

Ingeniería biomédica: evolución e impacto social en Cuba

Biomedical engineering: evolution and social impact in Cuba

Carmenchu Regueiro Busoch ^{1*}, Carmen Busoch Morlán ², Angel Regueiro Gómez ³

^{1*} Departamento de Automática y Computación. Facultad de Ingeniería Automática y Biomédica. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae).

² Departamento de Automática y Computación. Facultad de Ingeniería Automática y Biomédica. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae).

³ Departamento de Bioingeniería (CEBIO). Facultad de Ingeniería Automática y Biomédica. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae).

*Email: [carmenchu@automatica.cujae.edu.cu](mailto:carmen<u>chu</u>@automatica.cujae.edu.cu)

Resumen

Hoy día existe una elevada influencia de muchos factores relacionados con la calidad de vida y la salud de la población (preocupación con la longevidad); además de un aumento de la necesidad de satisfacer cada vez más, el complejo conocimiento del funcionamiento anatómico y fisiológico de los seres vivos. La ingeniería biomédica estudia los principios básicos de diseño y las características fundamentales de sistemas y tecnologías biomédicas, aplicando métodos y herramientas propias de ingeniería para el diseño, explotación, la gestión y el mantenimiento de estos sistemas en el entorno clínico-hospitalario, en apoyo a la prevención, el diagnóstico y la terapia clínica. El trabajo aborda la evolución de la profesión en Cuba analizando la contribución de la investigación científica aplicada al diseño y desarrollo de dichas tecnologías y el impacto de éstas en la sociedad. Además, se muestra la importancia en la formación de recursos humanos y los retos actuales de la integración de la ciencia y la investigación-desarrollo para alcanzar la independencia tecnológica en el país ofreciendo un mejor servicio clínico-asistencial a nuestra población.

Palabras clave: ciencia, ingeniería, tecnología, ingeniería biomédica.

Abstract

Today there is a high influence of many factors related to the quality of life and health of the population (concern with longevity); in addition to an increase in the need to satisfy more and more, the complex knowledge of the anatomical and physiological functioning of living beings. Biomedical engineering studies the basic design principles and fundamental characteristics of biomedical systems and technologies, applying engineering methods and tools for the design, exploitation, management and maintenance of these systems in the clinical-hospital environment, in support of prevention, diagnosis and clinical therapy. The work addresses the evolution of the profession in Cuba, analyzing the contribution of scientific research applied to the design and development of these technologies and their impact on society. In addition, the importance in the training of human resources and the current challenges of the integration of science and research-development to achieve technological independence in the country is shown, offering a better clinical-care service to our population.

Keywords: science, engineering, technology, biomedical engineering.

1. Introducción

Desde tiempos remotos el hombre investiga a través de diferentes métodos el mundo que lo rodea, empleando desde la observación simple de objetos, hasta el análisis y estudio de fenómenos y propiedades de los entes materiales a través de complejas mediciones y experimentos específicos, todo ello para comprender mejor la naturaleza y de algún modo, en su relación, transformarla con el objetivo de alcanzar mejores condiciones de vida y un mayor confort durante su existencia (Fig. 1).



Fig.1 Caricatura de tecnologías biomédicas en la atención clínica [1]

Especialmente, las Ciencias Médicas y las Ciencias de la Vida; así como las Ciencias Básicas y/o Específicas, permiten el estudio y el análisis del comportamiento de las especies: flora y fauna, y desde hace alrededor de un siglo, estas disciplinas se funden en una nueva ciencia multidisciplinaria, conocida como Ingeniería Biomédica o Bioingeniería cuyos egresados obtienen la titulación de Ingenieros Biomédicos [2], y ejercen su profesión en diversas instituciones relacionadas en el área clínico-asistencial e instituciones de investigación donde colaboran en el diseño y producción de tecnologías biomédicas y fármacos. Esta disciplina se encarga del estudio de los diferentes sistemas y funciones vegetativas en los seres vivos, aplicando todas aquellas técnicas y principios de medición de las ingenierías para la mejor captación y procesamiento de bioseñales generadas por los sistemas biológicos, con el objetivo de contribuir a la prevención, el diagnóstico de enfermedades y/o la rehabilitación clínica de los sujetos bajo estudio. Con su impacto en el desarrollo de una mejor atención clínica en los diferentes niveles (primario: Atención del Médico de la Familia, secundario: Atención en Policlínicos Comunitarios y terciario: Atención hospitalaria) permite influir de manera positiva en los hábitos de vida sobre la población cubana, e incluso extender la metodología y los procedimientos clínicos basados en las tecnologías biomédicas hacia el cuidado de pacientes a nivel internacional.

El objetivo principal de este trabajo es describir la historia de la profesión y su evolución en Cuba analizando la contribución de la investigación científica aplicada al diseño y desarrollo de las tecnologías biomédicas y el impacto de éstas en la sociedad.

Coincidiendo con la definición de ciencia ofrecida en [3], se puede afirmar que la Ingeniería Biomédica es una compleja ciencia interdisciplinaria basada en la aplicación de los principios y métodos de la ingeniería aplicados en las Ciencias de la Vida, con el objetivo de desarrollar tecnologías biomédicas en apoyo clínico para entender, modificar y/o controlar los sistemas biológicos; así como diseñar o desarrollar productos o sistemas biomédicos que puedan registrar funciones fisiológicas básicas y/o específicas, para asistir a los especialistas clínicos en la prevención, el diagnóstico y/o la rehabilitación de sujetos, e incluso, algunos complejos sistemas biomédicos pueden ser empleados para el soporte vital en el mantenimiento de la vida, como por ejemplo: los respiradores artificiales para ventilación asistida, las máquinas de hemodiálisis o riñones artificiales para la purificación de la sangre y la eliminación de toxinas urémicas, el corazón

artificial para garantizar un adecuado bombeo de nutrientes a través de la sangre a todas las células del sujeto, los tejidos artificiales (piel sintética, parches del miocardio, etc.) y el desarrollo de implantes de prótesis y órtesis con materiales biocompatibles para la sustitución de secciones funcionales o la corrección motora a través de los fundamentos de la biomecánica.

En el área de la salud, muy sensible y de alto impacto en el estado de opinión de la población, es necesario emplear adecuadamente las técnicas [4] y los métodos modernos con una buena base de equipamiento e instrumentación especializada (Fig. 2), lo cual permite minimizar la incertidumbre en el diagnóstico y tratamiento de los individuos bajo estudio.



Fig. 2 Ejemplos de tecnologías biomédicas dedicadas al diagnóstico y la terapia clínica en instituciones sanitarias [1]

Por una parte, para estudiar cualquier enfermedad (patología), es necesario adquirir desde el sujeto diversas señales y/o variables fisiológicas, lo cual puede ser de forma invasiva (al menos presupone una intervención quirúrgica) o de forma no invasiva, en ambos casos con probabilidad elevada de efectos secundarios en ocasiones impredecibles, por ejemplo, en la práctica clínica común suele medirse la presión sanguínea arterial (PSA), y en dependencia de cómo sea medida esta variable, en dependencia del método empleado y según el resultado obtenido por los especialistas, se adoptan diversas estrategias con medicamentos y/o fármacos, y se indican importantes cambios de vida e higiene a los sujetos, los cuales pueden ver limitados sus objetivos personales e incluso profesionales a partir del conocimiento de su estado clínico.

También se emplean métodos de diagnóstico a partir de imágenes médicas adquiridas por diferentes técnicas y métodos, que si bien no afectan externamente al individuo, pueden ocasionar daños internos irreparables, por ejemplo, cuando se aplican radiaciones ionizantes (Rayos X, Tomografía Axial Computarizada, Medicina Nuclear, entre otros), ocurren colisiones internas entre los electrones emitidos sobre el volumen de tejido estudiado, estas interacciones pueden desprender o desviar otros electrones (efectos Compton y fotoeléctrico), y cambiar los diferentes enlaces moleculares, produciendo deformaciones, desequilibrio de las estructuras, mal funcionamiento celular del área irradiada, incluso pueden propiciar el crecimiento de células malignas (cáncer en tejidos), todo ello sin el previo conocimiento del sujeto, el cual confía plenamente en el tipo de atención que se le está ofreciendo por los especialistas clínicos (doctores, paramédicos, enfermeros y otros).

En otra área importante, están aquellos sistemas que se dedican al estudio y diagnóstico de muestras biológicas: sangre, orina, heces fecales, saliva, ADN, etc., en los cuales son los especialistas clínicos los más vulnerables, pues están en contacto directo con las muestras portadoras de diferentes y complejas patologías, generalmente contaminadas por microorganismos no visibles (bacterias y hongos, entre otros).

Un área no menos importante, es aquella vinculada a la rehabilitación clínica, donde los sistemas y el equipamiento biomédico en general, manejan diferentes técnicas para la radiación de energía sobre el paciente, ya sea por campos eléctricos (corrientes y tensiones), campos magnéticos u otras formas de estimulación (mecánica, hidráulica, óptica, etc.). El riesgo principal de estos sistemas está asociado con los niveles de protección ante las fallas del equipamiento biomédico durante el tiempo de estimulación y tratamiento, pues pequeñas corrientes, del orden de unos 10 μA , pueden producir desde un simple cosquilleo, pasando por la irritación o percepción del estímulo, las quemaduras, la tetanización muscular, el paro respiratorio, y hasta ocasionar la muerte del sujeto en dependencia de cuál sea el camino de su trayectoria (tórax, músculo cardíaco, etc.).

Otro grupo especial de las tecnologías biomédicas lo constituye aquellos equipos que se dedican al soporte vital del sujeto en áreas especializadas, entre ellos, el corazón artificial para el bombeo continuo de nutrientes a todas las células del individuo bajo tratamiento clínico, el riñón artificial o máquina de hemodiálisis para la extracción sistemática de toxinas urémicas (fundamentalmente urea y creatinina, entre otras), el hígado artificial para la eliminación de desechos y grasas, las máquinas de ventilación controlada (denominados respiradores pulmonares) para situaciones de alto riesgo en pacientes con problemas respiratorios (Ej.: atención en salas de Cuidados Intensivos durante el tratamiento de la COVID-19), etc.

Como se manifiesta en [5], la tecnología en general (y la tecnología biomédica en particular), juega un papel importante en el desarrollo de un país y en la atención y satisfacción a todos los niveles de la población, por lo que debe gestionarse con mayor eficiencia y eficacia.

El uso racional y eficiente de estas tecnologías biomédicas permitirá avanzar al país económicamente, pues estas tecnologías suelen ser extremadamente caras debido a las limitaciones impuestas en su adquisición por el crudo bloqueo que nos han impuesto internacionalmente durante más de 60 años por parte de los gobiernos de EUA, y producen cierta dependencia con las firmas productoras y/o comercializadoras, especialmente en lo relacionado con el empleo de reactivos y productos especializados para el trabajo con las mismas, de ahí la importancia estratégica del Estado Cubano de apoyar el desarrollo nacional a través de diversos centros e instituciones cubanas que producen estos sistemas biomédicos y fármacos de alto impacto en la atención social, y que para el país permite lograr una elevada soberanía tecnológica con el importante ahorro económico que esto introduce, permitiendo al Estado destinar los limitados recursos disponibles a otras áreas de impacto como son la educación, la cultura y el deporte, entre otras áreas de interés social.

Según [6], la Ingeniería Biomédica es considerada como la profesión responsable de la innovación, la investigación y el desarrollo, diseño, selección, gestión y uso seguro de todos los tipos de sistemas biomédicos, incluyendo el equipamiento médico de simple uso y reusable; así como los dispositivos implantables (prótesis), siendo declarada desde el 2012 la segunda profesión más importante para el desarrollo de cualquier país, basado en los criterios emitidos por el Buró Federal Laboral de los Estados Unidos atendiendo a la demanda física existente de estas tecnologías, el desarrollo del ambiente laboral que produce, los ingresos netos que reportan, el esfuerzo y la colaboración que implica la inversión inicial para su desarrollo y además, el número creciente de proyectos I+D+i y contratos generados anualmente.

La observación y estudio de la naturaleza, impone un desarrollo y empleo responsable de las tecnologías biomédicas en el complejo conocimiento de las ciencias, visto estas como un complejo proceso social con diferentes dimensiones (científica-técnicas, sociales, económicas, culturales, etc.), lo cual por un lado impone grandes retos y avances en la investigación científica; pero por otro lado, está sujeta a un rigor profundo (materialista y dialéctico), con gran seriedad y responsabilidad con un alto nivel de ética profesional en el manejo de los resultados, pues son los seres vivos en cualquier latitud internacional, el principal objetivo de su aplicación directa, coincidiendo con las reflexiones de nuestro Apóstol [7]:

... “Estudiar las fuerzas de la naturaleza, y aprender a manejarlas, es la manera más derecha de resolver los problemas sociales”...

Internacionalmente, a partir del año 1959, surgen las bases para la formación de la Federación Internacional de Ingeniería Biológica y Médica (IFMBE), que agrupa a ingenieros, médicos, paramédicos, biólogos, etc., la cual, si en un comienzo agrupaba algunos cientos de miembros, hoy día tiene más de 50000 afiliados alrededor del mundo, a través de sus respectivas federaciones nacionales, incluyendo a Cuba.

Por su propia tradición, varias regiones fueron creando sus propias organizaciones regionales, las cuales fomentan el desarrollo y la investigación entre sus afiliados y entre sus territorios. Entre ellas se encuentran:

- AIMBE, Instituto Americano para la Ingeniería Médica y Biológica (E.U., 25000 miembros).
- EMBS, Sociedad de Ingeniería en Medicina y Biología (15000 miembros adjuntos a IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos).
- CMBES, Sociedad Canadiense de Ingeniería Médica y Biológica (500 miembros).
- ESEM, Sociedad Europea para Ingeniería en Medicina (establecida desde 1992, 500 miembros).
- BESJ, Sociedades de Ingeniería Biomédica en Japón (40000 miembros).
- CORAL, Consejo Regional de Ingeniería Biomédica para América Latina, (10000 miembros).

Esta última, es representativa de la fuerza y auge de afiliados a esta disciplina en el área de América Latina, donde a partir del año 1994, se comenzó a integrar las federaciones nacionales, y de forma regional se establecieron las políticas y estrategias de la región para la difusión, la enseñanza y educación de la Ingeniería Biomédica; así como la colaboración en investigación en esta potencial disciplina, cuya filosofía fundamental es: “la observación de problemas científicos, el análisis y propuesta de solución, y la repetición de nuevas observaciones con nuevos retos científicos” [13].

2. Materiales y Métodos

Para lograr desarrollar las tecnologías biomédicas en Cuba, se hace necesario desarrollar los recursos humanos que se dedican a esta compleja profesión, especialmente para garantizar el mantenimiento (preventivo-correctivo) y su adecuada explotación. Desde el 2005, a solicitud del Consejo de Estado y por orientaciones del Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz a partir del proceso inversionista del ALBA en tecnologías biomédicas, se inicia y desarrolla a nivel nacional un Plan de Estudio en Ingeniería Biomédica en el país, que ha garantizado la formación profesional de especialistas en esta compleja área del conocimiento, transitando por dos planes de estudio (D y E) con diversas características a partir de la demanda social y de los requisitos establecidos por el Ministerio de Educación Superior (MES) en el país, siendo designada la CUJAE como centro rector para el desarrollo de esta nueva especialidad.

La Ingeniería Biomédica abarca diversos campos de aplicación recogidos en diferentes fuentes bibliográficas: Modelo del profesional aprobado en el plan de estudio vigente [9; 10] y según OMS [2], relacionándose:

- La modelación de sistemas biológicos.
- El diseño y desarrollo de instrumentos, equipos y sistemas biomédicos para la prevención, el diagnóstico clínico, la terapia o rehabilitación, la medicina deportiva y la investigación biomédica.
- La gerencia y administración de tecnologías biomédicas.
- Las tecnologías de la información (desarrollo de interfaces de control, procesamiento digital y comunicación de datos en redes clínico-hospitalarias).

Para desarrollar la investigación se realizó un análisis de los planes de estudio para ver cómo la investigación y la inclusión de esta en la dimensión curricular fue desarrollando de por sí la profesión. También se realizaron consultas con especialistas de la profesión.

3. Resultados y Discusión

La Ingeniería Biomédica, como caso particular [8], relaciona diversas áreas del conocimiento agrupadas en:

- Área de Formación Básica General: Matemáticas, Física, Química, Electrónica y Computación, entre otras.
- Área de Formación Básica Interdisciplinaria: Biología, Anatomía y Fisiología, Biofísica, Bioquímica, Microbiología, etc.
- Área de Formación Profesional: Instrumentación Biomédica, Bioelectrónica, Biomateriales y Biomecánica, Bioinformática, Procesamiento de Señales e Imágenes, Inteligencia Artificial, entre otras.

La asimilación del desarrollo tecnológico conduce a una profundización del conocimiento, lo cual permite enriquecer y mantener la experiencia que el hombre va alcanzando día a día, año tras año [11]. Cada vez más, la innovación en la electrónica, los biosensores, los biomateriales, la computación e inteligencia artificial, las telecomunicaciones, etc., propician el desarrollo de sistemas más complejos y costosos, motivando una fuerte competencia comercial entre las grandes empresas productoras de equipos y sistemas biomédicos, convertidas hoy día, en grandes monopolios.

Es cierto que esta explosión de mercado en el final del siglo XX e inicio del siglo XXI, pues conduce a una estrategia para lograr mayor y mejor capacitación de los recursos humanos (médicos, paramédicos, técnicos, profesionales de la salud, ingenieros biomédicos, entre otros) vinculados al empleo, al mantenimiento y a la explotación de estas nuevas tecnologías. Desgraciadamente, ese desarrollo tecnológico, no está disponible a aquellos países subdesarrollados y/o en vías de desarrollo en la actual y compleja situación económica mundial.

La Ingeniería Biomédica entonces enfrenta un gran reto, el cual debe ser resuelto a través de una adecuada integración entre investigadores, desarrolladores y usuarios, responsabilizándose en la educación universitaria (Fig. 3), en la difusión de los avances tecnológicos a través de Programas Internacionales de Colaboración para I+D, en la difusión de logros y resultados científicos a través de diversas fuentes (patentes, artículos en revistas y bases de datos con publicaciones seriadas de las diferentes federaciones nacionales); así como empleando todo lo que esté al alcance de los profesionales y usuarios (Internet, Programación Educativa vía satélite, redes sociales tales como ResearchGate, Google Académico, LinkedIn y otras).

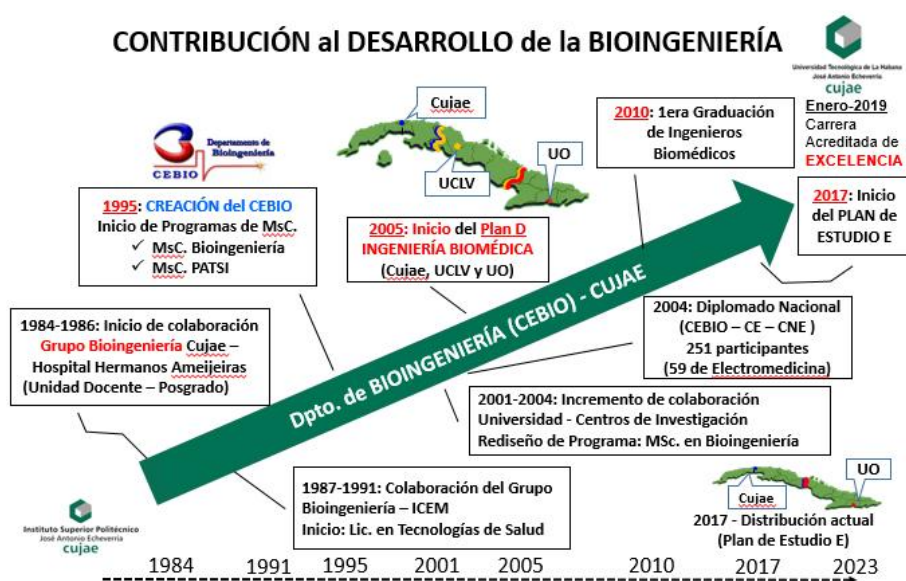


Fig. 3 Contribución de la CUJAE al desarrollo de la Ingeniería Biomédica [1]

El concepto de una profesión que maneja y desarrolla tecnologías se puede dividir en tres modelos ocupacionales: ciencia, negocios y profesión. Es interesante el contraste entre los puntos de vistas de la ciencia y la profesión. El científico, busca el conocimiento y la justificación de objetos y fenómenos, para divulgar los resultados en la comunidad internacional entre sus colegas (artículos y/o trabajos a congresos), mientras que el profesional, orienta su labor a la satisfacción del cliente, es decir, promueve la solución de problemas que sus usuarios no pueden resolver por diferentes razones (base material, nivel de conocimiento, limitaciones económicas, etc.).

En el área de Ingeniería Biomédica similar a otras áreas del saber, el “hacer ciencia” entendido como aporte al conocimiento científico internacional y la profesión de manejar tecnología desarrollada (producción, comercialización, mantenimiento, entre otros), tiene un aspecto común: el empleo del conocimiento científico. El establecimiento y difusión de las normas de empleo del producto y/o resultados de ese conocimiento [12], conduce a la formación de instituciones y organizaciones con funciones específicas, las cuales agrupan, protegen y vinculan a diferentes tipos de profesionales, todos interesados en el conocimiento de la Medicina y la Biología, y apoyados por los métodos, las técnicas y las herramientas de la Ingeniería.

A partir del año 1974, se agrupan en Cuba, un conjunto de especialistas con diversas formaciones; pero con intereses comunes por esta nueva disciplina, algunos motivados por sus experiencias en otras tierras y otros por el entusiasmo de su juventud y objetivos del trabajo que desarrollaban. Se oficializa entonces, en el Consejo Nacional de Sociedades de la República de Cuba, la Sociedad Cubana de Bioingeniería, la cual ha estado funcionando hasta la fecha, aunque con cierta intermitencia en su gestión nacional.

Entre las funciones de la SocBIO y en particular a través de su Junta Nacional Directiva, está la orientación, la educación y la formación profesional de sus afiliados, con una estrategia para el crecimiento de sus miembros. Nacionalmente, a través de correo electrónico y el empleo de redes sociales, actualiza entre sus miembros sobre diversas convocatorias de diversos tipos de cursos profesionales y programas de Maestrías, relacionados con diferentes especialidades. Además, difunde y apoya la participación anual de sus miembros en diversos Congresos y eventos nacionales e internacionales que se celebran en diferentes hospitales, clínicas y centros de I+D vinculados al Ministerio de Salud Pública o vinculados a Organizaciones e Instituciones Internacionales (OPS, OMS, IEEE, IFMB, etc.). Paralelamente a este trabajo intenso de apoyo y difusión, estimula la escritura de artículos científico-técnicos a través de la Revista de la Sociedad Cubana de Bioingeniería, y de la organización de un Concurso Anual entre sus afiliados, a los cuales premia de diversas formas, repercutiendo en la dimensión social y cultural a través de su gestión como sociedad científica.

El conocimiento es el producto del interés de los hombres por saber más, por profundizar en las características del ente material bajo estudio y en el análisis de la información obtenida. Todo conocimiento es intencionado y en general responde a una estrategia elaborada para alcanzar una hipótesis de partida, independientemente de su acierto.

Investigar viene de la palabra latina sustantiva vestigio, “seguir la huella”; también se puede interpretar in - vestigiaire que significa ir en pos de unos vestigios, de unos rastros... Sus sinónimos son indagar, inquirir, buscar dando un rodeo, rastrear, hacer diligencias para descubrir una cosa, averiguar.

Los profesionales de un campo del conocimiento aplican las experiencias almacenadas para la solución de nuevos problemas a los cuales se enfrentan. No siempre el camino del éxito es directo y feliz, en la mayoría de las ocasiones, grandes escollos y obstáculos se oponen al proceso de investigación.

Por otra parte, los medios materiales y los métodos empleados por los profesionales son frutos de la creatividad y de la investigación, es decir, son los conocimientos traducidos en tecnología a partir de una estrategia de dirección basada en el empleo de la Ciencia y la Innovación como ha manifestado en los últimos años el Presidente de Cuba y 1er Secretario del PCC [14]. Mientras que en el trabajo científico se privilegia la búsqueda de explicaciones sobre los hechos, la tecnología se

aplica sobre éstos, de tal manera que la ciencia se orienta hacia la reflexión, hacia la obtención de la verdad de forma dialéctica, en ella se contrastan teorías y se persiguen leyes actuando sobre situaciones y hechos, sin embargo, la tecnología apunta hacia la acción, buscando la eficiencia y eficacia de su empleo, estableciendo normas de actuación, empleando el conocimiento para el hacer y el actuar sobre los procesos en bien del desarrollo de la especie humana.

En la ciencia ningún concepto o resultado de la investigación es absoluto, es decir, los conocimientos científicos no son permanentes; la propia dinámica de las relaciones entre los investigadores no lo permite. Las aportaciones científicas, en sí mismas, sólo son explicaciones sobre el origen, la estructura y el probable comportamiento de un fenómeno u objeto, bajo unas ciertas condiciones (por ejemplo: humedad, temperatura, etc.). La investigación suele ser compleja e integra un proceso social de aprendizaje, experimentación y análisis de incertidumbre con ayuda de modernas herramientas informáticas.

Un principio básico que justifica la actualización de contenidos y los métodos es precisamente el envejecimiento del conocimiento, de los procedimientos, de las técnicas empleadas e incluso de la tecnología disponible. En esta misma lógica, se puede afirmar que los recursos humanos que asumen y aplican contenidos y métodos obsoletos, frecuentemente son víctimas de sus propias limitaciones, lo cual es visible en actitudes y posiciones duras e inflexibles que no admiten ni la controversia ni la réplica.

El trabajo científico es producto de una constante actitud de búsqueda abierta y flexible de los individuos que se integran en un equipo de trabajo, generalmente multidisciplinario, con tareas y metas definidas. La ciencia se renueva gracias a la permanente búsqueda, a la duda y la no conformidad de los científicos y/o especialistas, analizando desde diferentes aristas las posibles soluciones que se abordan.

La técnica es la aplicación práctica de la tecnología; y ésta a su vez es la resultante de la investigación científica, la cual debe ser factible y responsable para aplicarse adecuadamente con el objetivo del mejoramiento humano respetando el entorno ambiental.

La aplicación de la tecnología a un proceso, ya sea de producción de bienes o de servicios, ha de decidirse por lo menos considerando la justificación racional y planificada sobre su uso y pertinencia, y por supuesto si se tiene la seguridad de saber utilizarla. Si esto se aplica sobre los seres vivos (humanos, animales y plantas), con ninguna, alguna o varias patologías, pues medidas y razonamientos muy justificados son necesarios para alcanzar las decisiones de los especialistas clínicos (médicos, paramédicos, enfermeros, investigadores, científicos, etc.). En general, el paciente confía en la experiencia y en el tratamiento a que es sometido por los clínicos (métodos, fármacos, medicamentos, etc.), y se exponen sin resistencia ante la tecnología biomédica para el desarrollo de la investigación clínica. La estrategia y el método empleado puede implicar que el propio sujeto bajo estudio sea “actor” o “espectador pasivo” ante las diferentes situaciones; pero para ello, este debe tener conocimiento de su estado y su papel, es decir, debe estar entrenado y/o preparado, requiriendo generalmente el consentimiento expreso o escrito del individuo o de su representante legal.

Un problema serio y antiguo de la investigación radica en el proceso de introducción de los resultados, lógicamente es la máxima aspiración del equipo investigador; pero no siempre el desarrollo de tecnologías encuentra las condiciones propicias para su adecuada extensión y difusión, pues depende de los intereses de las instituciones que financian la investigación incluyendo los propios intereses de los miembros del equipo de desarrollo; así como la capacidad tecnológica del país o región.

Para muchos equipos de investigación, los resultados pueden ser directamente vinculados al desarrollo de tecnologías, productos e incluso servicios, y su adecuado empleo estará asociado a la institución y/o empresa que financia el proyecto, lo cual hace que en ocasiones, sólo estas dispongan de esos sistemas desarrollados, lo cual establece un monopolio sobre ese conocimiento y se convierte la introducción de los resultados en un “negocio”, en ocasiones muy lucrativo, por

ejemplo, el desarrollo y comercialización de vacunas contra la COVID-19 por parte de determinadas empresas internacionales, que no colaboraron ante el llamado de la OMS (Organización Mundial de la Salud), especialmente para la atención de la población de países pobres y/o en desarrollo de África, Oceanía, Asia y América Latina. Este tipo de actitudes puede frenar el desarrollo de la temática abordada en la búsqueda de soluciones, pues otros investigadores interesados en profundizar el trabajo de investigación en esa dirección, deben solicitar licencias y/o permisos especiales, generalmente, a un elevado costo.

En otras ocasiones, si bien la competencia comercial ayuda al desarrollo de sistemas y equipos con buenas características, algunos resultados científicos, y que no son pocos, se guardan por los autores o titulares, pues prima en ellos el interés personal y mercantilista, esperanzados en hacer fortuna. ¿Cómo se analizan estas tendencias cuando se particulariza la introducción de los resultados en el área de la Ingeniería Biomédica asociada al Sector de la Salud? ¿Es justificable no ayudar al confort y a la salud de la humanidad con este tipo de intereses comerciales por parte de los grandes productores en estos tiempos modernos? Ejemplos de estas manifestaciones han existido a lo largo de la historia y hoy día, en la TV y la prensa en Cuba, se reflejan algunos casos de personas que padecen de ciertas patologías y que no pueden ser atendidas con los medicamentos y equipos necesarios, pues estos son exclusivos de determinadas firmas las cuales responden a una política de bloqueo sostenido por más de 60 años contra el pueblo cubano.

En contraste a esta situación, se refleja también por la prensa internacional y nacional, la actitud internacionalista y abnegada de cientos de profesionales cubanos de la salud que ofrecen sus servicios en diferentes países del mundo (América Central, América del Sur, África, etc.); así como la modesta ayuda material (medicinas, equipos médicos, etc.) de Cuba a diferentes pueblos del mundo azotados por desastres naturales y/o epidemias, a pesar del proceso de recuperación económica por el cual actualmente atraviesa el país dentro del complejo contexto económico internacional, agravado aún más por el bloqueo imperialista recrudecido por los últimos gobiernos de los Estados Unidos de América.

Durante el período pandémico, el país desarrolló cinco candidatos vacunales, los cuales fueron desarrollados por científicos y especialistas nacionales y que fueron autorizados para su aplicación escalada en nuestra población (Ej.: Soberana I, II y Plus, Abdala, etc.), desarrollándose una exitosa estrategia social que nos permitió enfrentar con éxito esta gran amenaza y que nos colocó como el país latinoamericano con mejores resultados en los indicadores internacionales que se manejaban en ese complejo período (cantidad de muertes provocadas, % de vacunación, etc.). A partir de nuestros resultados, se procedió a exportar nuestras producciones de forma solidaria a otros países necesitados, exponiendo una vez más nuestro internacionalismo al más alto nivel (más de 50 países recibieron la ayuda de nuestros especialistas clínicos en los momentos más críticos y recibieron parte de nuestra producción de vacunas de forma solidaria).

En la Educación Superior (Enseñanza de 2do y 3er Ciclo) en Cuba, la investigación científica debe ser una actividad integrante del proceso de formación de recursos humanos de alta calificación, capaz de constituir una vía efectiva de vinculación de la teoría con la práctica y por tanto, del estudio con el trabajo [1]. La investigación científica es una forma de interacción con la vida económica y social del país, la región o la localidad, persiguiendo diversos objetivos:

- Contribuir a la solución de problemas vinculados al desarrollo del país y al avance de la ciencia y la técnica.
- Enriquecer el proceso docente-educativo de los recursos humanos: estudiantes, especialistas, profesores, investigadores, etc., a partir de los resultados de investigación.
- Contribuir a la actualización y superación sistemática de especialistas vinculados a actividades de la producción y los servicios.

La investigación científica y la aplicación de las Ciencias, tienen un carácter social y constituyen complejos procesos que deben analizarse con responsabilidad. Se debe seleccionar y definir los problemas de la investigación aplicada, y su desarrollo (introducción de resultados y generalización) debe estar vinculados a la solución de los problemas de la Sociedad, en estrecha colaboración con

los organismos o entidades (usuarios) a través de convenios y contratos que garanticen la introducción de los resultados en la práctica social en el tiempo óptimo, con un eficiente encadenamiento productivo.

En particular, los resultados aportados en las áreas que aborda la Ingeniería Biomédica, alcanzan una dimensión no sólo en el aspecto social dada la elevada sensibilidad de la población respecto a los servicios de salud, sino también en lo económico dado el ahorro de recursos materiales y financieros destinados a la adquisición de insumos, equipos y sistemas médicos, el mantenimiento de instalaciones, etc. Además, se influye positivamente en la cultura de la población alcanzándose mejores niveles de vida reflejados en diversos indicadores de salud y bienestar de la población como son, por ejemplo, el índice de mortalidad infantil (menos de 7/1000 nacidos), la mortalidad materna, el número de profesionales del sector (175 personas/médico), la esperanza de vida (mayor de 75 años), entre otros [15].

A medida que los especialistas e incluso la población, asimila la introducción de nuevos sistemas y tecnologías biomédicas como resultados de la investigación, eleva su formación no sólo profesionalmente sino también en otros aspectos: filosóficos, políticos, culturales, ambientales, etc., integrándose cada vez más al proceso en que vive y creciendo como ser humano.

Desde hace más de tres décadas, el país encabezado por el pensamiento de nuestro líder histórico, Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz, se trazó la estrategia de organizar y preparar diversos centros científicos para la investigación y el desarrollo de tecnologías biomédicas y productos biotecnológicos. Para ello a lo largo de todo el territorio nacional, el estado se ocupó de la creación de centros con objetivos específicos en diversas áreas de investigación, que actualmente han mostrado resultados muy interesantes nacional e internacionalmente.

Un importante paso en este sentido, fue asegurar en primer lugar, la formación de recursos humanos, para potenciar el desarrollo de ideas y la búsqueda de soluciones a los problemas detectados. En segundo lugar, concentrar sabiamente los limitados recursos a pesar de las limitaciones materiales que enfrentaba el país durante muchos años de intenso bloqueo económico.

En especial, la tecnología y el desarrollo de equipos médicos a lo largo de estos años se ha limitado realmente, pues se requiere de mucho capital para adquirir tecnología de punta (Tomógrafos Computarizados, Monitores de signos vitales, Equipos de Resonancia Magnética Nuclear, Rayos X, Sistemas para Medicina Nuclear, Equipos para análisis en el Laboratorio Clínico, Equipos para Quirófanos y Unidades de Cuidado Intensivo e Intermedio, etc.) y para mantener los equipos, sistemas e instalaciones hospitalarias, en muchas ocasiones ya con más de 30 años de explotación, y con tecnología obsoleta.

En las actuales condiciones, y coincidiendo con la opinión del Presidente del 1er Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, celebrado en noviembre de 1998, en Mazatlán, México [16], para los pueblos de América Latina, la Ingeniería Biomédica no debe ser considerada como una disciplina inerte y únicamente técnica, sino como una especialidad multidisciplinaria estrechamente ligada al ser humano para afrontar los interesantes retos y soluciones entre todos los países del continente. América es una gran isla, fuera del alcance de Europa y Asia, y el intercambio de conocimiento significa un reto para nuestros pueblos, cuyo lenguaje común facilita la mejor comprensión de los problemas regionales en el área de la salud ligada a las estrategias de desarrollo de los países y de la integración de la región.

Hoy día, el elevado costo de la tecnología y en especial la tecnología biomédica, frente a otros complejos y asfixiantes problemas de la sociedad, pues repercuten en los niveles de salud y la atención primaria en la población de los países subdesarrollados y/o en vías de desarrollo [15]. La pobre disponibilidad de recursos y las economías en estos países, limitan la introducción de tecnología de frontera en esta área del conocimiento. En los países desarrollados, existen los recursos para el mantenimiento y el desarrollo de la tecnología biomédica; pero lamentablemente, no está disponible a todos, pues sólo una parte de la sociedad tiene posibilidades financieras para satisfacer este tipo de servicio altamente especializado.

La opción actual de muchos países, entre ellos Cuba, está vinculada a la re-manufacturación de la tecnología disponible, es decir, la reparación y puesta en servicio de equipos y sistemas biomédicos, que si bien no constituyen una tecnología de avanzada, aun sus potencialidades permiten garantizar un determinado nivel de servicios manteniendo adecuadas sus características y prestaciones. Paralelamente a esta estrategia, se aplica un plan de adquisición de nuevas tecnologías de acuerdo a muchos factores, entre ellos especialmente las disponibilidades económicas.

En este sentido, Cuba va paulatinamente manteniendo muy buenos indicadores de salud, a pesar de continuar bajo un bloqueo económico por más de 60 años. La adquisición de tecnología se une al creciente número de equipos de desarrollo nacional aportados por diferentes centros de I+D en el país, por ejemplo:

- En COMBIOMED (antiguo ICID: Instituto Cubano de Investigaciones Digitales) se han desarrollado diversos equipos para el registro y análisis de parámetros vitales (Monitor de ECG, Frecuencia respiratoria, Ventiladores para pacientes en Unidades de Cuidados Intensivos e Intermedios, Pulso cardíaco, presión sanguínea arterial, temperatura, etc.), equipos para la electroestimulación aplicados a la rehabilitación y a la terapia, sistemas para la medición y estudio del sistema respiratorio (espirómetro, etc.), los cuales están validados e introducidos en quirófanos y diferentes salas de cuidados intensivos e intermedios (UCI) en muchos hospitales y clínicas del Ministerio de Salud Pública.
- El CNIC (Centro Nacional de Investigaciones Científicas) ha desarrollado una línea de tecnologías para el análisis y diagnóstico rápido durante el estudio de muestras biológicas (sangre, orina, etc.), en el Laboratorio Clínico (SISTEMA MICROELISA), han desarrollado sistemas para el estudio y análisis de las señales electroencefalográficas (MEDICID en diversos modelos hasta llegar al MEDICID PANDA, última generación portátil para su empleo doméstico), etc.
- El Centro de Biofísica Médica (hoy día CBIOMED) en Santiago de Cuba, ha desarrollado una interesante línea de equipos (GIROMAG) basados en el principio de la Resonancia Magnética, produciendo sistemas para el estudio de imágenes médicas que han sido empleados en los servicios del Hospital Provincial de Santiago de Cuba y en el Hospital CIMEQ en La Habana. El costo de adquisición para un equipo de RMN en el mercado internacional depende de la intensidad de campo generado (está en el orden del millón de dólares por unidad de Tesla generada), y hoy día, son pocos los países desarrollados que pueden mostrar este tipo de tecnología de punta en su sistema de salud.
- El Combinado de Equipos Médicos (ICEM) con diferentes empresas en la zona occidental, central y oriental del país, desarrolla la fabricación de mobiliario para hospitales y clínicas, desde sistemas para quirófanos hasta sistemas de cabeceras en dormitorios e instalaciones hospitalarias (camas, muebles, etc.), desarrollando también incubadoras para neonatos y recién nacidos, con un importante ahorro económico y un aumento de nuestra independencia tecnológica en beneficio del pueblo cubano.
- CNEURO (Centro de Neurociencias) ha consolidado una línea de equipos biomédicos dedicados al estudio de las funciones del cerebro humano (NEUROCID) e incursiona en la actualidad en otras importantes áreas clínicas, como el cribado auditivo de recién nacidos (NEURONIC INFANTIX) para la detección precoz de hipoacusia en recién nacidos, el desarrollo de prótesis auditivas con impresoras 3D, entre otros productos biomédicos.

Este desarrollo, cada vez más necesario y creciente, de esta tecnología biomédica nacional, permite la acumulación del conocimiento durante la investigación, lo cual impulsa la superación entre los profesionales del sector.

Una necesidad entre los profesionales vinculados a la Ingeniería Biomédica, y también en cualquier rama del saber, es el aumento del conocimiento científico a partir de los nuevos resultados en esta compleja área de trabajo. Es por ello que las Universidades juegan un importante papel, en la formación de especialistas y en la actualización de conocimientos en la educación del 3er Ciclo (Posgrado), a través de diferentes programas de maestrías y programas de doctorado, entrenamientos profesionales, pasantías, cursos cortos, etc.

En este sentido, internacionalmente surgen diversas facultades y escuelas para la enseñanza de la Ingeniería Biomédica, muchas de ellas asociadas a Instituciones Hospitalarias, por ejemplo: Duke University, Johns Hopkins University, Case Western Reserve University, Faculty of Biomedical Engineering in London University; así como en otras prestigiosas universidades en diversos continentes y regiones.

En Latinoamérica, a través de CORAL (Asociación regional de Ingenieros Biomédicos), existe una interesante propuesta de integración en los programas de formación para especialistas en Ingeniería Biomédica, a partir de la experiencia alcanzada por diversos países como Brasil, Argentina, Chile, México, etc.

Nuestro país, como parte de la región, desde hace más de tres décadas, proyecta y ejecuta una estrategia de formación de recursos humanos relacionados con el área de salud. Hoy día, se desarrollan varios programas vinculados a la Bioingeniería, destacándose el Programa ofrecido por el Departamento de Bioingeniería (CEBIO) en la Cujae, el Programa ofrecido por el Centro de Estudio de Tecnologías de la Informática (CETI) en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y el Programa de Maestría en Ingeniería Biomédica desarrollado por la Universidad de Oriente, cuyos intereses propician la formación de recursos humanos con perfiles en la Ingeniería Biomédica e Informática Médica, fundamentalmente. En estos programas con alrededor de 70 créditos distribuidos en 2 años de duración a través de las diferentes actividades docentes y de investigación, se proponen alcanzar diversos objetivos:

1. Formar especialistas para la aplicación de nuevas tecnologías asociadas a la Ingeniería Biomédica y la Informática Médica.
2. Desarrollar, introducir y generalizar las nuevas técnicas y avances en el diseño de los nuevos equipos y sistemas biomédicos vinculados al diagnóstico y la terapia clínica.
3. Profundizar los conocimientos y habilidades de los profesionales que trabajan en el área de Bioingeniería o en el entorno clínico-asistencial.

Las opciones de superación son complementadas con otros programas de formación de especialistas, cursos cortos de posgrados, entrenamientos profesionales, etc. El alcance de estos programas les ha permitido a estos centros desarrollar y aumentar la colaboración en la formación de recursos humanos y en el desarrollo de investigación en diferentes países de la región (República Bolivariana de Venezuela, Colombia, Bolivia, Brasil, Nicaragua, República Dominicana, etc.), donde actualmente se desarrollan diferentes cohortes con un futuro interesante para la región.

Sin duda alguna, la formación de recursos humanos en esta sensible área del conocimiento, es una necesidad para apoyar la obtención de un mejor servicio clínico asistencial con mejores indicadores de salud, y además, potencia el desarrollo de la dimensión e impacto de esta disciplina en todos los sentidos: social, económico, filosófico, cultural, político, ambiental, etc.

En este milenio, es inminente que una de las grandes preocupaciones de la humanidad está asociada a cómo lograr mejores índices de salud y mejores niveles de vida y confort [12]. Miles de millones de personas fallecen cada año debido, en primer lugar, a deficiencias cardiovasculares y a otras patologías, entre otras múltiples causas, y por ello se hace cada vez más necesario profundizar en el estudio y análisis de los procesos biológicos en los seres vivos, esto es sólo posible con la aplicación de las técnicas y los métodos de la ingeniería y otras ciencias exactas en las Ciencias Médicas o Ciencias de la Vida [17; 18].

El reto de desarrollar tecnología para el sostenimiento de la vida del hombre, vincula a muchos profesionales, que con sabiduría y constancia dan lo mejor de sí, día a día. El desarrollo de equipos y sistemas médicos tales como los marcapasos, el riñón artificial, las máquinas de respiración artificial, los sistemas no invasivos para la visualización interna de tejidos y órganos, los sistemas para la detección de virus y patologías en sangre, orina, etc., junto a estrategias sostenidas para un adecuado mantenimiento, explotación y desarrollo de la tecnología disponible, constituyen un gran reto para la humanidad.

El profundo sentido humanista de esta disciplina: la Ingeniería Biomédica, reclama del esfuerzo y comprensión de todos: la colaboración multidisciplinaria en la investigación y el desarrollo, la adecuada formación de los recursos humanos, y por supuesto la atención al hombre, sin distinción de sexo, raza y origen. Sólo así, la humanidad podrá observar su propia continuidad como especie superior y racional.

4. Conclusiones

En el desarrollo de la humanidad, la Ingeniería Biomédica como ciencia interdisciplinaria, juega un importante papel y alcanza una dimensión social en la aplicación de los resultados obtenidos a través de la investigación, el conocimiento científico y el desarrollo de nuevas tecnologías biomédicas. En este trabajo se logra exponer la evolución del desarrollo de la Ingeniería Biomédica en Cuba y la responsabilidad en la formación de los recursos humanos de las universidades, para lograr fortalecer el trabajo de centros de investigación relacionados con la profesión y el desarrollo de tecnologías biomédicas.

En Cuba esta integración entre ciencia, investigación y tecnologías, constituye un reto continuo por su impacto económico-social. La tenacidad de los hombres de ciencia, unidos y conducidos por una sabia estrategia gubernamental, lograrán sin duda en este nuevo milenio, avanzar a niveles superiores del conocimiento (Industria 4.0, Inteligencia Artificial, etc.) y para ello, las organizaciones e instituciones nacionales y regionales deben conducir y difundir los nuevos logros y avances tecnológicos, para que el hombre pueda vivir mejor y a su vez, se integre más al propio desarrollo de la humanidad.

Referencias

1. Regueiro-Gómez, A., Regueiro-Busoch, C. B. Busoch-Morlán, C. B., Almeida-Pichardo, Y. J. y Noa-Llorens, L. A., *Experiences in Biomedical Engineers Education in the Technological University of Havana (Cujae)*, 2022, presented at the BIOHABANA2022, Palacio de las Convenciones, Playa, La Habana, Cuba.
2. World Health Organization, *Human resources for medical devices: The role of biomedical engineers*, 2017, p. 1-240.
3. Núñez Jover, J., *La ciencia y la tecnología como procesos sociales*. 2000. Editorial Félix Varela, La Habana, p. 15-54.
4. Quintanilla, M., *Educación y cultura tecnológica*. 1995. Editorial FUNDESCO, Madrid, p. 316.
5. Díaz Caballero, J. R., *Tecnología, Sociedad y Futuro*. Revista Cubana de Ingenierías, 2011. 1(II), p. 61-68.
6. WHO, *WHO presence in countries, territories and areas: 2021 report*. <https://apps.who.int/iris>
7. Martí Pérez, J., *Obras Completas*, 1975. Tomo 13, Editorial Ciencias Sociales, La Habana, p. 52-53.
8. Ortega, V. y Pérez, J., *Fundamentos y función de la ingeniería*. 1989. Editorial ETSI, Madrid, p. 7.
9. Colectivo-Carrera Ingeniería Biomédica. *Plan de Estudio en Ingeniería Biomédica*. Documento ejecutivo Ing. Biomédica, Cujae, 2017, p. 1-9.
10. Colectivo-Carrera Ingeniería Biomédica. *Plan de Estudio carrera Ingeniería Biomédica*, MES, 2017, p. 1-179.
11. Lage Dávila, A., *La Economía del Conocimiento y el Socialismo*. 2013. Editorial Academia.
12. Organización Panamericana de la Salud, *Modelo mundial de marco regulatorio para dispositivos médicos, incluidos dispositivos médicos de diagnóstico in vitro*. (Serie de

- documentos técnicos de la OMS sobre dispositivos médicos). 2022. Washington, D.C.: OPS, p. 1-76.
13. Sampieri, R. H., *La Metodología de la Investigación Científica*. 2014 (6ta Edición). Mc.Graw Hill/Interamericana Editores S.A., p. 1-634.
 14. Díaz-Canel Bermúdez, M., *Gestión de Gobierno basada en Ciencia e Innovación: avances y desafíos* (a). Anales de la Academia de Ciencias de Cuba, 2022. 12(2), p. 1-16.
 15. OPS-MINSAP, *Estrategia de cooperación técnica de la OPS/OMS con CUBA para el período 2018-2022*. 2018, p. 1-5.
 16. Suaste-Gómez, E., *Continuidad del sueño bolivariano en Ingeniería Biomédica*, 2011, en Memorias del 1er Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, La Habana, Cuba, p. 2-3.
 17. Regueiro-Busoch, C., Almeida-Pichardo, Y. J., Noa-Lloren, L. A., Busoch-Morlán, C. B. y Regueiro-Gómez, A., *Automatic System to Continuous and Differential Acquisition of Blood Pressure during Tilt Test*. Proceeding of Latin American congress (IFAC), 2023.
 18. Banica, L., Burtenescu, E. y Enescu, F., *The impact of Internet-of-Things in higher education*. Scientific Bulletin – Economic Sciences, 2019. 16(1), p. 53-59.

Agradecimientos

Agradecemos a la División de Instrumentación y Bioingeniería (DIB) y al Proyecto Institucional MORPHYs (PI-0435): Sistema para caracterización dinámica de muestras y/o variables morfo-fisiológicas, por el apoyo brindado.

Conflicto de Intereses

No existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Carmenchu Regueiro Busoch. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5101-4005>

Participó en la investigación y redacción del manuscrito.

Carmen Busoch Morlán. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1209-669x>

Participó en el diseño de la investigación y redacción del manuscrito.

Angel Regueiro Gómez. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2239-1324>

Participó en el diseño de la investigación, la supervisión y redacción del manuscrito.