

Project-based learning to improve Bioinstrumentation Curriculum for Biomedical Engineering

Fernanda de Lourdes Cáceres Lagos, MSc¹, José Abraham Padilla Flores, MSc¹

¹Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC Tegucigalpa, Honduras, fernanda.caceres@unitec.edu.hn,
jose-29habraham@unitec.edu

Abstract— Bioinstrumentation is an important area in biomedical engineering. The following paper analyzed the perceived trend in the courses of this block of knowledge of UNITEC's biomedical engineering program in Honduras. In this, the difficulty in understanding the topics has been detected, limiting the scope of learning in the course. It was established as general objective, to propose improvements to this teaching block, covering the knowledge taught and methodologies applied in class, as well as a reordering of the subjects through a reform to the current curriculum. An analysis of UNITEC's curriculum was carried out to identify opportunities for improvement. An international benchmarking was also developed to understand the panorama of academic programs in the region. Through the data collected and the construction of the state of the art, the proposal for improvements was elaborated. The change of the methodology applied in the courses and approach of the laboratory practices represent the greatest opportunities for improvement. Project-based learning could be the best option to boost medical device research and development in the country to get closer to the goal of the academic program.

Keywords— bioinstrumentation, teaching, biomedical engineering, curriculum improvement

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Aprendizaje basado en proyectos como mejora curricular de bioinstrumentación para programas de ingeniería biomédica

Fernanda de Lourdes Cáceres Lagos, MSc¹, José Abraham Padilla Flores, MSc¹

¹Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC Tegucigalpa, Honduras, fernanda.caceres@unitec.edu.hn, jose-29habraham@unitec.edu

Resumen—La bioinstrumentación es un área de importancia en la ingeniería en biomédica. El siguiente documento analizó la tendencia percibida en los cursos de este bloque de conocimiento del programa de ingeniería biomédica de UNITEC en Honduras. En esta se ha detectado la dificultad en la comprensión de los temas limitando el alcance del aprendizaje en el curso. Se estableció como objetivo general, proponer mejoras a este bloque de enseñanza, abarcando los conocimientos impartidos y metodologías aplicadas en clase, así como un reordenamiento de las asignaturas mediante una reforma al pensum actual.

Se realizó un análisis del pensum de UNITEC para identificar oportunidades de mejora. También se desarrolló un benchmarking internacional para comprender el panorama de los programas académicos de la región. A través de los datos recopilados y la construcción del estado del arte se elaboró la propuesta de mejoras. El cambio de la metodología aplicada en los cursos y enfoque de las prácticas de laboratorio representan las mayores oportunidades de mejora. El aprendizaje basado en proyectos podría ser la mejor opción para impulsar la investigación y el desarrollo de dispositivos médicos en el país para acercarse al objetivo del programa académico.

Palabras clave— bioinstrumentación, docencia, ingeniería biomédica, mejora curricular

I. INTRODUCCIÓN

La ingeniería en biomédica es un campo que integra los conocimientos de la ingeniería aplicados a solucionar problemas del entorno clínico. En Latinoamérica, la participación de los profesionales en este campo se ha convertido en una necesidad debido a las competencias requeridas en el área de mantenimiento y electrónica aplicado a la anatomía [1].

La bioinstrumentación, o instrumentación biomédica es el área de conocimiento que mide, evalúa y trata sistemas fisiológicos con el uso de sensores y actuadores eléctricos. Para tener un concepto claro es necesario manejar conceptos de señales fisiológicas, electrónica, mecánica y química para el diagnóstico o tratamiento de patologías [2].

En la actualidad, se encuentra una gran variedad de dispositivos médicos que cuentan con sistemas de instrumentación biomédica para monitorear a los pacientes, adquirir información diagnóstica o controlar funciones fisiológicas con fines terapéuticos [3]. Un ejemplo de ello es la aplicación de una terapia respiratoria usando un ventilador

mecánico, donde el equipo monitorea al paciente y entrega un flujo aire y oxígeno que ayude a mantener la saturación de oxígeno.

Debido a la importancia que tiene la bioinstrumentación en la comprensión de los dispositivos médicos y su aplicación, se convierte en un área de interés en la formación de nuevos profesionales en la ingeniería en biomédica.

Los primeros programas académicos de ingeniería en biomédica se establecieron en los años 70 en México y Colombia. En los últimos años el número de programas académicos en Latinoamérica aumentan un 10% cada año, lo que representa un aumento en la cantidad de ingenieros en esta disciplina. Esta tendencia viene acompañada de un aumento en empresas que desarrollan dispositivos médicos y suplen tecnologías e insumos a hospitales [1].

A. Antecedentes del Problema

En el caso de Honduras la apertura del primer programa de ingeniería en biomédica fue realizado por la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) en el año 2007 en el campus de la ciudad de Tegucigalpa. En el campus de San Pedro Sula se realizó la apertura en el año 2018.

En el año 2019 se realizó una reforma al pensum con el fin de adaptarse a las nuevas necesidades de la biomédica en el mercado local y orientarlo a investigación y desarrollo. Dentro de la reforma se incorporaron múltiples cursos que no se encontraban dentro del programa original. Entre los cursos que se incorporaron se encuentra la bioinstrumentación biomédica [4].

Una de las consideraciones de la reforma fue las necesidades del mercado partiendo de un grupo focal con los jefes de distintas empresas del país [4]. Sin embargo, esto tiene el riesgo de crear un programa muy técnico y podría desviar del objetivo de fomentar la investigación en la institución [5].

En el programa se incorporó un nuevo bloque compuesto por dos cursos nuevos denominados: Bioinstrumentación y Tecnologías Biomédicas I y II. Estos cursos tienen el objetivo principal de estudiar diferentes dispositivos médicos, enseñándole al alumno principios de funcionamiento, aplicaciones, modos de trabajo, resolución de problemas y desarrollar la capacidad de análisis crítico en los alumnos. Ambas asignaturas están marcadas con un eje de trabajo central basado en la investigación, apoyando al desarrollo de esta y otras habilidades más en los alumnos.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Para la división de ambos cursos, se utilizó una clasificación clásica de dispositivos médicos, basada en su funcionalidad, diagnóstico y terapéutico. En el curso I se imparten las teorías de funcionamiento de tecnologías de diagnóstico y generalidades de la instrumentación biomédica clínica. En el curso II se imparten las teorías de funcionamiento de tecnologías terapéuticas, terapias especializadas y principios de esterilización hospitalaria.

Los cursos incluyen un componente de laboratorio donde se aplica la teoría y se realizan mediciones de instrumentación biomédica utilizando sistemas de entrenamiento técnico De Lorenzo. Estos están diseñados para el desarrollo de habilidades de diseño, manufactura, mantenimiento y reparación de equipos médicos [6]. Las prácticas están basadas en la identificación de circuitos y fuentes de fallas en los dispositivos.

Como otro componente práctico, se tiene la identificación de bloques funcionales y partes de dispositivos médicos que se encuentren disponibles en el laboratorio de cada campus. Para el desarrollo de estas actividades los alumnos proceden a trabajar con los componentes internos de los dispositivos. Esto se sigue considerando como una actividad para el desarrollo de habilidades técnicas.

Sin embargo, para la comprensión de estas prácticas se requiere de conocimientos en componentes electrónicos, sensores y actuadores eléctricos. En ocasiones los alumnos en bioinstrumentación no han pasado por estos cursos, provocando una baja comprensión de las prácticas y limitando el aprendizaje.

Los cursos cuentan con un eje de investigación, esto significa que se debe incluir una actividad que desarrolle habilidades de investigación. Según [7] para apreciar y entender la investigación en biomédica es importante integrar el desarrollo de competencias de investigación en una temprana etapa del programa. Los alumnos que desarrollen competencias en un alto nivel se involucran y participan en actividades de investigación y desarrollan proyectos realistas.

B. Estado del Arte

En un estudio realizado a 90 universidades de Latinoamérica, se encontró que dentro de las áreas de interés de los programas de ingeniería en biomédica el 34% pertenece a la instrumentación biomédica y 34% a la ingeniería clínica. Sin la innovación será imposible ver un cambio después de ser un programa técnico [8]. Se puede observar una distribución balanceada entre ambas áreas, para el caso de UNITEC únicamente dos de los 63 cursos del pensum consideran la bioinstrumentación.

Esta área es apropiada para un aprendizaje basado en proyectos debido a la necesidad del uso de electrónica básica, herramientas de adquisición y procesamiento de señales y programación para las necesidades del campo. Los alumnos necesitan competencias de diseño en instrumentación biomédica para llevar a cabo proyectos avanzados de diseño comparados con otras disciplinas de la ingeniería [9].

[10], [9] mencionan que su curso utiliza metodología de aprendizaje basado en proyecto donde los alumnos desarrollan un marcapasos. Considera que el marcapasos es un sistema ideal para el curso ya que incluye bloques de sensores, estimulación y retroalimentación. Antes de poder embarcarse en el curso, es esencial que los alumnos tengan conocimientos de circuitos eléctricos y MATLAB y se desarrolla en un tiempo de 12 semanas. La pedagogía consiste en clases magistrales de 50 minutos a la semana y se complementa con laboratorios de 2 horas con 45 minutos.

La descomposición de un dispositivo médico existente en bloques funcionales genera un espacio de aprendizaje práctico. A través de la combinación de las clases magistrales y aplicar los conocimientos en un proyecto central, los alumnos incrementan su conocimiento en circuitos, adquisición y procesamiento de señales y electrónica [9].

Los modelos educativos deben apuntar a tener un énfasis en la investigación traslacional para evolucionar el currículum de los alumnos [11]. La investigación traslacional permite generar soluciones a problemas clínicos. Esto se puede lograr a través de la aplicación de metodologías de aprendizaje basado en problemas para generar soluciones de valor.

El objetivo de esta investigación es proponer mejoras al bloque de enseñanza en bioinstrumentación del programa de Ingeniería en Biomédica de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras.

Este artículo se encuentra dividido por secciones y comienza describiendo el método aplicado en la investigación. Seguido de los resultados de la investigación y su respectiva discusión. Por último, se presentan las conclusiones de los autores.

II. MÉTODO

La investigación se desarrolló con un enfoque cualitativo ya que se buscó identificar las oportunidades de mejora que tiene el programa académico en los cursos de bioinstrumentación y elaborar una comparación con programas de la región.

El programa de ingeniería biomédica de UNITEC se encuentra dividido en periodos académicos trimestrales, tal y como marca la calendarización establecida por la institución para todas sus carreras, de esta manera el alumno cursa cuatro periodos académicos en un año calendario. Estos son denominados como: Q1 al periodo comprendido de enero a marzo, Q2 al periodo comprendido de abril a junio, Q3 al periodo comprendido de julio a septiembre y Q4 al periodo comprendido de octubre a diciembre.

Como población para este estudio se consideró la población estudiantil de los cursos de bioinstrumentación 2 desde la primera vez que se impartieron en el 2021 hasta Q4 del 2022.

En la Tabla I se muestra la cantidad de alumnos que han cursado las asignaturas en UNITEC, campus San Pedro Sula desde que fue impartida por primera vez en Q3 del año 2021 a la fecha, siendo estos un total de 108 alumnos.

En la Tabla II se muestra la cantidad de alumnos que han cursado las asignaturas campus Tegucigalpa desde que fue impartida por primera vez en Q3 del año 2021 a la fecha, siendo estos un total de 58.

Tabla I
POBLACIÓN ESTUDIANTIL BIOINSTRUMENTACIÓN SPS

Período - año	Alumnos matriculados	Alumnos reprobados
Q3 2021	22	6
Q4 2021	30	1
Q1 2022	19	3
Q2 2022	18	2
Q4 2022	10	0
TOTAL	108	12

Tabla II
POBLACIÓN ESTUDIANTIL BIOINSTRUMENTACIÓN TGU

Período - año	Alumnos matriculados	Alumnos reprobados
Q3 2021	12	0
Q4 2021	11	0
Q1 2022	6	1
Q2 2022	10	0
Q4 2022	19	3
TOTAL	58	4

La experiencia de los docentes impartiendo los cursos y la retroalimentación de los alumnos permitió la identificación de obstáculos en la comprensión de los temas en ambos cursos. Esta situación llevó a identificar puntos de mejora en los sílabos. Se consideraron como variables los conocimientos previos, prácticas de laboratorio y actividades de investigación.

Se realizó un benchmarking internacional para comparar los requisitos académicos previos a los cursos de biosinstrumentación en los pensum de la región. Se buscó identificar las áreas de conocimiento en las cuales se desarrollan los alumnos antes de ellos. Se consideró como criterio de selección, programas académicos en universidades en Centroamérica y México, ya que su realidad en el sector salud es similar a la de Honduras.

Con los puntos de mejora y el benchmarking, se propusieron mejoras a los cursos del programa de UNITEC Honduras. El enfoque principal fue promover la investigación y desarrollo de tecnologías dejando atrás el enfoque técnico.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Identificación de puntos de mejora

Se ha identificado que los cursos de bioinstrumentación se encuentran ubicados en una rama del pensum donde los requisitos son cursos de formación general y complementaria, definido como bloque de conocimiento. También se puede agregar que estos son requisitos de cursos como gestión de la innovación y generación de empresas, los cuales se encuentran en el mismo bloque. En consecuencia, se está considerando esta área de estudio dentro de una general.

En el pensum de UNITEC, bioinstrumentación tiene como requisito obligatorio el curso ingeniería clínica. La rama de circuitos eléctricos y electrónica se encuentran ubicadas en

periodos académicos previos, sin embargo, esta no es requisito obligatorio. En el caso de los cursos de procesamiento de señales biomédicas, control digital y programación están ubicadas en periodos posteriores a ellos.

Se ha observado una tendencia en los alumnos a no matricular los cursos en el orden indicado en el pensum. Esto ha generado el problema de limitar los contenidos del sílabo a ingeniería clínica.

Debido a la modalidad de trabajo que poseen las prácticas con las unidades De Lorenzo, estas exigen un nivel de conocimiento y comprensión elevado del área de electrónica por parte del usuario, esto se convierte en un impedimento para el curso. Así mismo transforma la actividad en una experiencia poco enriquecedora con una baja calidad de aprendizaje.

Esta situación se encuentra acompañada por una escasa cantidad de unidades disponibles en los laboratorios y una cantidad alta de alumnos que requieren realizar las prácticas. Sumando a esto, la persona encargada de impartir los laboratorios es el docente. Esto limita tiempo adecuado para el desarrollo de las prácticas, ya que se limita a la duración de una hora clase (una hora con 20 minutos), una vez por semana.

En otras asignaturas de la facultad de ingeniería, como ser electrónica y física, se cuenta con instructores de laboratorio que se encargan de desarrollar las practicas con los alumnos. Cada uno de estos laboratorios tiene una duración mínima de dos horas.

Cómo se detectó en el estudio del pensum de UNITEC, la asignatura de procesamiento de señales es un curso que el alumno atraviesa tiempo después de bioinstrumentación. Esto imposibilita la oportunidad de profundizar en los conceptos de funcionamiento interno del bloque de procesado de señales de las tecnologías estudiadas en clase, sin trabajar de manera completa el concepto verdadero de la bioinstrumentación médica. Obligando a transmitir los conocimientos de manera superficial este tipo de temas.

La dinámica trabajada en los laboratorios por medio de las unidades De Lorenzo y otras actividades a desarrollarse en el laboratorio poseen un enfoque técnico, con resolución de problemas alrededor de la tecnología que está siendo analizada. Sin invitar al alumno a la investigación para alcanzar un nivel de aprendizaje superior.

Después de identificar la falta de este componente dentro del sílabo, se comenzaron a implementar actividades utilizando el aprendizaje basado en investigación (ABI) como metodología de enseñanza en los cursos.

Las actividades de ABI implementadas fueron diseñadas por los docentes buscando desarrollar las habilidades de:

- Búsqueda e identificación de fuentes científicas.
- Elaboración de Estado del Arte.
- Identificación de partes de artículos científicos en el formato oficial del programa.
- Expresión oral y escrita.

Se destaca el uso de la metodología de exposiciones rápidas Pecha Kucha para el desarrollo de la habilidad de expresión oral. Este método genera un mayor compromiso de

los alumnos con el contenido de la presentación y genera un aprendizaje más activo [12]. Los alumnos han demostrado una mejor comprensión de los temas de investigación a través de la síntesis de la información recopilada.

En resumen, se identificaron los siguientes puntos de mejora en los cursos:

- Los cursos se imparten con un enfoque técnico.
- Los laboratorios no promueven la investigación y desarrollo.
- No se promueve el desarrollo de nuevas tecnologías.
- Los cursos de programación, procesamiento de señales y control digital se encuentran después de bioinstrumentación en el pensum.
- Los alumnos no siempre cuentan con la base de electrónica y eléctrica, lo que obliga al docente a simplificar el contenido y no permite realizar proyectos de desarrollo. Esto debido a que no son requisitos directos para el curso.

Al realizar este estudio luego de cinco periodos académicos, formando prácticamente dos años de formación dentro de la carrera de ingeniería biomédica, se puede asegurar que los datos recopilados son una muestra significativa para la detección de tendencias y otras situaciones relacionadas con el desarrollo de los alumnos.

B. Benchmarking internacional

Se tomó en consideración para este estudio el pensum de ingeniería biomédica en varios países y las universidades donde se encuentra disponible, cada uno de estos es un caso diferente, con cursos y flujos distintos. Entre los analizados se encontró únicamente dos universidades que marcan claramente los requisitos para poder matricular bioinstrumentación o su equivalente. En el resto no es claro el flujo de estos.

Se consideraron nueve (9) universidades de Centroamérica y México para el estudio comparativo:

- Universidad de Don Bosco, El Salvador (UDB)
- Universidad Mariano Gálvez, Guatemala (UMG)
- Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología, Costa Rica (ULCT)
- Universidad Latina de Panamá, Panamá (ULP)
- Universidad Especializada de las Américas, Panamá (UEA)
- Universidad Nacional Autónoma de México, México (UNAM)
- Universidad Autónoma Metropolitana, México (UAM)
- Instituto Politécnico Nacional, México (IPN)
- Universidad de Guadalajara, México (UG)

En la Tabla III se muestra una comparativa entre diferentes pensum de universidades con programas de ingeniería en biomédica. Se puede observar que en 78% de las universidades se pasa por más de dos cursos de electricidad y electrónica antes de bioinstrumentación y en 33% se precede con programación.

El requisito de cursos relacionados a biomédica se mantiene en 89% con la misma cantidad o menos que UNITEC.

Se observa que México, Panamá y Costa Rica cuentan con conocimientos previos de programación y una elevada cantidad de cursos de electrónica, lo cual se puede relacionar con una realidad de país distinta a Honduras. Esta situación puede ser propicia para el desarrollo de tecnologías médicas.

TABLA III
BENCHMARKING DE UNIVERSIDADES DE LA REGIÓN

País	U ^a	ELK ^b	FISIO ^c	BIOM ^d	PROG ^e
Honduras	UNITEC	2	2	3	0
El Salvador	UDB	5	1	2	0
Guatemala	UMG	3	1	3	0
Costa Rica	ULCT	6	1	8	1
Panamá	ULP	5	1	2	1
Panamá	UEA	2	1	3	0
México	UNAM	3	1	1	0
México	UAM	4	1	2	1
México	IPN	5	3	3	0
México	UG	1	1	1	0

^aUniversidad

^bElectrónica/Electricidad

^cFisiología

^dBiomédica

^eProgramación

Se destaca como existen ciertos pensum que incluyen una significativa cantidad de cursos relacionados al área de la electrónica y ramas similares en el camino previo; que permiten una mejor comprensión de estos conceptos al momento de estudiar algunas tecnologías médicas.

De manera parecida se destaca el pensum en la UEA de Panamá, donde a lo largo de su programa se combinan prácticas profesionales lo que genera un mayor nivel de comprensión de las tecnologías médicas importantes al momento de matricular la asignatura de bioinstrumentación.

Al trasladar ambas situaciones al plano local hacia UNITEC en Honduras, se hace notar cómo la base de cursos técnicos antes de este tipo de cursos en el programa es notablemente baja y sin ser estas un requisito obligatorio, permitiendo situaciones en las cuales se cursan de manera paralela.

En algunos casos se observa cómo se combinan cursos de programación o similares que serán de vital importancia en el estudio del procesado de señales y desarrollo de tecnologías médicas en su vida profesional, situación que se suma a la tendencia de esta época por el desarrollo de aplicaciones con manejo de bases de datos. En especial incentivando a investigaciones basadas en nuevas tendencias que no se encuentran establecidas en la región.

C. Propuesta de mejoras

Para incentivar el componente de investigación se propone implementar metodologías de aprendizaje que motiven al alumno a participar en el desarrollo de tecnologías. Se propone buscar un enfoque traslacional complementándolo con visitas de campo a hospitales del sector público. Combinar estas dos

metodologías permitirá a los alumnos identificar necesidades reales que los lleven a diseñar una solución tecnológica e innovadora.

En el trabajo designado en el laboratorio, se recomienda el enfoque en actividades y dinámicas basadas en el desarrollo de tecnologías o procesamiento de señales, permitiendo analizar a profundidad el funcionamiento de las tecnologías médicas estudiadas en el curso. Esto más allá de la comprensión básica de componentes internos orientándolo a la función de cada uno de ellos.

La duración de los laboratorios también podría ser un punto importante de mejora. Como lo mencionan [10], [9] una mayor duración permitiría la comprensión detallada de los componentes de los dispositivos médicos. También se recomienda un sistema de instructores para impartir las prácticas en múltiples horarios que el docente no tenga disponibilidad.

Se propone plantear en la próxima reforma del pensum un reordenamiento de los cursos que son requisitos obligatorios a biosinstrumentación, como electrónica y electricidad. Estos conocimientos previos permitirán elevar el nivel de comprensión de los dispositivos para impulsar investigación sobre mejoras en su diseño.

Una metodología que podría integrar el desarrollo de dispositivos y la investigación es el aprendizaje basado en proyectos. En él se indica un proyecto al inicio del periodo académico relacionado a un problema relacionado a la salud, por ejemplo, ventilación mecánica en ausencia de energía eléctrica. Los alumnos deberán combinar los conceptos de monitoreo de parámetros fisiológicos con los actuadores adecuados para brindar una acción terapéutica.

Como menciona [9], implementar la metodología de aprendizaje basado en proyectos fomenta la aplicación de conocimientos a un entorno más práctico. Sin embargo, la limitante para implementarlo es el orden de los requisitos en el pensum.

IV. CONCLUSIONES

Del análisis del contenido de los cursos de biosinstrumentación en UNITEC, se concluye que las áreas de conocimientos que presentan limitantes en la comprensión de principios de funcionamiento son: electrónica y circuitos eléctricos. Esto puede brindar un punto de análisis para la próxima reforma del programa en UNITEC y así potenciar el contenido de estos cursos. Este cambio sería conveniente para impulsar el desarrollo e investigación dejando atrás el enfoque técnico y de ingeniería clínica.

Al realizar un recorrido por el pensum de las universidades estudiadas en el benchmarking, se obtuvo información que marca de manera clara la similitud en varios aspectos de la realidad de país en cada uno. Dicha similitud afianza los puntos de mejora que son realmente alcanzables y aplicables a la realidad de Honduras.

Las tendencias marcadas en los pensum de países como México, Panamá y Costa Rica, al incluir una combinación de

cursos entre electrónica y programación, refuerzan el nivel de avance que poseen como sociedad e implementar nuevos conceptos en el área médica.

La metodología de aprendizaje basado en proyectos podría potenciar la investigación y desarrollo de dispositivos médicos. La combinación con la investigación traslacional, donde se plantea un problema del sector salud con los principios de funcionamiento de cada componente de las tecnologías médicas, puede generar proyectos que acerquen el programa al de universidades del primer mundo.

REFERENCIAS

- [1] R. Allende, D. Morales, G. Avendano, and S. Chabert, "Biomedical engineering undergraduate education in Latin America," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 90, p. 012019, Nov. 2007, doi: 10.1088/1742-6596/90/1/012019.
- [2] S. Paul, A. Saikia, V. Majhi, and V. K. Pandey, "Chapter 1 - Overview of biomedical instrumentation," in *Introduction to Biomedical Instrumentation and Its Applications*, S. Paul, A. Saikia, V. Majhi, and V. K. Pandey, Eds., Academic Press, 2022, pp. 1–43. doi: 10.1016/B978-0-12-821674-3.00010-3.
- [3] J. D. Enderle, "Chapter 9 - Bioinstrumentation," in *Introduction to Biomedical Engineering (Third Edition)*, J. D. Enderle and J. D. Bronzino, Eds., in *Biomedical Engineering*, Boston: Academic Press, 2012, pp. 509–608. doi: 10.1016/B978-0-12-374979-6.00009-5.
- [4] O. Cruz, J. Sanchez, and F. Cáceres, "Results of Biomedical Engineering program reforms at Universidad Tecnológica Centroamericana," in *LACCEI 2022*, 2022. [Online]. Available: https://laccei.org/LACCEI2022-BocaRaton/work_in_progress/WP218.pdf
- [5] J. Azpiroz-Leehan, E. Sacristán-Rock, G. Urbina-Medal, and F. M. Martínez-Licona, "Updating the Biomedical Engineering Curriculum in Latin America: Moving from management and maintenance to Design and Development of Medical Devices," in *2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, Jul. 2020, pp. 6028–6031. doi: 10.1109/EMBC44109.2020.9175362.
- [6] "De Lorenzo | BIOMEDICAL ENGINEERING," *DeLorenzo Global*. https://delorenzoglobal.com/categoria_1/biomedical2bengineering2b?Lang=En (accessed Feb. 27, 2023).
- [7] F. de Vegt, J. D. M. Otten, D. R. H. de Bruijn, H. Pluk, I. A. L. M. van Rooij, and T. F. Oostendorp, "Research in Action—Students' Perspectives on the Integration of Research Activities in Undergraduate Biomedical Curricula," *Med. Sci. Educ.*, vol. 31, no. 2, pp. 371–374, Apr. 2021, doi: 10.1007/s40670-021-01228-8.
- [8] J. Azpiroz-Leehan, F. Martínez-Licona, E. G. Urbina-Medal, M. Cadena M., and E. Sacristán Rock, "Biomedical Engineering in Latin America: A Survey of 90 Undergraduate Programs," in *VII Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2016, Bucaramanga, Santander, Colombia, October 26th -28th, 2016*, I. Torres, J. Bustamante, and D. A. Sierra, Eds., in *IFMBE Proceedings*. Singapore: Springer, 2017, pp. 106–109. doi: 10.1007/978-981-10-4086-3_27.
- [9] A. M. Kyle, D. C. Jangraw, M. B. Bouchard, and M. E. Downs, "Bioinstrumentation: A Project-Based Engineering Course," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 59, no. 1, pp. 52–58, Feb. 2016, doi: 10.1109/TE.2015.2445313.
- [10] M. B. Bouchard, M. E. Downs, D. C. Jangraw, and A. M. Kyle, "A hands-on course teaching bioinstrumentation through the design and construction of a benchtop cardiac pacemaker," in *2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Jul. 2013, pp. 3151–3154. doi: 10.1109/EMBC.2013.6610209.
- [11] J. Azpiroz-Leehan, F. M. Licona, E. G. Urbina Medal, M. C. Méndez, and E. Sacristán Rock, "Critical assessment and outlook for the 50 biomedical engineering undergraduate programs in Mexico," in *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in*

- Medicine and Biology Society (EMBC)*, Aug. 2015, pp. 3973–3976. doi: 10.1109/EMBC.2015.7319264.
- [12] A. White and K. Louis, “Pecha Kucha: An Innovative Pedagogy to Cultivate Cultural Competency in 21st Century Nursing Students,” *Nurse Educ.*, vol. 48, no. 3, pp. 168–169, May 2023, doi: 10.1097/NNE.0000000000001321.
- [13] “» Ingeniería en Biomédica aprobada por la DES | UNITEC | UNITEC.” <https://www.unitec.edu/estudios/pregrado/biomedica/> (accessed Feb. 27, 2023).
- [14] “Universidad Don Bosco © | Carreras,” <https://www.udb.edu.sv/udb/>. <http://www.udb.edu.sv/udb/pagina/postgrados> (accessed Feb. 27, 2023).
- [15] “Ingeniería Biomédica I Universidad del Valle I UVG.” <https://www.uvg.edu.gt/carreras/biomedica/> (accessed Feb. 27, 2023).
- [16] “ULACIT Costa Rica.” <https://www.ulacit.ac.cr/grado/licenciatura-en-ingenieria-biomedica/> (accessed Feb. 27, 2023).
- [17] “Licenciatura en Ingeniería Biomédica e Instrumentación – Universidad Latina de Panamá.” <https://www.ulatina.edu.pa/carreras-ingenieria/licenciatura-en-ingenieria-biomedica-e-instrumentacion/> (accessed Feb. 28, 2023).
- [18] UDELAS, “Licenciatura en Ingeniería Biomédica,” *UDELAS | Universidad de las Américas*. <http://www.udelas.ac.pa/en/facultades/facultad-de-biociencias-y-salud-publica/ofertas-academicas/licenciatura-en-ingenieria-en-biomedica-con-especializacion-en-electronica-medica/> (accessed Feb. 28, 2023).
- [19] “Ingeniería en Sistemas Biomédicos.” <http://oferta.unam.mx/ingenieria-en-sistemas-biom%C3%A9dicos.html> (accessed Feb. 28, 2023).
- [20] “UAM - Escuela Politécnica Superior - Grado en Ingeniería Biomédica.” <https://www.uam.es/EPS/IngenieriaBiomedica/1446800382089.htm> (accessed Feb. 28, 2023).
- [21] “Instituto Politécnico Nacional,” *Portal del Instituto Politécnico Nacional*. <https://www.ipn.mx/> (accessed Feb. 28, 2023).
- [22] “Ingeniería Biomédica,” *MasterBootStrap*. <https://www.ugto.mx/licenciaturas/por-entidad-academica/campus-leon/ingenieria-biomedica> (accessed Feb. 28, 2023).