From Executors to Designers: Student Empowerment in Separation Processes II through the CDIO Framework and Action Research

María Alejandra Rodríguez
Universidad Metropolitana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Energía y Automatización, Venezuela,
marodriguezded@unimet.edu.ve

Abstract– ***This paper presents an educational innovation in the Separation Processes II course, based on the Conceive, Design, Implement, Operate (CDIO) framework and Educational Action Research, aligned with Sustainable Development Goals (SDGs) 4, 9, and 12. The objective was to evaluate the impact of these methodologies on the development of professional competencies in Chemical Engineering students, transforming their role from passive executors to researcher-designers. A didactic intervention was conducted with six collaborative groups, who designed 90-minute experimental protocols for the application of the studied separation processes in a productive system. The methodology integrated four phases: process conception under green chemistry principles, technical-operational design, autonomous laboratory implementation, and evaluation through technical reports. The main results, measured using Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET) rubrics, demonstrate excellence levels (100%) in Engineering Problem Solving (EPS) and Practical Engineering (PE) in most teams. However, significant variability was found in Labor Market Focus (LMF), identifying a critical point of 46.7% in one group compared to achievement levels of 86.7% in others. It is concluded that the autonomous design of praxis strengthens self-regulation and effectively links theory with the sustainability demands of the productive sector.***

Keywords-- ***Separation processes, CDIO Methodology, Project-Based Learning (PBL), Educational Action Research, Engineering competencies.***

De ejecutores a diseñadores: Empoderamiento estudiantil en Procesos de Separación II mediante el marco CDIO e Investigación-Acción

María Alejandra Rodríguez
Universidad Metropolitana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Energía y Automatización, Venezuela,
marodriguezded@unimet.edu.ve

Resumen*– Este artículo presenta una innovación educativa en la asignatura Procesos de Separación II, fundamentada en el marco CDIO (Concebir-Diseñar-Implementar-Operar) y la Investigación-Acción Educativa, alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 4, 9 y 12. El objetivo fue evaluar el impacto de estas metodologías en el desarrollo de competencias profesionales en estudiantes de Ingeniería Química, transformando su rol de ejecutores pasivos a investigadores-diseñadores. Se realizó una intervención didáctica con seis grupos colaborativos, quienes diseñaron protocolos experimentales de 90 minutos para la aplicación de los procesos de separación estudiados en un sistema productivo. La metodología integró cuatro fases: concepción del proceso bajo principios de química verde, diseño técnico-operativo, implementación autónoma en laboratorio y evaluación mediante informes técnicos. Los resultados principales, medidos con rúbricas del Consejo de Acreditación para la Ingeniería y la Tecnología (ABET), demuestran niveles de excelencia (100%) en la Resolución de problemas de ingeniería (RPI) e Ingeniería Práctica (IP) en la mayoría de los equipos. No obstante, se halló una variabilidad significativa en el Enfoque laboral (EML), identificando un punto crítico de 46.7% en un grupo frente a niveles de logro del 86.7% en otros. Se concluye que el diseño autónomo de la praxis fortalece la autorregulación y vincula efectivamente la teoría con las demandas de sostenibilidad del sector productivo.

Palabras clave*-- Procesos de separación, Metodología CDIO, Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), Investigación-acción educativa, Competencias en ingeniería.

I. INTRODUCCIÓN

La educación en ingeniería enfrenta actualmente el reto de trascender los modelos de enseñanza tradicionales hacia esquemas que preparen a los profesionales para las demandas cambiantes del siglo XXI [1, 2, 3]. Históricamente, la formación universitaria en Latinoamérica se ha caracterizado por estructuras jerárquicas y una marcada separación entre la teoría y la práctica, lo que limita la capacidad del estudiante para vincular el currículo con problemas sociales y productivos locales [4, 5]. En este contexto, el profesorado asume la responsabilidad de actuar como facilitador del aprendizaje, impulsando prácticas reflexivas y contextualizadas que fomenten el pensamiento crítico y la autonomía [1, 4].

Procesos de Separación II proporciona a los estudiantes de Ingeniería Química el conocimiento teórico y práctico necesario para el diseño y análisis de distintas operaciones unitarias a escala industrial.

El contenido de la asignatura incluye *extracción líquido-líquido* (proceso que separa un soluto contenido en una solución líquida poniéndola en contacto con otro solvente líquido que es relativamente inmiscible con la solución original, basado en las diferentes solubilidades de los componentes en las dos fases líquidas, produciendo un extracto y un refinado [6, 7, 8, 9]), *extracción sólido-líquido* (tratamiento de un sólido finamente dividido con un disolvente líquido que disuelve y elimina selectivamente uno o más solutos que forman parte de la matriz del sólido [7, 9]), *fluidización* (condición en la que un lecho de partículas sólidas se expande y se mantiene suspendido por un fluido -gas o líquido- que entra por el fondo de la columna a una velocidad suficiente para que la fuerza del rozamiento iguale el peso de las partículas, bajo estas condiciones el lecho se comporta como un fluido denso, permitiendo que los sólidos se muevan y circulen libremente [8, 9]), *secado de sólidos* (referido a la eliminación de cantidades relativamente pequeñas de agua u otros líquidos volátiles de un material sólido para reducir su contenido de líquido residual, lo que se logra mediante la vaporización térmica en una corriente de gas, usualmente aire caliente [8, 9]), *filtración* (separación mecánica de partículas sólidas suspendidas en un fluido -líquido o gas- al hacerlo pasar a través de un medio poroso que retiene los sólidos como una torta, permitiendo el paso del filtrado [6, 8, 9]), así como *separación por membranas* (proceso que utiliza una barrera física semipermeable entre dos fluidos para permitir selectivamente el paso de ciertos componentes (permeado) y retener otros (retentado); en este caso la membrana controla la velocidad de movimiento de las moléculas según su tamaño, forma, carga o solubilidad química [6, 9]).

Según el programa de la materia, se busca que los estudiantes adquieran competencias para entender y evaluar estos procesos a nivel industrial a partir de principios fundamentales como el equilibrio de fases y la transferencia de masa y energía.

En disciplinas técnicas como la Ingeniería Química, se ha reportado una creciente apatía y falta de motivación del

alumnado ante asignaturas experimentales y de ciencias básicas, donde la transmisión unidireccional de conocimientos no logra generar un aprendizaje duradero [10, 11]. Para revertir esta tendencia, las metodologías activas, particularmente el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), se han consolidado como estrategias eficaces al situar al estudiante como protagonista de su propio aprendizaje mediante la resolución de retos del mundo real [2, 12]. Complementariamente, el marco CDIO (Concebir-Diseñar-Implementar-Operar) ofrece un estándar internacional para integrar el diseño técnico con el desarrollo de competencias transversales desde las etapas iniciales de la formación [1, 13].

La adopción de estos enfoques responde no solo a la necesidad de mejorar el rendimiento académico, sino también de alinear la formación con la Educación 4.0, integrando tecnologías digitales y principios de sostenibilidad [2, 14]. La literatura reciente demuestra que los grupos de estudiantes bajo metodologías activas alcanzan niveles de éxito significativamente superiores frente a los métodos tradicionales, especialmente en áreas técnicas y científicas [2, 3, 13].

Bajo estas premisas, la presente investigación analiza una intervención didáctica en la asignatura Procesos de Separación II. El problema pedagógico central radica en la dificultad de los estudiantes para gestionar la complejidad de los procesos industriales bajo restricciones reales de tiempo y recursos en un entorno de laboratorio. El proyecto innovador desafió a los equipos a diseñar de forma autónoma una práctica de laboratorio de 90 minutos que integró al menos tres procesos de separación y evaluó variables críticas, empleando sustancias amigables con el ambiente y persiguiendo la valorización de residuos agroindustriales.

El objetivo de este estudio es evaluar el impacto de la metodología mixta de Investigación-Acción Educativa y el marco CDIO en el desarrollo de tres competencias ABET: (1) la Resolución de problemas de ingeniería (RPI), (2) la Ingeniería Práctica (IP), y (3) la Especialización y enfoque laboral (EML) [15]. En la Fig. 1 se presentan los resultados de aprendizaje considerados, definiendo lo que persigue cada uno de ellos.



Fig. 1. Resultados de aprendizaje considerados para la evaluación del proyecto.

A través de este estudio, se busca demostrar si la transición del estudiante de un rol ejecutor a uno de diseñador-investigador potencia la adquisición de conocimientos transferibles y fortalece su perfil de egreso ante los retos del sector productivo moderno [11].

Este fin se encuentra alineado a los Objetivos de Desarrollo Sostenible: *4. Educación de Calidad*, ya que se fundamenta en la implementación de una innovación educativa que utiliza la Investigación-Acción Educativa y el marco CDIO. *9. Industria, Innovación e Infraestructura*, ya que se plantea un reto a los estudiantes de investigar problemáticas reales de la industria química y proponer sistemas técnicos que involucren al menos tres procesos de separación. *12. Producción y Consumo Responsables*, objetivo central en el diseño de las experiencias, ya que los grupos deben aplicar principios de química verde, utilizando sustancias amigables con el ambiente. Por lo que esta integración asegura que la formación académica no solo cumpla con estándares técnicos, sino que también responda a las demandas globales de sostenibilidad y responsabilidad social.

II. Marco Metodológico

A. Diseño de la Investigación

La investigación adopta un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo) con un diseño descriptivo y transversal [16]. Se enmarca en la Investigación-Acción Educativa, definida como una herramienta que permite a los docentes y estudiantes reconocer, resignificar y transformar sus contextos mediante la integración de teoría y práctica [4]. El componente cuantitativo se centra en el análisis del nivel de logro de competencias mediante rúbricas analíticas, mientras que el cualitativo emplea la observación participante y el análisis de contenido de los productos técnicos generados [4, 5, 12, 13].

B. Contexto

La experiencia se desarrolla en la asignatura Procesos de Separación II del Departamento de Energía y Automatización en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Metropolitana en Caracas (Venezuela) durante el 3er trimestre del año escolar, en una sección de 28 estudiantes; la muestra es no probabilística e intencional, compuesta por 6 grupos de trabajo colaborativo, donde los equipos asumen el rol de investigadores-diseñadores.

C. Intervención Didáctica

La metodología se despliega en cuatro fases que alinean los estándares de ingeniería con objetivos pedagógicos:

1. *Concebir*: considera la investigación del proceso de producción a estudiar. Al respecto, los grupos investigan problemáticas reales de la industria química y proponen un sistema que involucre al

menos tres de los procesos de separación vistos en clase (extracción líquido-líquido, extracción sólido-líquido, secado, fluidización, filtración, separación por membranas), justifican su pertinencia, aplican principios de química verde considerando el uso de sustancias amigables con el ambiente y evalúan de cada proceso al menos dos variables, con el fin de llevar a cabo una experiencia de laboratorio que permita afianzar los conocimientos vistos durante el trimestre. Se les proporciona un modelo de guía práctica con experiencias anteriores realizadas en el laboratorio, pero propuestas por el docente. En la Fig. 2, se presenta la portada de los ejemplos compartidos.



a) b)

Fig 2. Ejemplos de guías de laboratorio en trimestres a) 1ero. b) 2do.

2. *Diseñar*: consiste en planificar y gestionar la experiencia. Los estudiantes deben estructurar un protocolo experimental que se ejecute en un bloque de 90 minutos (tiempo de clase), donde en la semana 8 del trimestre entregan un avance con el proceso de producción, materiales y reactivos necesarios, con el fin de verificar la factibilidad técnica y la seguridad de las operaciones en el laboratorio.
3. *Implementar y operar*: consiste en llevar a cabo la práctica de laboratorio diseñada. Durante la semana 11 del trimestre, los equipos ejecutan su diseño experimental, donde gestionan de forma autónoma los equipos, materiales y reactivos, solicitados previamente. En esta etapa, deben contar con una guía de laboratorio elaborada por el grupo de trabajo, la cual incluye las siguientes secciones: Introducción del tema, Objetivos, Materiales, Procedimiento, Hojas de datos, Resultados, Discusión de resultados, Conclusiones, Referencias.
4. *Evaluar*: contempla el análisis y sistematización de los resultados obtenidos. Para ello, los resultados se consolidan en la guía de laboratorio que incluye un informe técnico (Hojas de datos, Resultados, Discusión de resultados, Conclusiones), lo que fomenta la autorregulación y el aprendizaje significativo al contrastar sus datos con la literatura científica inicialmente consultada.

D. Instrumentos de recolección de datos y evaluación

Con el fin de validar el impacto de la innovación educativa, se utilizan como instrumentos:

1. Rúbricas analíticas (ABET), las cuales constituyen la fuente primaria de datos cuantitativos para medir el desempeño en los resultados de aprendizaje: (1) Resolución de problemas de ingeniería (RPI), (2) Ingeniería Práctica (IP), y (3) Especialización y enfoque laboral (EML).

En la Tabla I, se presenta la rúbrica propuesta para la evaluación del proyecto junto a los criterios asociados a cada resultado de aprendizaje y su ponderación, donde se considera Excelente (5 pts), Satisfactorio (3 pts) e Insuficiente (1 pt).

TABLA I
RÚBRICA EMPLEADA PARA LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO

Resultado de Aprendizaje	Criterios	Puntuación (Ponderación)
Resolución de problemas (RPI)	Comprensión y definición de problemas de ingeniería	6.0 puntos (30%)
	Aplicación de métodos analíticos modernos	
	Resolución con conocimientos básicos y avanzados	
Ingeniería Práctica (IP)	Definición del problema de diseño y conceptualización	8.0 puntos (40%)
	Evaluación de alternativas de diseño	
	Diseño detallado de la solución	
	Elaboración de documentación técnica	
Enfoque Laboral / Industrial (EML)	Identificación de necesidades del sector productivo	6.0 puntos (30%)
	Desarrollo de la solución técnica	
	Evaluación del impacto socioeconómico	
TOTAL PROYECTO		**20.0 puntos (100%)**

2. Avance del proyecto, el cual permite evaluar inicialmente la viabilidad técnica y operativa de la

propuesta realizada por cada grupo, en función de las capacidades del Laboratorio; incluye el proceso productivo, equipos y materiales requeridos.

3. Portafolio de evidencias técnicas, las cuales consideran la guía de laboratorio, datos de la experiencia, memorias de cálculo, resultados de la práctica (tablas, gráficos) que muestran el efecto de las variables en estudio en los procesos de separación seleccionados.

III. Resultados y Discusión

Siguiendo la metodología de Investigación-Acción Educativa y el marco CDIO a continuación se organiza la información en tres niveles: (1) verificación de la viabilidad fundamentada en el avance del proyecto, (2) análisis cualitativo de la producción técnica soportado en el portafolio de evidencias y (3) análisis cuantitativo de las competencias basado en las rúbricas.

A. Evaluación de la viabilidad técnica

De acuerdo con la metodología, estos resultados muestran el avance del proyecto entregado en la semana 8 del trimestre, asociados a la fase de concebir y diseñar el proyecto.

A continuación, en la Tabla II se presenta un resumen de los avances técnicos de la etapa de diseño y planificación entregada por los seis grupos de trabajo, del proyecto de Procesos de Separación II. Las propuestas se enfocaron en la valorización de residuos agroindustriales, emplean al menos tres operaciones unitarias, y debe ser ejecutadas en un bloque de 90 minutos.

TABLA II
RESUMEN DE LOS AVANCES ENTREGADOS POR LOS GRUPOS DE TRABAJO

Grupo: Tema de Investigación	**Procesos de separación**	**Equipos y materiales**
G1: Almidón de papas de descarte	1. Lixiviación 2. Filtración 3. Secado	Papas de descarte, licuadora industrial, agitador magnético, estufa de convección, kitasato y bomba de vacío.
G2: Compuestos bioactivos de borra de café	1. Maceración 2. Extracción Líquido-Líquido 3. Evaporación	Borra de café, Etanol 96%, Hexano, baño María, embudo de decantación y plancha de calentamiento.
G3: Pectina de cáscara de mango verde	1. Hidrólisis ácida 2. Filtración 3. Precipitación	Cáscara de mango, ácido cítrico, alcohol etílico frío, refractómetro digital, pHmetro y planchas de agitación.
G4: Pigmentos carotenoides (zanahoria)	1. Lixiviación 2. Filtración 3. Extracción Líquido-Líquido	Zanahoria, Acetona, Hexano, estufa, embudo de decantación y rotaevaporador.
G5: Pigmento de semilla de aguacate	1. Extracción Sólido-Líquido 2. Filtración 3. Liofilización	Semillas de aguacate, NaOH 0.5 N, secador de bandejas, molino, liofilizador y espectrómetro FTIR.
G6: Oleorresina de romero	1. Extracción Sólido-Líquido 2. Filtración 3. Evaporación	Hojas de romero, Etanol, equipo de reflujo, kitasato, bomba de vacío y rotavapor.

Los temas seleccionados fueron diversos: Almidón de papas de descarte, Compuestos bioactivos de borra de café, Pectina de cáscara de mango verde, Pigmentos carotenoides (zanahoria), Pigmento de semilla de aguacate, Oleorresina de romero, destacándose por enfocarse en el aprovechamiento de productos agroindustriales.

La verificación de la factibilidad técnica estuvo asociada a la disponibilidad de equipos, materiales y reactivos en el laboratorio.

De igual forma, los grupos de trabajo lograron justificar la pertinencia de al menos tres procesos de separación en cada proceso productivo cumpliendo lo establecido la fase de Concebir, donde los estudiantes lograron estructuraron propuestas factibles para su implementación en 90 minutos.

Cada grupo definió variables operacionales para medir la eficiencia de sus diseños bajo las restricciones del laboratorio, por ejemplo:

1. *Extracción Sólido-Líquido*, evaluaron la influencia del tiempo de agitación/reflujo (G1, G6), la temperatura (G2) y el efecto de la agitación mecánica frente al reposo (G3).
2. *Filtración*, compararon la filtración por gravedad vs. vacío (G1, G4) midiendo el volumen filtrado en función del tiempo para determinar la eficiencia de la operación.
3. *Extracción Líquido-Líquido*, analizaron la formación de sistemas bifásicos mediante el cambio de polaridad/constante dieléctrica (G3, G4).
4. *Evaporación/Secado*, evaluaron la temperatura y la cinética de eliminación de solventes (G1, G2, G4, G6).

Todas las experiencias fueron adaptadas para cumplir con el protocolo de seguridad del laboratorio, priorizando el uso de sustancias amigables con el ambiente (agua destilada, ácido cítrico y etanol) y el uso de campanas de extracción para solventes volátiles como el hexano o la acetona.

La combinación de ABP y el marco CDIO no solo ordena el trabajo técnico, sino que clarifica las expectativas y hace trazable el progreso desde la concepción hasta la operación, permitiendo que los equipos de trabajo manejen la complejidad del diseño bajo las restricciones indicadas [13]. De igual forma, se refuerza la idea de que el pensamiento crítico se manifiesta en la capacidad de los estudiantes para seleccionar la opción más adecuada entre diversas formas de resolver un problema técnico real [16].

B. Análisis cualitativo

A continuación, se presenta el portafolio de evidencias técnicas, con los productos derivados en la fase de implementar y operar.

1. *Documentación técnica*: los grupos de trabajo elaboraron guías de calidad cumpliendo con las pautas establecidas. En la Fig. 3, se presenta ejemplo de las guías elaboradas.



a) b)

Fig. 3. Guías de trabajo elaboradas. a) G1: Almidón. b) G4: Pigmentos carotenoides.

2. *Sustentabilidad y química verde*: los resultados reflejan el uso de sustancias amigables con el ambiente en las experiencias de laboratorio diseñadas de forma autónoma por la mayoría de los grupos de trabajo.

Al analizar la calidad de las guías de laboratorio y el uso de sustancias amigables con el ambiente cómo etanol y agua, se evidencia la autonomía de los grupos en el manejo de equipos y reactivos. En muchos casos la selección de los solventes estuvo asociada a la afinidad con el soluto, lo que limitó el empleo de ecosolventes.

Los resultados confirman que las metodologías activas ayudan a mejorar la inclusión y la interacción, y que incluso estudiantes no familiarizados con métodos de investigación reciben positivamente estas actividades por su carácter práctico y vivencial [12]. Por otra parte, la alineación con los ODS 4, 9 y 12 en los proyectos de ingeniería confirma la viabilidad, pertinencia y rutas de continuidad de las soluciones propuestas por los estudiantes [13].

3. *Sistematización de datos*: en los proyectos presentados fue evidente la recolección de datos experimentales (tablas y gráficos) que muestran el efecto de las variables en estudio. En la Fig. 4 se presenta evidencia de datos y resultados obtenidos en una de las prácticas realizadas (G4).

En relación con este aspecto, la capacidad de los estudiantes para contrastar sus datos con la literatura científica define el aprendizaje activo como un proceso que obliga a los estudiantes a reflexionar sobre las ideas y cómo las están usando, evaluando periódicamente su propia comprensión y habilidad para manejar problemas de la disciplina [3]. Es importante destacar la importancia de realizar una evaluación de procesos, y no solo de resultados, permitiendo que el alumnado aporte sus propias soluciones e incorpore el aprendizaje de manera significativa [5].

DATOS

TABLA 1.

Deshidratación de la Matriz: temperatura de la estufa, tiempo de permanencia, tamaño de rallado, nombre de muestra, masa inicial y final de la matriz vegetal

Secado de Zanahoria					
Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Tamaño de Rallado	Nombre muestra	Masa Inicial (g)	Masa final (g)
50	20	1 (pequeño)	T1R1	10.1135	9.6362
				10.2117	9.6724
				10.0361	9.4338
				10.2651	9.5413
		2 (grande)	T1R2	10.0250	9.5892
	10	1 (pequeño)	T2R1	10.1804	9.9085
		2 (grande)	T2R2	10.1174	9.9301

TABLA 2.

Extracción Sólido-Líquido y Filtración: proporción de solventes, tiempo de extracción, nombre de muestra, masa de matriz seca, volumen añadido, volumen recuperado (post-filtrado) y observaciones

Extracción Sólido-Líquido y Filtración					Volumen Recuperado (Post - Filtrado) (mL)	Observaciones (Color)
Proporción Solventes (Hexano - Acetona)	Tiempo de Extracción (min)	Nombre de Muestra	Masa Matriz Seca (g)	Volumen Teórico Añadido (mL)		
50:50	10	P1T1	9.6362	34	25.5	Color leve
	20	P1T2	9.5413		26.0	Color medio
60:40	10	P2T1	9.4338		26.0	Color medio
	20	P2T2	9.6724		28.0	Color más intenso después del filtrado

a)

RESULTADOS

TABLA 5.

Porcentaje de Humedad Final y Agua Removida en el Secado de la Zanahoria

Nombre muestra	Humedad Teórica de Zanahoria (%)	Porcentaje de Humedad Final (%)	Porcentaje de Agua Removida (%)	Promedio de Porcentaje de Humedad Final (%)	Promedio de Porcentaje de Agua Removida (%)
T1R1	88.0*	87.41	5.36	87.27	6.55
		87.33	6.00		
		87.23	6.82		
		87.09	8.01		
T1R2		87.45	4.94		-
T2R1		87.67	3.04		-
T2R2		87.77	2.10		-

**Transferencia de calor y masa: Fundamentos y aplicaciones (4a ed.). Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011).*

TABLA 6.

Masa y Rendimiento de Oleorresina Pura de Carotenoides

Nombre de Muestra	Masa Seca Equivalente (g)	Masa de Oleorresina (g)	Rendimiento Base Seca por Fracción (%)	Rendimiento Global Base Seca (%)	Rendimiento Global Base Húmeda (%)
NA80	4.77	0.1320	2.78	2.71	2.52
NA40	4.58	0.1264	2.76		

b)

Fig. 4. Evidencias del G4: Pigmentos carotenoides. a) Datos. b) Resultados.

C. Análisis Cuantitativo

A continuación, se presenta en la Fig. 5, el desempeño por resultados de aprendizaje (ABET), indicando el nivel de logro de los seis grupos de trabajo utilizando como fuente primaria las rúbricas analíticas.

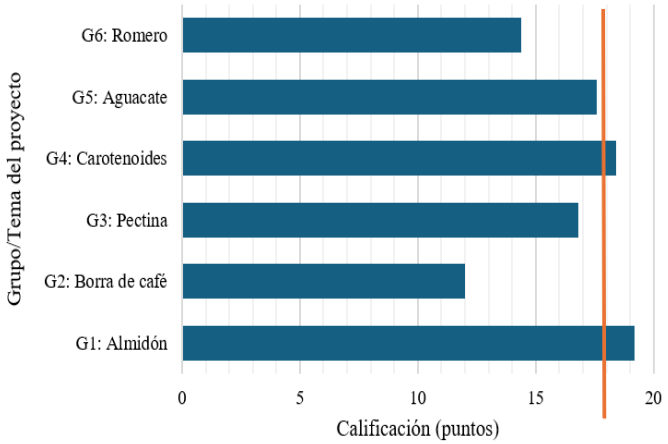


Fig. 5. Resultados cuantitativos según las rúbricas.

Se aprecia que dos grupos (G1, G4) superaron el umbral de la excelencia con calificaciones mayores a 18 puntos, lo que representa un 33.3% del grupo de estudiantes.

Al analizar por qué el promedio general superó los 15 puntos, se corrobora que las metodologías centradas en el estudiante, como el ABP, han demostrado su eficacia para mejorar el rendimiento académico, la motivación y la implicación del alumnado en áreas técnicas y científicas [17]. Este resultado permite ser contrastado con estudios que demuestran que el aprendizaje basado en el *Learning by doing* (aprender haciendo) logra niveles de éxito superiores para la consecución de competencias específicas en comparación con la metodología tradicional [12].

Para la evaluación de los resultados de aprendizaje y los criterios asociados a cada uno de ellos, se emplea un código de colores, siendo el verde oscuro el que denota *Excelente*, amarillo ocre señala *Satisfactorio*, y rojo indica *Insatisfactorio*.

1. Resolución de problemas de ingeniería (RPI). En la Fig. 6 se pueden observar los resultados asociados a este resultado de aprendizaje.

Grupo	Resolución de problemas de ingeniería			
	Comprensión y definición de problemas de ingeniería	Aplicación de métodos analíticos modernos	Resolución de problemas con conocimientos básicos y avanzados	TOTAL
1	5	5	5	100,0
2	3	3	3	60,0
3	5	5	5	100,0
4	5	5	5	100,0
5	5	5	5	100,0
6	3	3	5	73,3

Fig. 6. Resultados asociados a la Resolución de problemas de ingeniería.

Se evidencia que los grupos aplicaron métodos analíticos modernos para definir problemas de ingeniería, observándose que grupos como G1, G3, G4 y G5 alcanzaron el 100% de excelencia en este rubro representando el 66.7%; de igual forma se encuentra que el 33.3% se ubica en un nivel por encima del nivel satisfactorio, pero deben reforzar criterios como la comprensión y definición de problemas de ingeniería y la aplicación de métodos analíticos modernos.

2. Ingeniería práctica (IP). En la Fig. 7 se presentan los resultados de aprendizaje siguiendo el código de colores establecido.

Grupo	Ingeniería Práctica				
	Definición del problema de diseño y conceptualización	Evaluación de alternativas de diseño	Diseño detallado de la solución	Elaboración de documentación técnica	TOTAL
1	5	5	5	5	100,0
2	3	3	3	5	70,0
3	5	3	3	5	80,0
4	5	5	5	5	100,0
5	3	5	3	5	80,0
6	3	5	3	5	80,0

Fig. 7. Resultados asociados a la Ingeniería práctica.

Con la Ingeniería práctica se busca evaluar la eficacia del diseño detallado de la solución y la conceptualización del problema; este componente tiene el mayor peso (40%) y mide la capacidad de condensar la práctica en 90 minutos. En esta figura se aprecia que el resultado de aprendizaje en general presenta en la mayoría de los grupos un alcance satisfactorio, en particular el diseño detallado de la solución y la definición del problema de diseño y conceptualización, criterios básicos para el buen desarrollo de la experiencia práctica. En este caso solo el 33.3% alcanza el nivel excelente, aun cuando el 66.7% está por encima del nivel satisfactorio.

3. Especialización y enfoque laboral (EML). En la Fig. 8 se presentan los resultados asociados.

Grupo	Especialización y enfoque en el mercado laboral			
	Identificación y comprensión de necesidades	Desarrollo de soluciones	Evaluación del impacto socioeconómico y mejora continua	TOTAL
1	5	5	3	86,7
2	3	3	1	46,7
3	5	3	3	73,3
4	3	5	3	73,3
5	5	5	3	86,7
6	3	3	3	60,0

Fig. 8. Resultados asociados a la Especialización y enfoque en el mercado laboral.

En este caso se busca analizar la identificación de necesidades del sector productivo y el impacto socioeconómico. El G2, obtuvo un desempeño insuficiente (46.7%) en este criterio específico, debido a la falta de consideración de distintas variables en los procesos en estudio y la omisión tanto del análisis de factibilidad económica como del impacto socioeconómico.

Al analizar la variabilidad en la competencia de Especialización y enfoque laboral (EML), especialmente el bajo desempeño del G2 en impacto socioeconómico, se evidencia una debilidad en la vinculación entre cálculos técnicos y realidades sociales. Se puede sugerir que esta

brecha se debe a que la integración de la ética formativa y la responsabilidad social requiere un andamiaje pedagógico más profundo para que el estudiante vea la solución técnica como parte de un sistema humano más amplio [17].

El modelo educativo actual exige un giro del enseñar al aprender, donde la evaluación debe utilizarse estratégicamente para que el estudiante identifique estas debilidades en su formación profesional [18].

En la Fig. 9 se presenta un resumen con los resultados de aprendizaje evaluados para los seis grupos de trabajo que forman parte del estudio.



Fig. 9. Resumen de los resultados de aprendizaje.

Aun cuando el estudio puede tener como restricción metodológica el tamaño de la muestra (número de estudiantes, N=28) en una única cohorte académica lo que limita la generalización estadística de los resultados, este proporciona validez y profundidad cualitativa para el contexto de estudio. Por lo que, en función de las debilidades detectadas, se propone. incorporar una matriz de evaluación de impacto socioeconómico en la fase de Diseño para cerrar la brecha detectada en la competencia EML.

IV. Conclusiones

El modelo pedagógico demostró alta eficacia en el fortalecimiento de la Resolución de problemas de ingeniería (RPI) e Ingeniería Práctica (IP) con resultados cuantitativos que sitúan a los G1 y G4 como líderes en excelencia, alcanzando el 100% de logro en ambos rubros al diseñar protocolos técnicos sólidos y documentación técnica de alta calidad.

El reto de los 90 minutos validó la capacidad de los estudiantes para planificar y gestionar experiencias complejas bajo restricciones reales de tiempo, donde el éxito en la fase de Implementar y Operar evidencia que la autonomía en el manejo de equipos y reactivos fomenta un aprendizaje significativo que supera al de las guías tradicionales propuestas únicamente por el docente.

Si bien la mayoría de los grupos mostró un desempeño satisfactorio, la competencia de Especialización y enfoque laboral (EML) presentó la mayor variabilidad, identificándose un punto crítico en el G2 (46.7%), específicamente en la evaluación del impacto socioeconómico de la solución técnica, lo que sugiere la necesidad de reforzar la vinculación entre los cálculos de ingeniería y las realidades del sector productivo en futuras intervenciones.

La metodología empleada fomentó la conciencia ambiental al exigir la aplicación de principios de química verde y el uso de sustancias amigables con el entorno logrando la valorización exitosa de residuos agroindustriales lo que demuestra que es posible alinear los objetivos académicos de la Ingeniería Química con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 9 y 12.

El proceso de Evaluar, mediante el contraste de datos experimentales propios con la literatura científica, permitió a los estudiantes reconocer y transformar sus contextos de aprendizaje, donde la sistematización de resultados en informes técnicos consolidó habilidades de comunicación científica esenciales para su futuro perfil profesional.

La implementación de la Investigación-Acción Educativa y el marco CDIO en la asignatura de Procesos de Separación II ha permitido transformar la dinámica del laboratorio, logrando que los estudiantes pasen de ser ejecutores pasivos a investigadores-diseñadores de su propia praxis, evidenciando que el diseño autónomo de la práctica de laboratorio no solo mejora el rendimiento académico, sino que empodera al estudiante para enfrentar desafíos técnicos reales con una visión crítica y sostenible.

Agradecimiento/Reconocimiento

A la Universidad Metropolitana por el financiamiento e impulso a las iniciativas de innovación educativa y actualización tecnológica en la formación de los futuros ingenieros en Venezuela.

Referencias

[1] A. Burbano, A. J. Ledesma, y D. A. Ordoñez, "Competencias docentes de ingeniería: Revisión bibliográfica de literatura," *Rev. Mex. Investig. Educ.*, vol. 29, nº 101, pp. 181-203, 2024

[2] K. M. Guaicha Soriano, P. E. Lima Rosero, J. A. Calderón Guzmán, y Z. J. Llange Nieves, "Implementación en el aprendizaje basado en proyectos (ABP) en la educación universitaria: impacto en la motivación y el rendimiento de los estudiantes", *Revista Social Fronteriza*, vol. 4, nº 5, e456, 2024

[3] F. Barrera Arcaya, J. I. Venegas-Muggli, y L. Ibacache Plaza, "El efecto del Aprendizaje Basado en Proyectos en el rendimiento académico de los estudiantes", *REXE - Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, vol. 21, nº 46, pp. 277-291, 2022

[4] A. F. Astaíza Martínez, M. I. Castillo Bohórquez, G. A. Rojas León, J. E. Mazorco Salas, y J. J. González López, "Co-creación de un ambiente de enseñanza constructivista para un curso de pensamiento sistémico: un

proceso de investigación-acción educativa", *Márgenes, Revista de Educación de la Universidad de Málaga*, vol. 3, nº 1, pp. 84-104, 2022
[5] M. Daher, A. Rosati, A. Hernández, N. Vásquez, y A. Tomicic, "TIC y metodologías activas para promover la educación universitaria integral", *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, vol. 24, e08, pp. 1-18, 2022
[6] P. C. Wankat, *Separation Process Engineering: Includes Mass Transfer Analysis*, 3ª ed. Upper Saddle River, NJ, EE. UU.: Pearson Education, 2012
[7] R. E. Treybal, *Operaciones de Transferencia de Masa*, 2ª ed. (trad. A. García Rodríguez). México: McGraw-Hill, 1980
[8] W. L. McCabe, J. C. Smith y P. Harriott, *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*, 4ª ed. (trad. E. Guardiola Formento et al.). Madrid, España: McGraw-Hill, 1991
[9] C. J. Geankoplis, A. A. Hersel y D. H. Lepek, *Transport Processes and Separation Process Principles*, 5ª ed. Boston, MA, EE. UU.: Prentice Hall, 2018
[10] J. Cabero-Almenara, C. Llorente-Cejudo, A. Palacios-Rodríguez, y M. Serrano-Hidalgo, Eds., *Mejorando la enseñanza a través de la innovación educativa*. Madrid, España: Dykinson, 2023
[11] R. Fernández Piqueras, E. Guerrero Valverde, S. Cebrián Cifuentes, y C. Ros Rosa, "Innovación educativa universitaria y metodologías activas para el aprendizaje de las competencias específicas del grado," *Edetania*, n.º 58, pp. 183-200, dic. 2020, doi: 10.46583/edetania_2020.58.723
[12] E. M. Morales-Morgado, S. Ruiz-Torres, S. Rodero-Cilleros, B. Morales-Romo, y R. A. Campos-Ortuño, "Metodologías activas en educación superior, mediadas por tecnologías en diversas disciplinas," Aula, vol. 29, pp. 295-311, 2023, doi: 10.14201/aula202329295311
[13] D. Aguilera, "Integración ABProy y CDIO para fortalecer aprendizajes en ingeniería de primer año," en Actas del Congreso de la Sociedad Chilena de Educación en Ingeniería (SOCHEDI), Concepción, Chile, 2025
[14] L. R. Fernández Sánchez, Salazar Guamán, D. Sancho Aguilera, J. Barajas Flores, y M. A. Rivadeneira Rivadeneira, "Impacto en la innovación educativa dentro del marco de la educación 4.0: desafíos y oportunidades en la enseñanza universitaria asociados al desarrollo de habilidades (TIC) por parte del cuerpo docente," Revista Social Fronteriza, vol. 5, n.º 2, art. e686, abr. 2025, doi: 10.59814/resofro.2025.5(2)686
[15] ABET Engineering Accreditation Commission, "Criteria for Accrediting Engineering Programs, 2024–2025," ABET, Baltimore, MD, 2024
S. M. Mendoza Moreira, H. A. Guerrero Alcívar, N. V. Parrales Figueroa, y O. F. Pin Quiroz, "Implementación del método Diseño Universal de Aprendizaje como innovación educativa en el aula universitaria," Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS, vol. 5, n.º 1, pp. 89-97, ene.-mar. 2023, ISSN: 2806-5794
[16] S. Y. Caballero Meneses, E. S. Vergara Causo, V. G. Melgarejo, y J. R. Rodriguez-Barboza, "Metodologías activas en la educación latinoamericana: una revisión sistemática sobre su impacto en el aprendizaje significativo", *Revista Invecom*, vol. 5, nº 2, pp. 1-18, 2025.
[17] J. J. Muntaner-Guasp, B. Mut-Amengual, y C. Pinya-Medina, "Las metodologías activas para la implementación de la educación inclusiva," Revista Electrónica Educare, vol. 26, n.º 2, pp. 85-105, 2022, doi: 10.15359/ree.26-2.5
[18] A. Fernández March, "Metodologías activas para la formación de competencias," *Educatio siglo XXI*, vol. 24, pp. 35-56, 2006