

Un nuevo enfoque para el aprendizaje de diseño básico de dispositivos médicos a través de aprendizaje basado en retos y experiencial

Carvajal-Rivera, Agustín E., Montiel-Gálvez, Bernardo E., Dieck-Assad, Graciano, Lara-Prieto, Vianney.

Abstract—Uno de los retos de la Educación Superior es entrenar profesionistas con preparación para unirse a la fuerza de trabajo en un mundo dinámico, que puedan adaptarse al cambio y puedan adquirir nuevo conocimiento y habilidades de manera autónoma. Nuestra universidad implementó un nuevo Modelo Educativo con el Aprendizaje Basado en Retos como pilar principal. La universidad colabora con Socios Formadores, que son entidades externas que se abren para incluir a estudiantes en un ambiente real donde trabajarán en retos reales. Este estudio muestra un curso del cuarto semestre del programa de Ingeniería Biomédica, con el reto de diseñar un dispositivo médico desde cero. El curso fue implementado en cuatro grupos distintos, con ligeros cambios en el tiempo dedicado a los módulos teóricos y al proyecto de reto, para estudiar el mejor balance de proporción entre teoría y práctica. Los entregables del curso fueron analizados para observar cualquier diferencia en el progreso de los y las estudiantes, así como sus logros a través del curso. Una encuesta de percepción estudiantil fue aplicada para entender su involucramiento, desde su perspectiva, en el aprendizaje experiencial. Los resultados muestran que el cambio en el equilibrio que favorece a las horas del proyecto de reto mejora los resultados obtenidos, y el cambio en el tiempo dedicado no tiene un impacto significativo en los puntajes y desempeño en general.

Keywords—aprendizaje basado en retos, aprendizaje experiencial, ingeniería biomédica, innovación educativa, educación superior

I. INTRODUCCIÓN

La investigación de educación en ingeniería ha provisto estudios referentes a la efectividad del aprendizaje a nivel de pregrado, y enfocados a disciplinas específicas como Ingeniería Biomédica [1,2]. Sin embargo, la necesidad de más estudios multidisciplinarios, donde el conocimiento es aprendido en carreras multidisciplinarias con asociación industrial, sigue estando presente y aún no ha sido discutida de manera extensa.

La educación en Ingeniería Biomédica se ha beneficiado al incluir metodologías experienciales y aprendizaje basado en competencias en diferentes niveles. La asociación con la industria se ha caracterizado como una excelente alternativa para estudiantes que quieren integrarse en equipos colaborativos para resolver retos del mundo real. La participación de la industria en la educación en ingeniería ha

crecido en los últimos años debido a la necesidad por profesionistas de ingeniería competentes que puedan unirse a grupos dentro de empresas, sin requerir mucho entrenamiento adicional [1].

El nuevo plan de estudios de Ingeniería Biomédica es parte de los programas de pregrado del Nuevo Modelo Educativo en una universidad privada. Por ello, tiene al Aprendizaje Basado en Retos embebido al centro de todos los cursos; esto brinda motivación adicional, así como promueve mayor compromiso de estudiantes, usando la resolución de problemas del mundo real durante el proceso de la Educación Superior. El uso de Aprendizaje Basado en Retos para el diseño de dispositivos médicos ha provisto ventajas adicionales sobre el formato educativo tradicional, porque permite a los y las estudiantes enfocarse en factores de diseño específicos al proceso de desarrollo del dispositivo [1]. El aprendizaje experiencial, en conjunto con estrategias activas y adaptativas, ha dado excelentes oportunidades a estudiantes de Ingeniería Biomédica, sobre todo a quienes toman ventaja de las experiencias de aprendizaje basado en proyectos [2]. Las y los estudiantes muestran más confianza en sí mismos, mejoran en investigación autodirigida, y tienen mejor proyección en sus habilidades de aprendizaje a largo plazo [2].

Otros modelos educativos sugieren un incremento mayor en la colaboración entre socios industriales y las universidades a través del entrenamiento práctico, clínicas industriales, proyectos en conjunto y el desarrollo de enfoques multidisciplinarios en proyectos comunitarios [3, 4, 5, 6, 7]. Así mismo, el uso de tecnología a través de educación interactiva, así como materiales audiovisuales, ha desarrollado una nueva tendencia en Educación Superior que permite atraer estudiantes a plataformas amigables a usuarios, que desarrollan la creatividad, y refuerzan contenidos teóricos en cursos de ciencia e ingeniería tradicionales. [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. En lo que respecta la administración de la educación en ingeniería, y la incorporación de las metas de desarrollo sustentable para el desarrollo a largo plazo de planes curriculares, la Organización de las Naciones Unidas ha propuesto, como alta prioridad para administradores y responsables políticos, el reto de consolidar la innovación del aprendizaje en educación superior en ingeniería [15]. Algunas ideas preliminares han sido presentadas por investigadores procedentes de la institución donde se llevó a cabo la implementación mencionada en este artículo, donde algunas

universidades han comenzado a construir su diseño curricular en ingeniería y ciencias [15].

Por ello, este artículo presenta un nuevo enfoque para la enseñanza de Diseño de Sistemas de Instrumentación Analógica Biomédica, con aprendizaje experiencial y basado en retos embebido en el diseño del curso, y donde alianzas industriales juegan un rol muy importante para atraer a los estudiantes en la implementación de dispositivos en el mundo real.

Para este fin, este artículo pretende proveer una descripción de la experiencia con la primera implementación y corrida del curso de Diseño de Sistemas de Instrumentación Biomédica Analógica, durante el periodo de primavera 2021, teniendo 4 grupos por tres periodos de 5 semanas a lo largo del semestre, incluyendo la descripción inicial de actividades, rúbricas y evaluación preliminar del contenido conceptual en programas de ingeniería biomédica, cuyo objetivo principal es desarrollar exitosamente un prototipo funcional que resuelva los requerimientos y especificaciones propuestas por un proyecto de reto cuidadosamente diseñado, basado en la adquisición de competencias disciplinares, y como ya se mencionó previamente, en un problema del mundo real. Más específicamente, este estudio se enfocará en cómo el cambio en el equilibrio entre la cantidad de contenidos teóricos y los contenidos del proyecto de reto durante esta implementación no afecta el desempeño de los estudiantes, mejorando los resultados generales, cuando el proyecto de reto es preferido o se le da más peso que los módulos teóricos.

Este curso es parte del programa de pregrado de Ingeniería Biomédica que los estudiantes de segundo año toman durante el 4º semestre de estudios.

II. NUEVO MODELO EDUCATIVO Y APRENDIZAJE BASADO EN RETOS

La universidad, donde el curso en cuestión tomó lugar, lanzó recientemente un nuevo y completamente renovado Modelo Educativo. Su objetivo es ofrecer una educación comprehensiva que mejore la competitividad del estudiante, al desarrollar las habilidades necesarias para convertirse en líderes preparados para enfrentar los retos y oportunidades del siglo XXI.

A. Un Nuevo Modelo Educativo

El programa de Ingeniería Biomédica integra muchas disciplinas, como ingeniería en electrónica, mecánica, programación y medicina [16]. Para lograr este perfil multidisciplinario, una metodología adecuada que pueda guiar el proceso de enseñanza aprendizaje debe ser meticulosamente diseñada.

En los últimos 10 años, los estudiantes de ingeniería aprendiendo a nivel universitario han sido orientados hacia la adquisición de competencias profesionales (competencias de egreso), sin tener un procedimiento formal de evaluación de dichas competencias. Para el nuevo Modelo Educativo, este proceso ha sido desarrollado usando contenidos conceptuales, procedimentales y de valor de diferentes niveles de ciencia e ingeniería. Es importante notar que la exposición del modelo de Educación Superior típico ha sido cuestionada debido a diferentes factores, como:

- Falta de interés de los estudiantes en ciertos cursos no dominantes, dentro del plan de estudios de su carrera.
- Exceso de actividades y otras labores en las que se encuentra inmerso el estudiante universitario durante su experiencia.
- Obsolescencia en los contenidos del curso, especialmente en cursos relacionados a tecnología.
- Falta de coincidencias entre el estilo de aprendizaje del estudiante y el estilo de enseñanza del profesor, falta de comunicación entre profesores y estudiantes y viceversa.
- Falta de conexión entre el contenido del curso y problemas de la vida real que despierte el interés de los estudiantes.

El nuevo Modelo Educativo, como se describe en este estudio, tiene origen en un proceso de construcción del aprendizaje por los mismos estudiantes, tomando como base los principios del método constructivista, que han sido aceptados por muchas universidades [17], y han sido reconocidos como la teoría más importante en este respecto [18], ya que proclama que cualquier persona puede construir aprendizaje significativo en cualquier área, mientras haya un interés genuino por parte de los estudiantes, que el conocimiento presentado resulte ser significativo, y que el instructor tenga un rol activo mediando este proceso [19].

Una estrategia usada en este método es exponer a los estudiantes a prácticas experienciales y trabajo colaborativo en equipo, de tal manera que sus redes neurales sean reestructuradas, para que puedan integrar sólidamente el nuevo conocimiento con el adquirido previamente, permitiéndoles aplicarlo en diferentes contextos y escenarios [16].

Los cuatro componentes principales dentro de este Modelo Educativo son: (1) Aprendizaje Basado en Retos (ABR), (2) flexibilidad en cuándo y dónde toman lugar las experiencias de aprendizaje, (3) experiencia universitaria memorable, y (4) profesores inspiradores. El modelo se enfoca en desarrollar tanto competencias disciplinares como transversales.

Los planes de estudio de los programas de ingeniería están compuestos por ocho semestres, cada uno dividido en tres periodos de cinco semanas. Cada semestre tiene una combinación de Unidades de Formación, que son cursos de diferentes duraciones (1, 5, 10 o 15 semanas) y tienen una diferente mezcla de tasa de contenido teórico-práctico, de acuerdo con las expectativas de adquisición de las competencias de egreso, y en menor medida, los objetivos del curso. Los Bloques son las Unidades de Formación con más horas créditos cada semestre, y su característica más relevante es que los conceptos teóricos están alineados con el trabajo del proyecto de reto de la vida real, co-diseñado por la facultad y la industria.

A partir del 4º semestre, los retos están ligados con Socios Formadores, que son empresas y organizaciones que colaboran con la universidad en la experiencia de aprendizaje del estudiante. El rol principal del Socio Formador es proveer proyectos y espacios en los que los estudiantes pueden combinar su conocimiento con la práctica en el campo, para mejorar su desarrollo profesional, y guiar a los estudiantes a lo largo del recorrido, desde su propia perspectiva.

La participación de la industria en la educación en ingeniería ha crecido en años recientes, debido a la necesidad de ingenieros e ingenieras competentes que puedan unirse a grupos de empresas sin requerir mucho entrenamiento adicional. El nuevo diseño curricular en Ingeniería Biomédica desarrolló una alternativa interesante tanto para la universidad como para la industria de diseño médico, donde los estudiantes, desde su segundo y tercer año, pueden participar en planeación intensiva e interactuar en equipos de la universidad y socios industriales, para definir una solución para un reto de 5 semanas, relacionado con el diseño básico de dispositivos médicos. El equipo de planeación, profesores e ingenieros líderes del Socio Formador externo, deben definir:

- Las competencias que los estudiantes desarrollan y deben ser observadas por los profesores cuando se esté diseñando y construyendo el dispositivo.
- El campo principal de involucramiento, (por ejemplo, hardware, software o ambos), para ser desarrollados y resueltos por los estudiantes.
- La descripción completa y bien definida del reto.
- Los módulos teóricos (o trabajo de curso teórico) que la facultad le proveerá a los estudiantes, con la intención de contribuir a la entrega de una solución razonable del reto.
- La razón de contenido teórico-práctico a la que los estudiantes serán expuestos, para alcanzar los niveles de desarrollo requerido.
- Las rúbricas para establecer la evaluación del desempeño de los estudiantes durante el periodo.

B. Reto

Se definió, por parte de un equipo de instrucción formado por ingenieros practicantes y facultad de la universidad, un reto para el bloque de Diseño de Sistemas de Bioinstrumentación Analógica. El Socio Formador para este reto es Bioana, una compañía start-up basada en la misma ciudad, especializada en diseño y desarrollo de dispositivos médicos.

El reto describe la necesidad del mundo real de desarrollar dispositivos médicos básicos, para comunicar y documentar información confiable sobre el proceso de diseño, simulación, prueba, construcción de prototipos conceptuales e implementar técnicas adecuadas de medición eléctrica, mientras se demuestra la adquisición de competencias relacionadas a la responsabilidad profesional y social del diseñador de dispositivos médicos.

Equipos de 4 a 5 estudiantes se forman para trabajar colaborativamente durante el periodo de 5 semanas, y tener un prototipo funcional completo durante la semana final. El progreso del proyecto se presenta al profesor coordinador una vez por semana. Los equipos reciben retroalimentación semanal vía sesiones de preguntas y respuestas (Q&A). Al final del periodo de 5 semanas, cada equipo presenta el prototipo médico básico al Socio Formador y a la facultad. Los estudiantes son evaluados de manera individual por la Unidad de Formación de 5 semanas, considerando la adquisición de competencias durante el reto y progreso en los módulos teóricos.

C. Módulos Teóricos

En esta Unidad de Formación, los estudiantes están expuestos a las actividades que integran módulos específicos que cubren conceptos de ingeniería de disciplinas que serían enseñadas en el formato tradicional.

El estudiante adquiere conocimiento útil para resolver el reto mientras se desarrolla el módulo. Igualmente, los módulos son usados para proveer conceptos y conocimientos teóricos críticos, necesarios para consolidar la práctica profesional del estudiante en general; así mismo, hay conocimiento adicional que puede no ser usado durante el desarrollo del proyecto de reto, pero se considera fundamental para la disciplina de ingeniería. El nivel logrado en el proceso de aprendizaje está determinado por la conclusión exitosa del proyecto de reto y el resultado del módulo; esto provee al estudiante con conocimiento y práctica profesional esenciales. El involucramiento del estudiante en el módulo está determinado por el número de ligas que el profesor provee al reto, para ser resuelto durante el curso del periodo. Una consideración importante para que este sea exitoso, es que los profesores enseñen los módulos en relación plena con el proyecto de reto que los estudiantes están resolviendo.

Las horas clase dedicadas a todos los módulos teóricos y el proyecto de reto son en total 16 por semana, durante el periodo de 5 semanas, para un total de 80 horas como se muestra en la Tabla I. También, se espera que el estudiante dedique 80 horas adicionales a las actividades en el aula para completar 160 horas de trabajo durante el periodo de 5 semanas. Se espera que los estudiantes de Ingeniería Biomédica tomen otras dos Unidades de Formación durante el mismo periodo, para completar un total de 240 horas de trabajo de tiempo completo. Esto toma en consideración 48 horas de trabajo semana, del que 24 horas son sesiones de clase supervisadas por la facultad.

TABLA I. DISTRIBUCIÓN ORIGINAL DE TIEMPO DE CLASES DURANTE EL PRIMER PERIODO

Módulo	Semanas del Periodo					Total
	S1	S2	S3	S4	S5	
M1	10	8				22.5%
M2		4	14			22.5%
M3				14	4	22.5%
Reto	6	4	2	2	12	32.5%
Total (h)	16	16	16	16	16	80

III. UNIDAD DE FORMACIÓN DE DISEÑO DE SISTEMAS DE BIOINSTRUMENTACIÓN ANALÓGICA

Este bloque, que hace referencia al diseño de dispositivos médicos analógicos básicos, su distribución de tópicos e implementación, y que se discute en este estudio es la primera Unidad de Formación que los estudiantes de Ingeniería Biomédica encuentran durante el nuevo currículum.

A. Programa de Ingeniería Biomédica

El programa de Ingeniería Biomédica, bajo el nuevo Modelo Educativo está compuesto de 8 semestres; cada uno está dividido en 3 periodos académicos que duran 5 semanas.

En cada periodo, un máximo de 7 créditos puede ser cursado, permitiendo varias combinaciones de Unidades de

Formación, y mayoritariamente dedicado a bloques. En general, el programa tiene tres etapas distintas, como se muestra en la Fig. 1.



Fig. 1. Diagrama del programa de Ingeniería Biomédica.

La primera es la Etapa de Exploración, en la que los estudiantes de Ingeniería Biomédica toman Unidades de Formación, con otros estudiantes de ingeniería y medicina, en tópicos como cálculo, física clásica, electromagnetismo, termodinámica, estadística y análisis de datos, programación, química, así como anatomía y fisiología humana, e incluso biología celular. Esto constituye el tronco común para todos los estudiantes de Ingeniería y Ciencias de la Salud, y el punto de inicio para la adquisición y medición de las competencias disciplinares y transversales.

La segunda es la Etapa de Enfoque, en la que se cubren las competencias y áreas básicas de Ingeniería Biomédica; entre estas, está el análisis de circuitos eléctricos, incluyendo las variantes analógica y digital, que constituyen la base para la rama de Bioinstrumentación. Al mismo tiempo, infraestructura y tecnologías médicas, tanto principios fisiológicos y de ingeniería para ambas, así como administración, son cubiertas para converger en el área de Ingeniería Clínica. También, principios mecánicos de estática y dinámica son enfocados en el diseño de dispositivos protésicos y cardiovasculares, que se encuentran entre los tópicos principales detrás de Biomecánica.

La línea curricular de Ingeniería Fisiológica está pensada como una manera de emparejar las competencias y conocimiento de ingeniería y medicina, cubriendo temas como imagenología, neuroingeniería, y modelación de sistemas fisiológicos. De esta última, se extrajo a Ingeniería de Tejidos a su propia línea curricular, dada la tendencia al alza que muestra para los próximos años.

La tercera es la Etapa de Especialización; esta tiene la intención de que los estudiantes se especialicen en un área o tema de Ingeniería Biomédica, una vez que las competencias básicas ya han sido observadas en la etapa anterior; esto puede hacerse de diversas maneras en el séptimo semestre (penúltimo), que incluye estancias nacionales e internacionales, dentro de hospitales, empresas, grupos de investigación, etc. El último semestre es dedicado al desarrollo del Proyecto Integrador, guiado por profesores especializados y Socios Formadores externos del área del cuidado de la salud.

B. Descripción y Estructura del Bloque

El bloque en discusión, dentro de la estructura curricular, se encuentra en la Etapa de Enfoque, en el cuarto semestre. La base de este curso se encuentra en dos competencias de egreso: una transversal y otra disciplinar.

- Ciudadanía y Compromiso Ético: Implementa proyectos orientados a la transformación de su entorno y bienestar común, con conciencia ética y responsabilidad social.
- Medición de Sistemas Médico-Biológicos. Interpreta mediciones de sistemas médico-biológicos desde una perspectiva cuantitativa en entornos de cuidado de la salud. Usa herramientas de medición en sistemas médico-biológicos para diagnóstico, seguimiento y tratamiento de enfermedades, considerando buenas prácticas de laboratorio y metrología en el contexto del cuidado de la salud.

De estas dos competencias, el proyecto de reto surge. El reto pensado para esta Unidad de Formación es el diseño e implementación de un dispositivo de electrocardiografía análogo básico, para personas con padecimientos crónicos, que tienen disposición tener más actividad física, y se encuentran en la necesidad de monitoreo de signos vitales más consistente. El proyecto de reto permite a los estudiantes construir, desde cero, un dispositivo de monitoreo de signos vitales, requiriéndoles ganar habilidades y conocimiento relacionado a señales eléctricas fisiológicas, su adquisición y procesamiento, a través de amplificadores y filtros electrónicos analógicos.

También, de estas dos competencias y dada la intención del proyecto de reto, se propusieron tres módulos teóricos, que incluyen contenidos conceptuales y prácticos pertinentes a las mismas competencias. Estos cubren los temas generales de análisis de las propiedades de circuitos CA e impedancias, principios básicos de dispositivos semiconductores básicos, como diodos y transistores, y dedicando la mayor parte del tiempo al diseño y análisis de sistemas con amplificadores operacionales análogos, en conjunto con principios básicos de diseño en ingeniería, procedimientos de prueba y metrología, implementación de circuitos en protoboard, así como lectura de hojas de datos (datasheets), selección de elementos electrónicos, y técnicas básicas de medición eléctrica; este último módulo se considera como parte del reto, porque los estudiantes practican el uso del equipamiento electrónico de medición.

La distribución de la ponderación para esta Unidad de Formación se muestra en la Tabla II.

TABLA II. DISTRIBUCIÓN DE LA PONDERACIÓN DEL CURSO

Elemento	Ponderación
Reto	45%
Módulos teóricos	45%
Examen Teórico	10%
Total	100%

Como se mostró previamente en la Tabla I, la estructura original del curso contenía 26 de 80 horas de sesiones de clase para completar el reto, dejando 54 horas para contenido

teórico, representando 32.5% y 67.5% de las horas permitidas, respectivamente.

IV. METODOLOGÍA

A. Modificaciones a la Estructura del Curso

La estructura del curso fue revisada después del primer periodo, usando retroalimentación tanto de estudiantes como de miembros de la facultad. Los módulos 2 y 3 fueron redistribuidos a través de las semanas 3 y 4, y se agregaron 6 horas para completar el reto, para un nuevo total de 32 horas; así mismo, el contenido teórico fue restringido a 48 horas, ambos representando ahora 40% y 60% respectivamente. La Tabla III muestra la distribución modificada de tiempos para el segundo periodo.

TABLA III. DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO DE RETO Y TEÓRICO DURANTE EL SEGUNDO PERIODO

Módulo	Semanas del Periodo					Total
	S1	S2	S3	S4	S5	
M1	8	10				22.5%
M2		2	8	4		17.5%
M3			6	6	4	20%
Reto	8	4	2	6	12	40%
Total (h)	16	16	16	16	16	80

Después del segundo periodo, la estructura del curso fue modificada una vez más. Se agregaron 5 horas más para completar el reto, para el nuevo total de 37. El contenido teórico fue reducido proporcionalmente, ahora a 43 horas. Todos los módulos teóricos se acomodaron para permitir a los estudiantes usar la quinta semana completa para trabajo exclusivo en el reto. La Tabla IV muestra la distribución modificada de tiempo para el tercer periodo, ahora siendo el 46.25% del tiempo dedicado a completar el reto, y 53.75% al trabajo teórico.

TABLA IV. DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO DE RETO Y TEÓRICO DURANTE EL TERCER PERIODO

Module	Period Weeks					Total
	W1	W2	W3	W4	W5	
M1	8	8				20%
M2		2	6	4		15%
M3		2	7	6		18.75%
Challenge	8	4	3	6	16	46.25%
Total (h)	16	16	16	16	16	80

Cada grupo tuvo un número variado de actividades adicionales presentadas como trabajo del curso para los módulos teóricos. La Tabla V muestra un resumen de todas las razones de contenidos teórico-prácticos en todos los grupos a través de los tres periodos, así como el número de estudiantes, equipos y actividades por grupo.

TABLA V. RESUMEN DE LA ESTRUCTURA DE GRUPO Y REDISEÑO DURANTE LOS TRES PERIODOS

Grupo #	# de estud	# de equipos	Periodo	Diseño del curso		# de active.
				Teoría	Reto	
1	36	9	1	67.5%	32.5%	15
2	32	8	1	67.5%	32.5%	8

3	35	9	2	60%	40%	14
4	22	5	3	53.25%	46.25%	6

B. Recolección de Datos

Una encuesta electrónica fue usada para obtener los datos necesarios para este estudio. Empieza al preguntar información general y anónima acerca del género, edad y número de grupo del estudiante, y procede entonces a preguntar datos cualitativos acerca de los módulos teóricos y su relevancia en la solución del reto.

La parte central de la encuesta recoge datos acerca de cuál sería la razón de contenido teórico-práctico ideal, así como su opinión sobre qué tan bien fueron capaces de obtener y observar las competencias que son la base de este curso. Finalmente, recolecta información acerca del humor y estado mental mientras tomaron esta Unidad de Formación.

Esta encuesta fue enviada a todos los estudiantes que tomaron este curso de Diseño de Sistemas de Bioinstrumentación Análoga durante el semestre de primavera 2021, a través de medios institucionales de comunicación, y se recolectó la información en un lapso de dos semanas, al final del semestre. El tamaño de la muestra fue 64 estudiantes, todos ellos habiendo terminado el curso o cerca de hacerlo.

V. RESULTADOS

Esta sección describe los datos obtenidos de la encuesta y las evaluaciones grupales. Primero, los resultados de la Unidad de Formación, de las evaluaciones de exámenes, actividades, quizzes, etc., son mostrados. Entonces, todos los datos relevantes obtenidos de la encuesta se muestran en figuras resumidas. El conjunto de datos completo es anónimo, y los estudiantes están al tanto del uso que se le dará a la información provista.

A. Calificaciones del Curso

La Tabla VI muestra la comparación entre las calificaciones finales del curso, resultados de exámenes conceptuales, así como los resultados de las evaluaciones finales del reto y de módulo.

TABLA VI. PROMEDIO DE CALIFICACIONES DEL CURSO

Grupo #	Promedio			
	Califi. final (100%)	Reto (45%)	Módulos (45%)	Examen (10%)
1	90.07	100	92.3	73.3
2	90.81	100	92.9	66.6
3	88.03	92.2	88.5	70.6
4	92.29	100	90.2	68.9

La caída en el promedio del reto en el Grupo 3 se debe a un equipo en específico que no cumplió con las políticas de entrega, que resultó en que reprobaran el proyecto de reto, sesgando el promedio final para ese grupo en particular.

B. Resultados de la Encuesta

La Fig. 2 muestra el estado mental reportado, o humor, resumido como positivo o negativo, de cada estudiante que participó, dividido por número de grupo. La Fig. 3 muestra la

comparación entre las horas de trabajo teórico y el promedio final del grupo.

La Fig. 4 muestra la comparación entre las horas de trabajo en el reto y cómo los estudiantes percibieron su propio desarrollo de competencias. La Fig. 5 muestra la comparación entre el número de actividades adicionales del curso y la motivación autopercibida de los estudiantes. Tanto la percepción de las competencias y su motivación fue medida en una escala Likert de 1 a 10, donde 10 significa el valor máximo, y 1 es una completa falta de. Se utilizó una normalización mín-máx para comparar ambos conjuntos de datos.

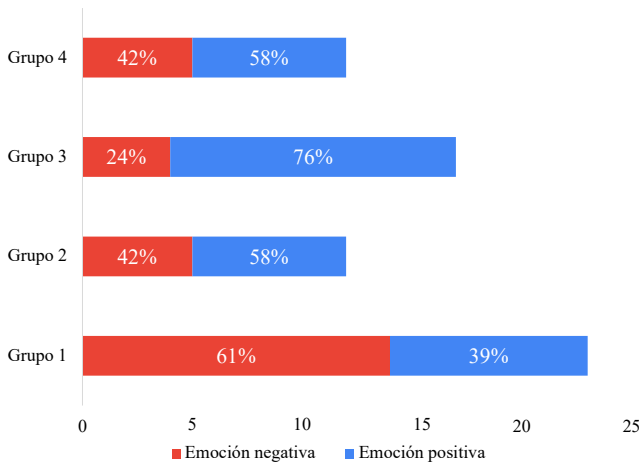


Fig. 2. Reporte de estado de ánimo estudiantil.

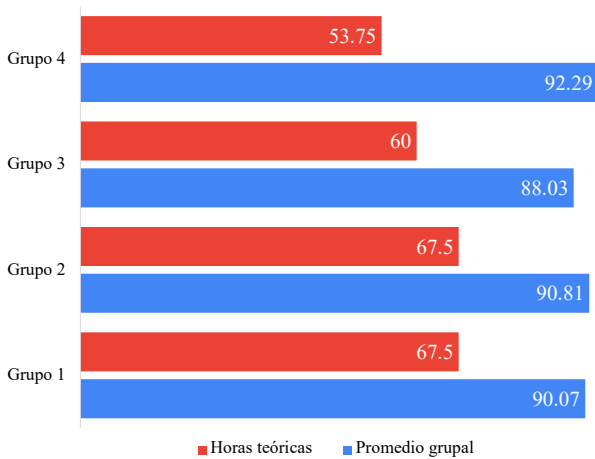


Fig. 3. Comparación entre horas de trabajo teórico y promedio de calificaciones finales.

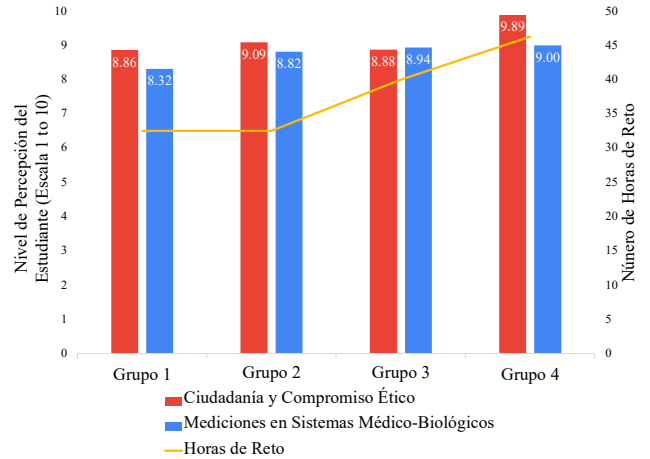


Fig. 4. Comparación entre las horas dedicadas al reto y percepción de las competencias.

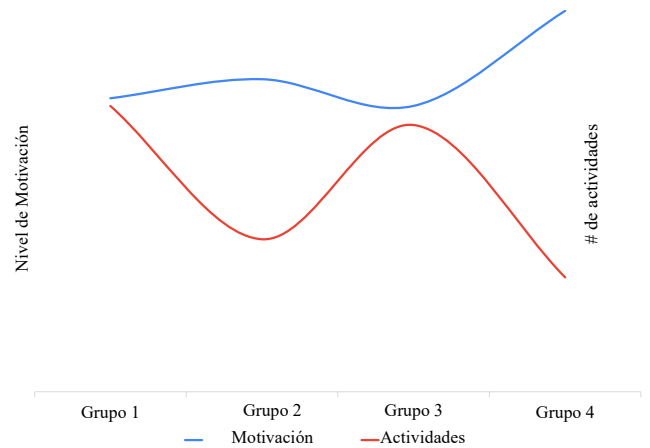


Fig. 5. Comparación entre el número de actividades del curso y de la motivación percibida de los estudiantes.

VI. DISCUSIÓN

Los autores de este estudio buscan asignar suficientes horas de clase al desarrollo del reto, sin comprometer la adquisición de conocimiento teórico crítico y conceptos que forman la base de la práctica profesional. El propósito principal de esta investigación es observar cómo varía el desempeño de los estudiantes, mientras lo hace la razón de conocimiento teórico-práctico, y el número de actividades de clase adicionales.

Al observar la Fig. 2, puede asumirse que el estado de ánimo no está correlacionado con el reto ni con los módulos teóricos, sino con el tiempo de los periodos. El efecto visto en el primer grupo, donde las emociones negativas son más prevalentes, puede ser causado por el hecho de que este es el primer semestre en la Etapa de Enfoque, y es la primera vez que los estudiantes interactúan con los grupos que son enteramente compuestos por estudiantes de Ingeniería Biomédica.

Como se evidencia en la Fig. 3, al reducir la cantidad de horas de trabajo en los módulos teóricos no tiene un impacto significativo en las calificaciones finales de los grupos. Este fenómeno permitió a los miembros de la facultad

redireccionar sus esfuerzos hacia las horas de reto, y por lo tanto permitir a los estudiantes enfocarse en su adquisición de competencias sin prescindir de ningún conocimiento teórico.

Es bien sabido que, para los estudiantes, las calificaciones importan. Como se muestra en la Tabla VI, dado que la examinación conceptual representa solamente el 10% de la calificación final, puede entenderse que los estudiantes se enfocaron en obtener mejores resultados en el reto, que representa 45% de la calificación final, en lugar de la ponderación menor que se le dio al examen.

Por otro lado, al incrementar las horas de trabajo del reto mejoró la confianza y la autopercepción de la obtención de competencias, como se muestra en la Fig. 4. El incremento en el trabajo relacionado al reto puede permitir al estudiante adquirir habilidades prácticas que no son regularmente desarrolladas en un Modelo de Educación Superior tradicional, y por lo tanto ayudando en la propia percepción de qué tan bien alcanzaron las competencias esperadas.

Una suposición común en Educación Superior es que una cantidad grande de conocimiento teórico es fundamentalmente requerido para la adecuada obtención de competencias y habilidades. Con respecto a este modo de pensar, un resultado interesante aparece en la Fig. 3, donde la cantidad de conocimiento teórico es visiblemente reducido. Se muestra que los promedios generales no son afectados, aun cuando las horas teóricas son reducidas. Además, en la Fig. 4 los estudiantes muestran una mayor confianza al haber obtenido las competencias esperadas, en proporción a la modificación de la razón de contenido teórico-práctico, donde hay un incremento de las horas clase dedicadas al proyecto de reto.

Igualmente, hay un incremento en la percepción, entre los estudiantes, acerca de qué tan bien están obteniendo las competencias esperadas. Esta percepción no solamente es de naturaleza cualitativa, sino también cuantitativa, debido a las calificaciones y observaciones dadas por la facultad evaluadora, como se ve en la Tabla VI. Es importante notar que las mismas rúbricas de evaluación, listas de cotejo y bancos de preguntas fueron usados en los cuatro grupos, y no fueron modificados o simplificados, en un esfuerzo de remover algunos de los posibles sesgos en la evaluación de diferentes grupos.

Finalmente, como se muestra en la Fig. 5, parece haber una correlación inversa entre la motivación auto-reportada de los estudiantes y la cantidad de actividades de clase adicionales que se asignaron durante el curso. Los estudiantes enrolados en grupos con menos actividades reportaron tener más disposición, y tiempo, para trabajar en el reto, por lo tanto, maximizando el desarrollo de competencias y minimizando el *burnout*.

VII. CONCLUSIÓN

El nuevo enfoque para el aprendizaje del diseño de dispositivos médicos básicos presentado, prueba ser alentador bajo el Nuevo Modelo Educativo, donde el Aprendizaje Basado en Retos y Experiential están en el núcleo del currículo. Este nuevo método ayuda al estudiante a solidificar la obtención de competencias de egreso esperadas mientras se

evita el *burnout*, sin comprometer la adquisición de conocimiento teórico vital, que sería la base para la futura práctica y desarrollo profesional. Al modificar la razón de contenido teórico-práctico favoreciendo las horas de clase dedicadas al reto, así como reduciendo las actividades, puede parecer contra intuitivo en un inicio en un contexto de modelos de Educación Superior, puede probar ser altamente beneficioso tanto para los estudiantes enrolados como profesores.

Mientras que parece no haber efecto en el estado de ánimo en general de los estudiantes, la tendencia creciente en la percepción y evaluación de objetivos de la obtención de competencias de egreso esperadas, como se observa en la Fig. 4 y Tabla VI, cuando la cantidad de horas de clase dedicadas al reto aumenta, puede ser interpretado como un signo positivo de la validez y valor del Nuevo Modelo Educativo, donde el Aprendizaje Basado en Retos y Experiential son privilegiados sobre la pura enseñanza teórica.

El nuevo enfoque presentado para la enseñanza del diseño de dispositivos médicos básicos resuelve algunos de los aspectos más criticados de los modelos de Educación Superior, pertinentes al nivel de motivación de estudiantes, exceso de actividades, y la falta de comunicación efectiva entre los diferentes actores del proceso educativo. Los estudiantes aparecen más comprometidos y encuentran las actividades de reto más atractivas. Esto resulta en mayores niveles de confianza, que están directamente correlacionadas con las evaluaciones dadas por los profesores.

Hay amplias oportunidades para realizar más estudios mientras continúe la implementación del Nuevo Modelo Educativo: mientras más estudiantes se enrolen al bloque en discusión, más data puede ser recolectada para permitir una investigación más profunda de este tema. La comparación de la adquisición de competencias de estudiantes enrolados en el Nuevo Modelo Educativo, contra los estudiantes enrolados en un Modelo Educativo Tradicional, puede producir resultados interesantes e iniciar futuras discusiones. El cambio en el modo de pensar en la facultad, previamente mencionado, también sería un tópico de investigación interesante, ya que el Nuevo Modelo Educativo no solamente requiere el rediseño de cursos y Unidades de Formación, sino un cambio en paradigmas educativos y de enseñanza.

RECONOCIMIENTOS

Los autores quisieran reconocer el soporte financiero de nuestra Universidad en la producción de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] K. May-Newman and G. B. Cornwall, "Teaching medical device design using design control," *Expert Rev. Med. Devices*, vol. 9, no. 1, pp. 7–14, 2012.
- [2] A. Singh, "A new approach to teaching biomechanics through active, adaptive, and experiential learning," *J. Biomech. Eng.*, vol. 139, no. 7, 2017.
- [3] B. Kerr, "The flipped classroom in engineering education: A survey of the research," in *2015 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, 2015, pp. 815–818.
- [4] J. W. Lancaster, A. Wong, and S. J. Roberts, "'Tech' versus 'talk': a comparison study of two different lecture styles within a Master of

- Science nurse practitioner course," *Nurse Educ. Today*, vol. 32, no. 5, pp. e14-8, 2012.
- [5] P. M. Jansson, R. P. Ramachandran, J. L. Schmalzel, and S. A. Mandayam, "Creating an agile ECE learning environment through engineering clinics," *IEEE trans. educ.*, vol. 53, no. 3, pp. 455-462, 2010.
- [6] I. Plaza, R. Igual, C. Medrano, and M. Angeles Rubio, "From companies to universities: Application of R&D&I concepts in higher education teaching," *IEEE trans. educ.*, vol. 56, no. 3, pp. 308-315, 2013.
- [7] Z. Tafa, G. Rakocevic, D. Mihailovic, and V. Milutinovic, "Effects of interdisciplinary education on technology-driven application design," *IEEE trans. educ.*, vol. 54, no. 3, pp. 462-470, 2011.
- [8] T. I. Anisimova and L. A. Krasnova, "Interactive technologies in electronic educational resources," *Int. Educ. Stud.*, vol. 8, no. 2, pp. 186-194, 2015.
- [9] M. B. Ford, C. E. Burns, N. Mitch, and M. M. Gomez, "The effectiveness of classroom capture technology," *Act. Learn. High. Educ.*, vol. 13, no. 3, pp. 191-201, 2012.
- [10] V. Heffernan, "Education needs a digital-age upgrade," *The New York times*, 07-Aug-2011.
- [11] C. Lai, Q. Wang, and J. Lei, "What factors predict undergraduate students' use of technology for learning? A case from Hong Kong," *Comput. Educ.*, vol. 59, no. 2, pp. 569-579, 2012.
- [12] O. McGarr, "A review of podcasting in higher education: Its influence on the traditional lecture," *Australas. J. Educ. Technol.*, vol. 25, no. 3, 2009.
- [13] J. Petty, "Interactive, technology-enhanced self-regulated learning tools in healthcare education: a literature review," *Nurse Educ. Today*, vol. 33, no. 1, pp. 53-59, 2013.
- [14] G. Dieck-Assad, J. M. Hinojosa-Olivares, and J. Colomer-Farrarnos, "Study of the effectiveness of interactive videos in applied electronics courses," *Int. J. Interact. Des. Manuf. (IJIDeM)*, vol. 14, no. 3, pp. 983-1001, 2020.
- [15] R. A. Ramirez-Mendoza et al., "Incorporating the sustainable development goals in engineering education," *Int. J. Interact. Des. Manuf. (IJIDeM)*, vol. 14, no. 3, pp. 739-745, 2020.
- [16] R. Anaya, "El método constructivista y la construcción de conocimientos práctico y conceptual básicos del área de Ingeniería Eléctrica y Electrónica," PhD Thesis, 2020.
- [17] A. G. D. Holmes, "Constructivist Learning in University Undergraduate Programmes. Has Constructivism been Fully Embraced? Is there Clear Evidence that Constructivist Principles have been Applied to all Aspects of Contemporary University Undergraduate Study?," *Education*, vol. 8, no. 1, pp. 7-15, 2019.
- [18] S. Mohammed and L. Kinyo, "Constructivist theory as a foundation for the utilization of digital technology in the lifelong learning process," *Turk. Online J. Distance Educ.*, vol. 21, no. 4, pp. 90-109, 2020.
- [19] J. H. Pimienta, "Metodología Constructivista: guía para la planeación docente". Pearson Educación de México, S.A. de C.V. México, 2005.