; 1993: 4-5. Santafé de Bogotá.
3. Mompin Poblet, J. et al. Introducción a la Bioingeniería. Marcombo-Boixareu (Ed.) 1988. Barcelona.
4. Finkelstein, L. y Carson, E.R. Mathematical modelling of dynamic biological system. D.W. Hill (Ed.), John Wiley & Sons inc. 1986. New York.
5. Moreno Díaz, R. y Mira Mira, J. Biocibernética: Implicaciones en biología, medicina y tecnología. Siglo XXI de España (Ed.). 1984. Madrid.

6. Bustamante Osorno, J. Aplicaciones de la simulación por computador en la investigación biomédica. Instituto de Cibernética (Universidad Politécnica de Cataluña - Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España) y el Instituto de Investigaciones del Hospital Santa Creu i Sant Pau. 1994. Barcelona.
7. Bustamante Osorno, J. Nueva era en el estudio de los sistemas biológicos: "Programas de simulación". Revista Selecta Médica. G. Mejía (Ed.). Año 5. No. 1; 1994: 8-9. Santafé de Bogotá.
8. Mompin Poblet, J. et al. La electrónica en la medicina. Marcombo-Boixareu (Ed.). 1986. Barcelona.