

Bioingeniería e ingeniería biomédica en Colombia: trasegando en sus inicios y en la construcción de su futuro

John Bustamante Osorno, *grupo.bioingenieria@upb.edu.co, grupo.cardiologia@upb.edu.co*
Centro de Bioingeniería, Grupo de Dinámica Cardiovascular
Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia

Invitado a que transmita la experiencia personal en el área de la bioingeniería e ingeniería biomédica, de aquellos inicios y desarrollos que fueron dando madurez a esta disciplina profesional en Colombia, sus desafíos y aportes, considero importante en primer lugar contextualizar el punto de partida en esta área de la investigación y de la práctica profesional.

Desde los años de estudiante...

En principio cursé los estudios de medicina en la Universidad Pontificia Bolivariana, partiendo de la inquietud que siempre me había despertado el funcionamiento del cuerpo humano desde el punto de vista mecánico y de la interrelación de los distintos órganos y estructuras para llevar a cabo actividades tan complejas. Sin embargo, las asignaturas curriculares iban dirigidas a las tradicionales áreas clínicas y se tocaba sólo muy tangencialmente el área de la investigación en aspectos como la fisiología, incluyendo elementos de biofísica y otros relacionados, por lo que los seis años de estudio en la facultad de medicina no alcanzaron a llenar dicha curiosidad. Es más, la asignatura de biofísica a la que sólo se le reconocía unas cuantas horas en los estudios básicos; sería posteriormente, hasta el día de hoy, retirada del pensum curricular.

Recuerdo de ese entonces con deuda y gratitud al ingeniero Ignacio Escobar Mejía, aquel profesor que con gran entusiasmo y percepción nos condujo al primer acercamiento a la biofísica y al entorno de la bioingeniería, un término que como tal no se acuñaba aún en nuestro país. Aunque el espacio académico en este tema no fue amplio, aquella primera iniciación fue suficiente para motivarme y alentarme a continuar en este camino disciplinar: ya comprendía en parte algunos conceptos vinculantes de las ciencias exactas al ente biomédico y me entusiasaban las aplicaciones desde esta perspectiva.

Desde los primeros años como profesional...

Luego de egresado de la universidad, mis primeros años de práctica médica profesional se dirigieron a la atención convencional en salud. Aún así, la pasión por el tema me movía a la búsqueda de literatura en tópicos afines a los desarrollos tecnológicos en el área biomédica, de los que no encontraba más que escaso material en una que otra biblioteca y cuando para aquel entonces para mayor limitación no existían fuentes diferentes a la literatura impresa en papel.

Aunque abstraído en ello, se veía bastante distante y no se alcanzaba aún a dimensionar que trataba aquella nueva área del saber proveniente de otras latitudes, la cual lindaba en ocasiones con la ciencia ficción: la bioingeniería como disciplina que combina los principios y herramientas de la ingeniería para el estudio de los fenómenos en los procesos biológicos en general, y la ingeniería biomédica como disciplina que aplica técnicas de la ingeniería en el área del cuidado de la salud humana, en los campos de dispositivos de diagnóstico, tratamiento y rehabilitación y demás aspectos del entorno biomédico (Fig. 1). Se especulaba en su mezcla de saberes y técnicas aparentemente tan disímiles: de un lado las ingenierías y del otro las ciencias médicas y biológicas; en las que ocasionalmente se advertía el apoyo que pudiese brindar la primera a la segunda.



Fig. 1. Dispositivos diagnósticos encaminados al monitoreo ambulatorio de pacientes. Equipo de monitoreo de arritmias cardiacas desarrollado por el Grupo de Dinámica Cardiovascular (Universidad Pontificia Bolivariana).

Motivado en ir generando comunidad en esta disciplina, conformamos en el año 1987 con el apoyo de las directivas de la Universidad Pontificia Bolivariana, un equipo de trabajo multidisciplinar con el objetivo de plantear un programa académico de postgrado en el área de ingeniería biomédica, contando con los recursos de distintas disciplinas y áreas del saber vinculando las facultades de medicina, ingeniería electrónica y eléctrica, ingeniería mecánica y diseño industrial. Equipo que estaba integrado por los ingenieros Miguel Rojas, Sandra Arango, León Darío Jiménez, Joaquín Duque, Iván Darío Echandía, David Toro y yo; siendo yo el único médico, por lo cual me incorporé como Coordinador del plan operativo para la facultad de medicina. Después de varios meses de trabajo, liderado por el ingeniero Miguel Rojas, mexicano residenciado en Colombia por sus nexos con una compañía multinacional del sector biomédico, elaboramos un programa que pretendía cubrir los campos de formación que requería la ingeniería biomédica. Sin embargo, se concluyó que la institución no contaba con personal capacitado e infraestructura suficiente, ni con la experiencia necesaria, para el óptimo desarrollo del mismo: fue al final el embeleco de unos cuantos, entre los que me encontraba yo, animando lo que aún no tenía ni siquiera un nicho donde anclarse.

Surgió de este trabajo que dicha madurez podría irse alcanzando con la programación de cursos y ejecución de proyectos que motivaran a profesores y estudiantes en esta área del conocimiento. Ello derivó en la ejecución de varios cursos aislados en esta disciplina. Sin embargo, después del proyecto frustró el grupo que consolidaría el programa de postgrado se disolvió debido a que no estaba conformado por personal de planta de la Universidad y cada uno desarrollaba sus actividades particulares.

Desde las primeras aplicaciones en el área...

Sin querer renunciar y alejarme de esta iniciativa, mientras de un lado atendía pacientes hospitalarios, de otro me vinculé en la facultad de medicina como Coordinador docente de la Cátedra de Biofísica que se venía dictando, pero que lastimosamente para mi desazón fue posteriormente abolida del pensum académico por reestructuración de las áreas más convencionales. Sin embargo, dicha actividad permitió vincularme en la consolidación de un grupo de estudio con personal docente de la escuela de ingenierías, en 1988, proyecto seguido de la conformación del Grupo de Altos Estudios en Biofísica y Bioingeniería de la entonces Dirección de Formación Avanzada. Por ese grupo pasaron los primeros personajes de la Universidad que tocáramos interdisciplinariamente la línea biológica y médica, la física y las ingenierías en diferentes propuestas investigativas; resaltando la labor pionera del físico Oscar Alzate, y posteriormente de otros interesados como los ingenieros Oscar Cardona y Carlos Builes, que unidos a nuestro grupo de estudio acometieron esta temática de trabajo en aquel entonces (Fig. 2).



Fig. 2. Dispositivos de cuidado en pacientes críticos. Incubadora automatizada para neonatos desarrollada por el Grupo de Bioingeniería (Universidad Pontificia Bolivariana).

Posteriormente, desde aquel grupo se llevaron a cabo varias propuestas en temas referentes al área cardiovascular, lo cual sirvió como elemento aglutinante para la consolidación y formación de un grupo disciplinar dirigido específicamente al tema cardiovascular, incluyendo aspectos instrumentales y técnicos desde las clínicas médicas y la biología (Fig. 3): el Grupo de Dinámica Cardiovascular. Mientras de otro lado, se plantearon propuestas desde distintas líneas de la biomecánica, bioinstrumentación y bioseñales. Trabajos múltiples fueron posteriormente realizados en las áreas de prótesis y bioimplantes [1-3], biomecánica cardiovascular [4-6], dispositivos de soporte [7-9], vasos sanguíneos [10-12], monitorización cardíaca [13-15], fisiología [16], instrumentación [17-19], entre otros [20-21].

El trabajo que se iba consolidando con nuestro grupo en la Universidad, al tiempo que otros proyectos eran desarrollados en cabeza del ingeniero Germán Cavelier en la Universidad de los Andes, del ingeniero Mauricio Wilches y el físico Napoleón Hernández en la Universidad de Antioquia, así como los antecedentes de los trabajos de los ingenieros Jorge Reynolds*¹ e Ignacio Escobar*², fueron estableciendo aquella primera impresión de lo que era la ingeniería biomédica y la bioingeniería como disciplinas reconocidas en el país.

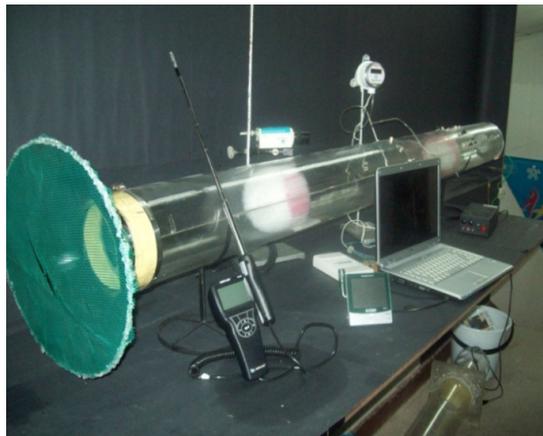


Fig. 3. Bancos de ensayos encaminados al estudio de dispositivos cardiovasculares. Equipo para el estudio fluidodinámico de prótesis valvulares desarrollado por el Grupo de Dinámica Cardiovascular (Universidad Pontificia Bolivariana).

Con los distintos grupos de investigación dedicados a cultivar la línea de estudio y a motivar a los estudiantes para que dirigieran su mirada hacia ella; los esfuerzos por convocarlos en esta línea específica de trabajo, entusiasmándolos para que desarrollaran sus proyectos de grado en este sentido o para que acompañaran a un pequeño grupo de profesionales

*¹ Al cual le fueron concedidos honores como *Pionero de la Bioingeniería en Colombia* desde el Congreso de la República hasta las comunidades académicas.

*² Al cual años después la Asociación Colombiana de Bioingeniería, capítulo Antioquia ACOBIAN, le reconocería con la distinción como *Padre de la Bioingeniería en Antioquia* y la Asociación Colombiana de Bioingeniería ABIOIN le reconocería como *Pionero de la Bioingeniería en Colombia*.

entusiastas o, porque no, de medio díscolos; esos esfuerzos con sentido, fueron los que dieron principio a esta disciplina en Colombia.

Desde la formación académica en el área...

No habiendo programas académicos formales en el área, busqué la manera de cursar algunas asignaturas en la escuela de ingenierías de la Universidad y realizar cursos relacionados con tópicos que permitieran adentrarme en este campo disciplinar desde mi formación como médico. Esto fue motivo para que en este entorno siempre fuera visto como bicho raro, pues pareciera extraño mi interés por temas propios de otras disciplinas.

Con todo ello, nuestro grupo de estudio pensando en trascender dentro del programa de investigación y desarrollo del área biomédica, veíamos necesario que para lograr impulsar el programa era necesario una mayor preparación de nuestra parte y establecer contactos con centros internacionales que fueran a la vanguardia en el tema, debido a que en instituciones nacionales no había una consolidación temática. Los primeros contactos nos permitieron mantenernos al tanto de lo que se desarrollaba en otras regiones, y nos sirvieron como centros de información y documentación.

Una oportunidad adicional se nos brindó cuando la Universidad Pontificia Bolivariana nos postuló como candidatos para las becas que por primera vez otorgaba Colciencias para la formación de personal científico en el exterior, concretamente en programas de doctorado. De esta forma, se apoyó la formación de dos personas de nuestro grupo, con el fin que posteriormente participásemos en programas de investigación de punta y consolidación de comunidad académica que redundara en beneficio de la comunidad universitaria y del país.

Dentro de este programa de formación ingresé al Instituto de Cibernética de Cataluña, un instituto mixto de la Universidad Politécnica de Cataluña y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, a través del proyecto de doctorado en el programa de cardiología de la Universidad Autónoma de Barcelona. En este instituto y en convenio con el Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, desarrollé mi tesis doctoral, en el que relacionaba los aspectos fluidodinámicos del flujo sanguíneo a través de las válvulas cardíacas nativas tras valvulotomías [22]. Posteriormente, luego de terminar el doctorado, llevé a cabo un posdoctorado en el Instituto Nacional de Cardiología “Ignacio Chávez” de México, en la línea de prótesis y bioimplantes cardíacos, donde desarrollamos varios trabajos relacionados con el tema [23].

Todo esto se llevó a cabo sin perder contacto con la Universidad debido a que mi intención era adelantar el programa de postgrado en bioingeniería a mi regreso. Para ello también contaba con el físico Oscar Alzate, quien fue a realizar su doctorado en la Universidad de Ohio-EEUU en el área de Biofísica, con el cual sabía que podía abordar esta nueva propuesta de puesta en marcha del postgrado.

Desde la consolidación del programa académico...

Desde aquel Grupo de Altos Estudios en Biofísica y Bioingeniería se llevaron a cabo proyectos en temas referentes al área biomédica, los cuales fueron consolidando un equipo académico en el campo relacionado con la introducción de técnicas de la ingeniería y la física en el entorno biomédico, dirigido a la investigación básica y aplicada en las áreas de diagnóstico y tratamiento, y cubriendo los campos de biomateriales, bioinstrumentación, procesamiento de bioseñales, imagenología, biomecánica, entre otros, con los cuales fue transitando y madurado el campo de la ingeniería biomédica en la región.

Ya era claro para este entonces que para adentrarse en el conocimiento y en la posibilidad de intervenir los sistemas vivos se necesitaba más que aquella investigación solitaria y monofacética de años atrás; mientras que definitivamente la formación empírica de los ingenieros y médicos en el área de la ingeniería biomédica ya no satisfacía las necesidades de una disciplina que cada vez gestaba nuevas realidades tanto de contenido como de práctica. Ya las ciencias médicas y biológicas necesitaban de una actuación conjunta de ambas disciplinas. En este sentido, lo que permitiría que estas disciplinas evolucionaran y se consolidaran en un programa académico sería precisamente que se constituía en una necesidad científica, profesional y social.

Ya los países desarrollados llevaban varios años con esta experiencia positiva y nosotros teníamos que hacerlo de un modo u otro. De esta forma, me di a la tarea de montar el programa de especialización en Ingeniería Biomédica retomando elementos de aquella primera propuesta, esfuerzo que fue apoyado por las directivas de la Universidad, resaltando muy especialmente el apoyo del padre Julio Jaramillo y de Mons. Darío Múnera, el primero desde la entonces Jefatura de Formación Avanzada y el segundo desde la Rectoría. Ejercicio que dio inicio al programa de especialización en Ingeniería Biomédica, programa aprobado por el ICFES en el año 1995, siendo el primer programa en su género del país.

Posterior a ello correspondió una tarea de concientización de la comunidad académica, el gremio médico y hospitalario, sobre la necesidad de contar con profesionales capacitados en dicho campo, en principio para que abrieran sus puertas a los practicantes y en segundo lugar para afianzar el campo profesional. En este conjunto de acciones el programa de bioingeniería alcanzó un importante impacto en el medio, siendo considerado por la comunidad académica regional y nacional como un referente en la disciplina de la Bioingeniería.

Posteriormente, el fortalecimiento de las líneas de investigación y la vinculación con otras instituciones y grupos del ámbito internacional, nos permitió consolidar el plan académico que dio lugar al programa de doctorado en ciencias médicas en el área de Bioingeniería, programa aprobado por el Ministerio de Educación en el año 1996, siendo también primer programa en su género del país. La madurez y el liderazgo alcanzado, consolidando los planes académicos y curriculares junto a los procesos investigativos del grupo, permitieron seguidamente la creación del programa de maestría en ingeniería en el área de Bioingeniería, programa aprobado por el Ministerio de Educación Nacional en el año 1999.

El programa de Bioingeniería en la Universidad cultivó aquel espacio académico-investigativo que brindó las condiciones necesarias para el siguiente paso: la creación del Centro de Bioingeniería en el año 1999, bajo la rectoría de Mons. Gonzalo Restrepo, precisamente poco después de graduar la primera promoción de la Especialización en Ingeniería Biomédica.

Desde la consolidación de la asociación gremial...

No se veía entonces una comunidad que congregara y delineara el quehacer de la Bioingeniería e Ingeniería Biomédica en nuestro medio, por lo que comencé a gestar la idea de conformar una asociación que reuniera a las personas que trabajaban en el área. Tocando puertas con distintos actores se logró convocar un grupo de personas a las que se presentó el proyecto de asociación, pretendiendo desarrollar actividades académicas, culturales, de divulgación, económicas y otros beneficios y servicios que pudieran derivarse y que permitieran el bienestar de sus asociados. Entre sus actividades cubriría fomentar el desarrollo científico y tecnológico de las disciplinas que conforman los campos de aplicación de la Bioingeniería, publicar sus logros e investigaciones y posibilitar el trabajo interdisciplinario; colaborar con otras asociaciones y sociedades nacionales y extranjeras por medio de convenios y trabajos de cooperación; como órgano consultivo, prestar su asesoría al Gobierno Nacional y Seccional en la solución de los asuntos relacionados con las áreas de la Bioingeniería y Electrónica Médica; colaborar con la educación profesional y contribuir al diseño de programas y mejoramiento de la enseñanza de las diferentes áreas de la Bioingeniería; estimular la investigación científica; así como defender los derechos profesionales y gremiales de las personas afiliadas y velar por el cumplimiento de las normas establecidas en su código de ética profesional. Así, se dieron las iniciativas para la creación de la Asociación Colombiana de Bioingeniería ACOBIAN, la cual se fundó en las instalaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana en el año 1996. En la cual tuve el honor de ser elegido primer presidente, acto en el cual se proclama, por unanimidad, al ingeniero Ignacio Escobar Mejía como presidente honorario, por su labor pionera en este campo en la región y el país. Al tiempo que se fundaba en Bucaramanga la Asociación Colombiana de Bioingeniería ABIOIN, proceso liderado por el físico Isnardo Torres. Asociaciones que confluían posteriormente dinamizando acciones.

Desde la difusión académica y científica...

Pretendiendo desarrollar actividades académicas para la comunidad vinculada a esta disciplina, como también para la divulgación en la comunidad general, planteamos desde el grupo la idea de llevar a cabo muestras tecnológicas relacionadas con la bioingeniería e ingeniería biomédica, idea que fue acogida y avalada por la Asociación Colombiana de Bioingeniería ACOBIAN con el objeto de difundir los logros alcanzados en la región y en el país. Así el primer evento llevado a cabo fue la Primera Muestra Antioqueña de Bioingeniería realizada en 1997 en la Facultad de Medicina de la Universidad Pontificia Bolivariana. Con este siguió la Segunda Muestra Antioqueña de Bioingeniería realizada en 1998, que se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería de la misma Universidad. A la cual se siguieron varias muestras más en el Palacio de Exposiciones, en el SENA, y otras. También, se organizaron eventos como el simposio Uso de Nuevas Tecnologías en Cardiología en 1998, el I Foro Nacional de Investigación en Modelos Animales en 1996 y el Encuentro Nacional de Métodos Numéricos en 2002. Posteriormente se realizó la Primera Ronda Nacional de Proyectos y Realizaciones en Tecnología Biomédica coorganizada por la Asociación Colombiana de Bioingeniería y los programas académicos en bioingeniería de la región (UPB, UdeA, EIA-CES, SENA y USB).

Promoviendo la difusión científica y recogiendo la producción nacional, se estableció por medio de la Asociación Colombiana de Bioingeniería y los programas académicos en bioingeniería e ingeniería biomédica (UPB, UdeA, EIA-CES, SENA y USB) la creación del primer Congreso Colombiano de Bioingeniería, como evento congregante de esta

disciplina, el cual fue realizado en las instalaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana en el año 2003. Si los eventos previos fueron determinantes de su conocimiento a nivel local y regional, este fue el mayor determinante de su conocimiento a nivel nacional. Luego del cual se realizaron los posteriores congresos en Bogotá y en Pereira.

Desde la posición actual de la bioingeniería e ingeniería biomédica...

A pesar de la lenta evolución que experimentó este campo en el país a lo largo de su desarrollo, hoy vemos como desde los distintos programas que trabajan en la disciplina en todo el territorio nacional se van llenando las expectativas académico-científicas generadas desde aquel comienzo. Tenemos en el presente desde las distintas universidades un grupo de profesionales y de egresados a quienes ya también les ha correspondido apoyar la labor de desarrollar día a día esta nueva aplicación de la ciencia tanto a nivel regional como nacional. Ya tienen un espacio para que sirvan como retroalimentadores en el mejoramiento de un proceso que se percibe como uno de los de mayor innovación en la generación de ciencia y tecnología, donde los nuevos desarrollos han llevado a acortar la distancia entre la investigación básica y aplicada, incrementando la importancia estratégica de la primera (Fig. 4).

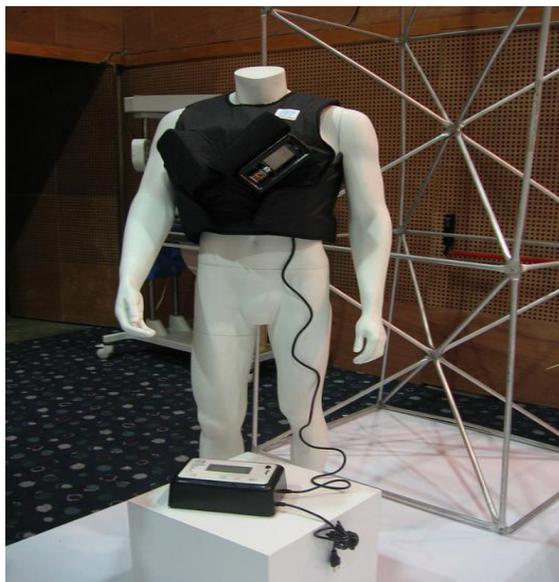


Fig. 4. Dispositivos de terapia. Chaleco para terapia respiratoria desarrollado por el Grupo de Bioingeniería (Universidad Pontificia Bolivariana).

Tanto el Estado con sus políticas de investigación en temas de alta relevancia, como los vínculos empresa-estado-universidad, ha permitido impulsar esta disciplina la cual ya ha entrado con paso fuerte en nuestro medio. El médico y el ingeniero están llamados a encontrarse en ese diálogo en el que se tratan aspectos tocantes al ser vivo, pero con el formalismo y el rigor de las ciencias exactas. Y aunque no es fácil unir dos ramas de la ciencia sin que surjan problemas y traspies, es ya un hecho que la Ingeniería-Física y la Medicina-Biología tienden cada vez más a acercarse.

El compromiso de la Ingeniería Biomédica se motiva no sólo para con sí misma y el mundo académico, sino también como una responsabilidad social: en vista a las necesidades de aplicaciones y desarrollos que se requieren en el sector de la salud; y no existiendo prácticamente ninguna área de la medicina donde el desarrollo tecnológico no haya hecho confluyente el trabajo de una y otra disciplina: la cardiología, la ortopedia, la oftalmología, la cirugía, etcétera; y ni que decir de la tecnología aplicada en el entorno hospitalario, un entorno cada vez más intervenido, donde la aplicación tecnológica se hace evidente.

Desde la visión de futuro...

A futuro nuestra tarea se ubica en un continuo que promueve una confluencia de esfuerzos por consolidar esta disciplina y promover la investigación en el campo biomédico, evaluando todas las posibilidades que ofrece una época como la presente portadora de grandes promesas en el área del saber, reconociendo a su vez los serios retos bioéticos que se presentarán en dicho camino.

Dentro de la tarea investigativa vale hacer una evaluación de cuales áreas son más significativas para la comunidad y el país, dentro de los entornos del diagnóstico y del tratamiento. Así mismo, la valoración de la proyección de la Ingeniería Biomédica en los países vecinos que promueva el trabajo conjunto y la generación de elementos diferenciadores. Entre todo, el reto a futuro es romper el paradigma que sólo los países del primer mundo pueden hacer desarrollos tecnológicos calificados, y que nuestro país se debe limitar a hacer copias o simplificaciones groseras de dispositivos como soluciones a unos problemas muy locales, en la disculpa de no poder desarrollar proyectos de primer nivel.

REFERENCIAS

- [1] Santamaría J., Bustamante J., Infante O. Diseño y construcción de un simulador cardiovascular para la evaluación hidrodinámica de prótesis valvulares cardíacas. *Revista Mexicana de ingeniería biomédica*, 16(2), 35-46, 1995.
- [2] Bustamante J., Zapata J. Tejidos biológicos para uso cardiovascular. *Gaceta cardiovascular*, 1(5), 1998.
- [3] Bustamante J., Villegas A. Prótesis valvulares mecánicas. *Revista colombiana de cardiología*, 7(4), 202-213, 1999.
- [4] Bustamante J., Vallverdú M., Borrás X., Augé J., Caminal P. La simulación por computador como herramienta en la investigación biomédica, aplicación: la onda de presión y volumen aórtico. *JANO*, (VII) XLVII (1099), 53-64, 1994
- [5] Bustamante J., Valbuena J. *Biomecánica cardiovascular*. 1ª Ed. Medellín. Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 1999:1-374.
- [6] Bustamante J. *Biomecánica cardiovascular: aplicación de una disciplina básica en la cardiología clínica y quirúrgica*. Revista colombiana de cardiología, 8(5), 233-238, 2000.
- [7] Bustamante J., Peña R., Ochoa J., Suárez G., Bernal L., Giraldo M., Zapata J. Diseño y desarrollo de un nuevo anillo de soporte para bioprótesis valvular cardíaca, porcina y/o humana - BioSTENT. *Revista colombiana de cardiología*, 10(1), 3-31, 2002.
- [8] Bustamante J., Grisales .CM. Nuevas posibilidades para pacientes con falla cardíaca: implantes para el corazón. *Revista Universitas Científica*, II, 13-17, junio 2003.
- [9] Bustamante J., Suárez G. Planteamiento del modelo para una bomba de asistencia ventricular cardíaca (Dibac) como fase previa al estudio de la interfase fluido-mecánico del dispositivo. Simulación numérica y modelado computacional. 1ª Ed. J. Rojo, M.J. Torres, M. Cerrolaza (Eds.). Caracas: Sociedad Venezolana de Métodos Numéricos; abril 2004, p. BI 1-8.
- [10] Bía D., Bustamante J., Cabrera E., Zócalo Y., Pérez H., Saldías M., Alvarez I., Armentano R. Integrated methodology development for vascular and heart valve prosthesis evaluation in tissue banks. *Cardiovascular Sciences Forum*, 1(1), 11-29, January 2006.
- [11] Bustamante J., Echeverri C., Valbuena J. Evaluación hidromecánica de venas yugulares bovinas frescas y fijadas en glutaraldehído para uso como bioimplante cardiovascular. *Revista colombiana de cardiología*, 14(4),238-245, julio-agosto 2007.
- [12] Bustamante J., Juárez A., Sánchez E. Banco de tejidos cardiovasculares: procesos y desarrollos. *Revista de medicina transfusional al día*, 8(1), 7-13, enero-abril 2008.
- [13] Bustamante J., Sáenz J., Amaya A. Monitor de eventos electrocardíacos implementado en plataforma PDA. *Revista colombiana de cardiología*, 14(2), 78-86, marzo-abril 2007.
- [14] Bustamante J., Sáenz J., Amaya A. Sistema de detección, registro y tele-monitoreo de arritmias cardíacas. *Revista Mexicana de ingeniería biomédica*, 29(1), 28-40, junio 2008.
- [15] Andrade H., Bustamante J. Equipo para la vigilancia del estado materno-fetal: cardiotocógrafo digital. *Revista Universitas Científica*, XI, 54-57, julio 2008.
- [16] Bustamante J. Nueva era en el estudio de los sistemas biológicos: programas de simulación. *Selecta Médica*, 5, 1, 8-9, 1994.
- [17] Bustamante J., Gallón L.A., Cuartas R.D. Diseño y construcción de un sistema de medida de temperatura para la criopreservación de homoinjertos cardiovasculares-TemperMed. *Revista Mexicana de ingeniería biomédica*, 23(2), 89-98, 2002.
- [18] Bustamante J., Valbuena J. Modelización cardiocirculatoria. *Bioingeniería en Iberoamérica: avances y desarrollos*. 1ª Ed. Müller-Karger CM, Cerrolaza M. (Eds.). Barcelona: Editorial Zorram; p. 175-203, 2003.
- [19] Bustamante J., Mejía S., Zuleta L., Del Valle C., Chamat J., Valbuena J. Desarrollo de un prototipo de bomba de flujo pulsátil para caracterizar las condiciones hidrodinámicas en un ambiente de circulación extracorpórea. *Revista colombiana de cardiología*, 14(1), 25-32, ene-feb 2007.
- [20] Bustamante J., Suárez G., Landaeta R. Nuevos recursos para la investigación en el área de la cardiología: técnicas numérico-matemáticas aplicadas al diseño y desarrollo de dispositivos de uso cardiovascular. *Revista de la Federación Argentina de cardiología*, 34(3), 350-357, septiembre 2005.
- [21] Mejía S., Flórez W., Bustamante J. Desarrollo de herramientas computacionales para predecir el comportamiento bidimensional del flujo sanguíneo en aneurismas cerebrales y para el análisis tridimensional de estructuras vasculares. 1ª Ed. Medellín: Editorial Universidad Pontificia Bolivariana; 2007, diciembre:1-600.
- [22] Bustamante J. Análisis del flujo transmitral mediante el modelado y la simulación por computador: validación hemodinámica en pacientes con estenosis mitral. 1ª Ed. Barcelona: Servei de Publicacions Universitat Autònoma de Barcelona; 1995:1-210.
- [23] Bustamante J., Santamaría J., Infante O., Flores P., Juárez A. Evaluación dinámica y cinemática del funcionamiento de bioprótesis en posición aórtica: Probador de válvulas cardíacas. *Archivos del Instituto de Cardiología de México*, 66(3), 229-243, mayo-junio 1996.