

La bioingeniería en Colombia, por el camino de las alianzas estratégicas

Mauricio Hernández Valdivieso, mhernand@udea.edu.co
Coordinador Ingeniería Clínica, Programa de Bioingeniería
Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

I. INTRODUCCIÓN

La bioingeniería, y en particular la ingeniería biomédica, que es una de sus áreas más destacadas, se ha caracterizado y diferenciado de muchas otras disciplinas por su desarrollo multidisciplinar, que a diferencia de otras profesiones combina la ciencia, la ingeniería, y la práctica clínica. Es por esto que el ingeniero biomédico actúa como un canal entre estos campos del conocimiento y sus profesionales originalmente han provenido de áreas tan diversas como la medicina, la ingeniería y las ciencias exactas y naturales. Se ha evaluado la evidente relación que existe entre el desarrollo de la ingeniería biomédica y el de las películas de ciencia ficción con el fin de resolver el controversial cuestionamiento de si la ingeniería imita al arte o viceversa y el resultado ha sido una correlación no lineal entre los dos, demostrando además que las ideas presentadas por la ciencia ficción han llevado la delantera a los desarrollos en la ingeniería biomédica, exceptuando el período comprendido entre los años 30 y el principio de los 60 [1]. Este resultado no es extraño para la mayoría de profesionales que venimos trabajando en este campo desde el siglo pasado. En mi generación tuvimos un primer contacto con la bioingeniería frente a la pantalla del televisor viendo la mundialmente conocida serie “*El hombre nuclear*”, basada en la novela *Cyborg* de Martin Caidin [2]. En dicha serie, que en el resto del mundo fue conocida como “*The six million dollar man*”, un astronauta y piloto de pruebas sufre un terrible accidente durante un vuelo experimental, pierde ambas piernas, el brazo derecho y la visión en uno de sus ojos. Según la trama, una agencia gubernamental de los Estados Unidos de América, que tenía entre manos un proyecto llamado “*Biónica*”, toma al piloto como sujeto de pruebas reemplazando sus miembros perdidos por partes cibernéticas. Estos nuevos miembros le proporcionan una fuerza enorme, además de gran velocidad y capacidades de visión telescópica e infrarroja. Gracias a esta serie y otras subsiguientes, términos como cibernética no resultan extraños para casi nadie y no sorprende que los primeros laboratorios de investigación en ingeniería biomédica en el mundo se llamaran laboratorios de cibernética.

II. EXPERIENCIAS Y DESARROLLO DE LA BIOINGENIERÍA EN COLOMBIA

Al iniciar la carrera de ingeniería electrónica en la Universidad de Antioquia, tuve la oportunidad de asistir a algunas conferencias dictadas por los profesores Fabio León Pizarro y Mauricio Wilches Zúñiga, en las cuales de manera formal y con gran entusiasmo, los profesores presentaban sus trabajos en bioingeniería, y fue en ese momento, al percibir la pasión con la que se entregaban a esta disciplina, cuando tomé la decisión de orientar mi vida profesional en dicho sentido.

Es bien conocido que los programas de ingeniería biomédica se iniciaron formalmente en el mundo en la década de los años 60 [3]. En Colombia no se ha realizado todavía un estudio detallado y sobretodo imparcial sobre la historia de la bioingeniería. Sin embargo, en los congresos y jornadas académicas y científicas de las últimas décadas suelen citarse algunos hitos de colombianos destacados en el área, como el marcapasos y la biotelemedicina 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. Desde el punto de vista de las instituciones educativas, en la Universidad de Antioquia se ofreció el área de electromedicina en el programa de ingeniería electrónica desde 1979 y un área de énfasis en bioingeniería desde 1986. Pero simultáneamente, e incluso antes, otras universidades como la Pontificia Universidad Javeriana, la Universidad Nacional, la

Universidad de los Andes, la Universidad Industrial de Santander, la Universidad del Valle y la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia, venían desarrollando proyectos en las áreas de física médica, electromedicina e ingeniería biomédica.

El posicionamiento actual de la profesión y su reconocimiento en la sociedad se ha conseguido parcialmente en el área de ingeniería clínica y, en mi concepto, debido a necesidades planteadas por la legislación a nivel nacional y regional, y no como resultado de la concientización de los gerentes, administradores y personal asistencial de las instituciones prestadoras de servicios de salud. En muchas entidades se cuenta con ingenieros biomédicos que se desempeñan a nivel técnico, de hecho se les valora como tal, y el verdadero rol del ingeniero clínico existe solamente en el papel. En este sentido hace falta reglamentación por parte de las entidades gubernamentales responsables porque no podemos seguir esperando diagnósticos de expertos extranjeros para tomar medidas tardías, cuando los problemas han sido identificados plenamente. Uno de los decretos que abrió camino para profesionales en el área de la ingeniería clínica fue el 1769 de 1994 que regula las exigencias en mantenimiento hospitalario. Mil novecientos noventa y cuatro, es decir, más de 30 años después de que los ingenieros Jorge Reynolds, Ignacio Escobar y otros, demostraran la imperante necesidad de que un ingeniero trabajara de la mano de los médicos, a su nivel, en la búsqueda de soluciones clínicas y tecnológicas. En años recientes han surgido resoluciones y decretos ministeriales relacionados con habilitación y acreditación que han forzado a muchas IPS a crear servicios de ingeniería clínica, pero son contadas las empresas que han implementado unidades funcionales de ingeniería clínica con todo el personal necesario y la correspondiente dotación para dicha labor. No obstante, el panorama no es totalmente desolador debido a que la masa crítica de ingenieros biomédicos ha crecido y su profesionalismo y la calidad de la formación que han recibido empieza a transformar sustancialmente el medio.

En lo que respecta a las empresas distribuidoras y fabricantes de equipos biomédicos, sin tener en cuenta las multinacionales, las empresas mejor valoradas en el medio, que además se han podido adaptar a los constantes cambios del mercado, surgieron de la experiencia y emprendimiento de ingenieros, físicos y médicos formados durante los últimos treinta años en las universidades que apostaron por líneas de profundización en bioingeniería, electromedicina, física médica o ingeniería biomédica. En el caso de la gran mayoría de ingenieros egresados del programa de electrónica con énfasis en bioingeniería de la Universidad de Antioquia durante los años noventa, nuestra vinculación a empresas distribuidoras de equipos biomédicos ocurrió incluso antes de nuestra graduación. Otros compañeros fueron vinculados directamente a instituciones prestadoras de servicios de salud. En la mayoría de casos, el campo laboral al cual nos enfrentamos en dicho momento requería nuestro aporte principalmente en el área de la ingeniería clínica y a nivel técnico en electromedicina. En cuanto a empresas diseñadoras y fabricantes de equipo biomédico, tímidamente se han hecho intentos, pero el país no está preparado para apoyar iniciativas de este tipo.

III. RECORRIDO EN LA FORMACIÓN DE UN BIOINGENIERO

Mi primera experiencia laboral fue en una empresa distribuidora de equipos biomédicos, en la cual como ingeniero electrónico con énfasis en bioingeniería fui entrenado para desempeñarme en el rol de especialista de línea en monitoreo de signos vitales y ventilación mecánica. Un año después tuve la oportunidad de presentarme a una convocatoria realizada por una organización de cooperación intergubernamental aun existente, denominada Convenio Andrés Bello [4]. La convocatoria de dicho proyecto buscaba contratar durante un año ingenieros con experiencia en el sector de la bioingeniería, para crear departamentos de ingeniería clínica y mantenimiento en hospitales de diversas regiones del país. Durante ese año, los hospitales beneficiados ejercerían la función de interventoría y se esperaba que, a partir de los previsiblemente exitosos resultados, los hospitales contrataran a los ingenieros participantes, o a otros, para que dirigieran los recién creados departamentos de ingeniería y mantenimiento. En mi caso, la experiencia fue totalmente exitosa. Trabajé contratado directamente por el hospital al cual fui asignado en la ciudad de Medellín durante cinco años como director del departamento de ingeniería y mantenimiento. Iniciativas como esta, promovida por el Convenio Andrés Bello, han resultado transformadoras en países en vía de desarrollo, pero hace falta mayor apoyo y seguimiento, porque no todas las experiencias resultaron positivas. En la E.S.E. Hospital La María de Medellín, encontré un equipo administrativo y científico muy receptivo, que valoró mi intervención desde el primer momento.

Durante los años que trabajé en el área de ingeniería clínica, a finales de los años 90 y comienzo de la década actual, fui testigo de varias reuniones lideradas por el médico y PhD. en medicina interna John Bustamante Osorno de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, en las que se formularon los estatutos de la Asociación Colombiana de Bioingeniería (ACOBIAN). En dichos años, además de las reuniones y foros de ACOBIAN, tuve la oportunidad de sostener múltiples tertulias sobre el presente y futuro de la bioingeniería con mi amigo y maestro Mauricio Wilches Zúñiga y con el subdirector científico del Hospital La María, el médico Luis Fernando Ruiz Monsalve. A partir de dichas reuniones, conformamos un equipo de trabajo para proponer a la Universidad de Antioquia la creación de un pregrado en bioingeniería al estilo de los

pregrados más prestigiosos del mundo. Fue así como nos dedicamos durante más de un año a la formulación del programa de pregrado, con el notable liderazgo de Mauricio Wilches. La creación del pregrado en bioingeniería en marzo de 2000, fue posible gracias al constante apoyo de los entonces decanos de las facultades de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales y Medicina, Álvaro Pérez Roldán, Nicolás Raigoza Bohórquez y Alberto Uribe Correa respectivamente.

IV. LA BIOINGENIERÍA ACTUALMENTE EN COLOMBIA

Teniendo en cuenta el apabullante desarrollo de la bioingeniería a nivel mundial, los aportes realizados por investigadores colombianos todavía no son significativos. Los recursos destinados a la investigación son insuficientes y las condiciones salariales de investigadores muy bien capacitados son precarias. Adicionalmente, las empresas del sector biomédico, con contadas excepciones, son distribuidoras de equipos, insumos e instrumental y no les interesa invertir en investigación y desarrollo. Hace falta una transformación en las empresas del sector, que sólo será posible con incentivos gubernamentales y el apoyo de las universidades. Desde este punto de vista, las cosas no han cambiado mucho en los últimos 20 años. Sin embargo, el legado de los pioneros, de nuestros maestros, nos ha traído a este momento que es coyuntural, pues a diferencia de hace algunas décadas, contamos con una serie de factores que bien administrados podrán impulsar el desarrollo de la bioingeniería en Colombia:

- Existen programas de pregrado y posgrado en bioingeniería distribuidos por todo el país, con multitud de perfiles y áreas de énfasis, lo cual redundará en beneficio del campo de acción y permitirá posicionar cada vez más la profesión del bioingeniero en áreas de énfasis hasta ahora mínimamente exploradas.
- La Asociación Colombiana de Bioingeniería e Ingeniería Electrónica (ABIOIN) se ha fortalecido por todo el país y se tienen estrechos vínculos y participación activa en el Consejo Regional de Bioingeniería para América Latina (CORAL) y en la Sociedad Internacional de Ingeniería en Medicina y Biología (EMBS-IEEE).
- Cada vez se realizan más congresos, jornadas y seminarios de actualización, con participación de investigadores nacionales y extranjeros.
- Han nacido publicaciones especializadas como esta revista. Adicionalmente, otras publicaciones como la Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia o la Revista de Ingeniería de la Universidad de los Andes, publican artículos de elevado nivel en el campo de la ingeniería biomédica.
- Las universidades públicas y privadas se han internacionalizado y tienen programas con doble titulación y proyectos de investigación conjuntos con grupos extranjeros, facilitando la movilidad y la consecución de recursos para investigación y formación.
- Hay un potencial humano formado en Colombia y en la mayoría de los casos especializado en el exterior que, radicado en regiones de Europa y Estados Unidos de América, desarrolla proyectos al servicio de empresas y grupos de investigación que no tienen vínculo con Colombia. En este sentido es prioritaria la intervención del Estado, diseñando estrategias que permitan la participación de dichos profesionales en el desarrollo de la bioingeniería en Colombia.
- El manejo de una segunda lengua ha dejado de ser un mito al interior de las universidades y esto sin duda está facilitando la interacción con el exterior.

Las condiciones están dadas para que la transformación sea aún más notable y rápida, tal y como el medio lo requiere. Pero como no se puede pecar de optimismo, debemos reconocer que hace falta acompañamiento del sector empresarial y mucho apoyo gubernamental.

V. LA BIOINGENIERÍA EN LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

En la Universidad de Antioquia hemos apostado por un plan de estudios en pregrado con una sólida formación en ciencias exactas y naturales, en ciencias de la ingeniería y disponemos de cuatro áreas de énfasis (electivas): ingeniería clínica, biomateriales, bioelectrónica y biomecánica. Nuestro plan de estudios en pregrado ha sido concebido con base en la experiencia adquirida al interior de la universidad durante más de 20 años de trabajo en el área y bajo la premisa de formar profesionales íntegros que puedan enfrentar el mundo laboral en el campo de la ingeniería biomédica y que además tengan las bases suficientes para iniciar su especialización en cualquiera de las cuatro áreas de énfasis ofrecidas. Adicionalmente, desde el primer semestre del año 2009 ofrecemos un área de énfasis en la Maestría en Ingeniería de nuestra facultad. Dicha maestría tiene fundamentalmente una orientación a la investigación y es soportada por nuestros grupos de investigación en bioelectrónica y biomateriales.

El programa de bioingeniería de la Universidad de Antioquia cuenta con los siguientes grupos de investigación:

- GIBIC: Grupo de investigación en bioelectrónica e ingeniería clínica, coordinado por el ingeniero PhD. Mauricio Hernández Valdivieso.
- BIOMAT: Grupo de investigación en biomateriales, coordinado por el Ingeniero PhD. Juan José Pavón Palacio.
- GIREF: Grupo de investigación en rehabilitación física, coordinado por el ingeniero PhD. Alejandro Echavarría Velázquez.

Adicionalmente, se ha creado recientemente un grupo interinstitucional en Biomecánica del Cuerpo Humano (BIOMECH), que es coordinado por el Ingeniero PhD. Juan José Pavón Palacio.

En lo que se refiere al grupo GIBIC, contamos con tres divisiones, así: señales y sistemas, ingeniería clínica y bioinstrumentación electrónica. Buena parte de nuestro trabajo se desarrolla mediante alianzas de cooperación con universidades y grupos de investigación extranjeros y con hospitales locales como el Hospital San Vicente de Paul y la E.S.E. Hospital La María. Nuestro trabajo en la división de ingeniería clínica se ha concentrado en la formulación de modelos de gestión de la tecnología biomédica al interior de los hospitales, en la gestión de la tecnovigilancia, el mantenimiento y la metrología de equipo biomédico [5-6]. En la división de señales y sistemas, realizamos procesamiento de señales biomédicas (EMG, EEG, ECG, EOG) y modelado de procesos fisiológicos y fisiopatológicos [7]. Concretamente, una de nuestras líneas más importantes consiste en el desarrollo de herramientas para el estudio de la interacción entre el ventilador mecánico y el sistema respiratorio en unidades de cuidado intensivo, también trabajamos en el diseño de laboratorios virtuales para el entrenamiento médico y la docencia en ingeniería biomédica y medicina [8-10]. En la división de bioinstrumentación electrónica, hemos desarrollado dispositivos para el registro, acondicionamiento y procesamiento de bioseñales [7,11-12], y recientemente, entre otros proyectos, trabajamos en el desarrollo de un monitor de signos vitales vestible e inalámbrico y un sistema de posicionamiento tridimensional basado en imágenes para neurocirugía (Fig. 1). En concreto para el desarrollo de este último proyecto se ha contado con apoyo del Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia y personal médico del grupo de investigación Sinapsis de la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia.

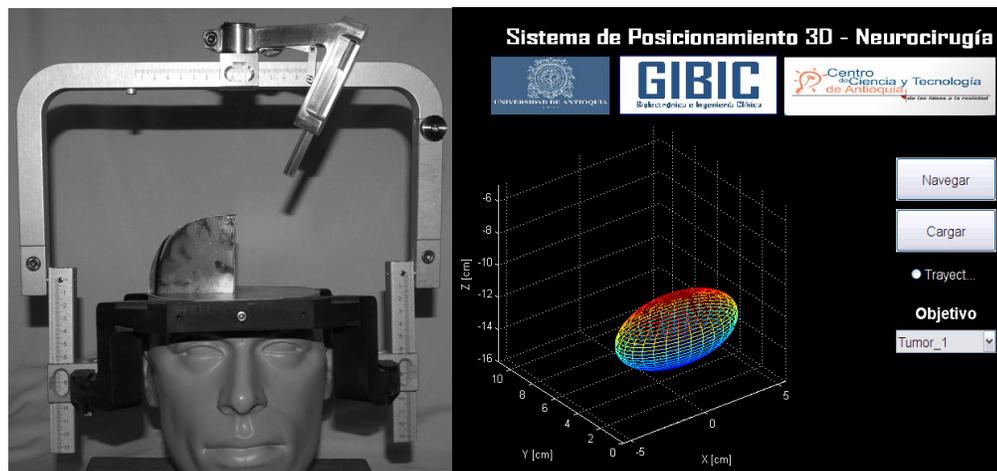


Fig. 1. Sistema de posicionamiento tridimensional basado en imágenes para neurocirugía. La interfaz gráfica (parte derecha) le permite al neurocirujano localizar simultáneamente la posición de una pieza de mano insertada en el cerebro (mediante un marco estereotáctico (parte izquierda) y la reconstrucción de volúmenes detectados mediante TAC o RMN, todo en tiempo real.

VI. FUTURO DE LA BIOINGENIERÍA Y LA INGENIERÍA BIOMÉDICA

El crecimiento y la expansión de la bioingeniería es cada vez más vertiginoso y esta dinámica plantea un desafío para países como Colombia, con escasos –casi nulos– recursos destinados a la investigación. Ha llegado el momento de diseñar nuevas estrategias para potenciar nuestro trabajo y que los excelentes profesionales que formamos en nuestras universidades no tengamos como única opción, emigrar a países desarrollados.

No debemos descuidar las líneas de investigación con las cuales trabajamos hace ya varios años, entre otras cosas porque la mayoría son vigentes, pero es fundamental incorporar nuevos tópicos acordes con la investigación de punta a nivel mundial. En este sentido, las relaciones internacionales de cada programa de formación juegan un papel muy

importante, así como es imprescindible la capacidad que nuestros investigadores tengan para abordar nuevas temáticas. Son muy conocidos –o por lo menos bastante mencionados– los temas de investigación en los cuales están concentrados los grupos más importantes del mundo, y que deberían entrar entre nuestros intereses lo antes posible:

- Biomateriales e ingeniería de tejidos aplicados a la medicina regenerativa.
- Modelado multiescala de sistemas biomédicos y biológicos.
- Nanobioingeniería orientada a construir un laboratorio en un chip.
- Neuroingeniería.
- Bioinformática aplicada a la genómica, la proteómica y la biología de sistemas.
- Biomicrosistemas: microelectrónica y micromecánica.

Además de las anteriores líneas de investigación de punta, Colombia y la región latinoamericana requieren gran desarrollo en el área de ingeniería clínica porque no resulta adecuado traducir la normativa europea o norte americana para aplicarla a nuestra compleja realidad.

En lo académico hace falta formular más programas de especialización, educación continua, maestrías y doctorados en todas las áreas de la bioingeniería y para que esto sea posible, creo que la mejor estrategia radica en la unión de fuerzas entre diferentes universidades, no sólo regionales, sino a nivel nacional e internacional con programas de doble titulación que faciliten la movilidad.

Las soluciones no sólo competen al ámbito académico, se requiere además de la creación de alianzas Universidad-Estado-Empresa, lo cual no acaba de ser una realidad, hay pocas experiencias y casi ningún compromiso de las partes implicadas.

El futuro de la bioingeniería y la ingeniería biomédica en Colombia dependerá en gran medida de la capacidad de gestión de los administradores académicos en los programas de bioingeniería e ingeniería biomédica de las universidades públicas y privadas, de los directores de los centros y grupos de investigación y de la formulación de planes de desarrollo a nivel nacional y regional por parte de sociedades científicas como ACOBIAN y ABIOIN. Adicionalmente, requerimos un liderazgo en bloque que consiga la participación del Estado y del sector empresarial con el fin de que los proyectos de investigación tengan el máximo impacto posible en la sociedad. Desde un punto de vista muy personal, creo que cada ingeniero biomédico y bioingeniero egresado de las universidades del país contrae un compromiso ético y moral con sus mentores, a quienes les debe un país líder en bioingeniería.

REFERENCIAS

- [1] Boutillette M., Coveney C., Kun S., Menides L.J. The influence of science fiction films on the development of biomedical instrumentation. *Bioengineering Conference, 1999. Proceedings of the IEEE 25th Annual Northeast*, 143-144, 8-9 Apr 1999.
- [2] Caidin M. Cyborg. Arbor House Ed., April 1972.
- [3] Johns R.J. Current issues in biomedical engineering education. *IEEE Transaction on Biomedical Engineering*, 22,2, 107-110, 1975.
- [4] Convenio Andrés Bello de Integración Educativa, Científica, Tecnológica y Cultural. Consultado en mayo de 2009 en: <http://www.convenioandresbello.info>
- [5] Model de Gestió per a un Hospital Públic, Proyecto de cooperación internacional (CCD-UPC 2008). Consultado en mayo de 2009 en: <http://ccd2008.sisbio.recerca.upc.edu/>
- [6] Alzate J.I., Hernandez A.M. Desarrollo de una unidad funcional de ingeniería clínica para la E.S.E. Hospital La María. Trabajo de grado, Bioingeniería, Universidad de Antioquia., 2008.
- [7] Camacho A., Pérez J.L., Hernandez A.M. Diseño e implementación de una metodología para el estudio del síndrome del túnel del carpo mediante modelado fisiopatológico. *III Congreso Colombiano de Bioingeniería e Ingeniería Biomédica*, ABIOINCAFE, 2008.
- [8] Hernández A.M., Mañanas M.A., Costa-Castelló R. Learning respiratory system function in BME studies by means of a virtual laboratory: RespiLab. *IEEE Transactions on Education*, 51,1, 24-34, Feb 2008.
- [9] Hernández A.M., Mañanas M.A., Caminal P., Rabinovich R., Benito S. Predicción del patrón respiratorio en sujetos sanos mediante control óptimo y un clasificador estadístico. *XXVIII Jornadas de Automática*, 2007.
- [10] Vallvé J., Costa-Castelló R., Hernández A.M. Laboratorio virtual para prácticas de control por computador. *XXVIII Jornadas de Automática*, 2007.
- [11] Ruiz J.A., Fernández J.M., Hernández A.M. Sistema en lazo cerrado para administración de anestesia intravenosa, *Revista Facultad de Ingeniería*, Universidad de Antioquia, aceptado (pendiente de publicación).
- [12] Camacho A., Cano D., Hernández A.M. Laboratorio virtual para el procesamiento de señales de biopotenciales: BioSigLab. *IV Congreso Internacional de Ingeniería Eléctrica y Electrónica*, 2009.