

EJE 10 **Buenas Prácticas** **en el ámbito educativo**

Investigación operativa como estrategia
educativa: aplicación a estudiantes
ecuatorianos de Ingeniería
Petroquímica y de Polímeros



*«Nuevos paradigmas y
experiencias emergentes»*

Investigación operativa como estrategia educativa: aplicación a estudiantes ecuatorianos de Ingeniería Petroquímica y de Polímeros

Operational Research as an Educational Strategy: Application to Petrochemical and Polymer Engineering Students of Ecuador

Marvin Ricaurte¹

Resumen

La investigación operativa consiste en un análisis integral de una problemática con la finalidad de identificar alternativas para su solución, que involucra aspectos técnicos y económicos. Este tipo de investigación, como herramienta educativa permite la formación de estudiantes de carreras de Ingeniería, desde una perspectiva global y en escenarios similares a entornos industriales. En este trabajo se presenta la puesta en práctica de la investigación operativa como estrategia educativa en el área de simulación de procesos industriales, aplicada a estudiantes de pregrado en Ingeniería Petroquímica e Ingeniería de Polímeros (Universidad Yachay Tech, Ecuador). Durante el semestre se plantearon problemas de diferentes niveles de complejidad que fueron analizados a profundidad, para su correcta interpretación y dimensionamiento. Una vez identificadas las posibles soluciones, se realizó la validación mediante herramientas de simulación de procesos. Con esta estrategia educativa se promueve en los estudiantes el trabajo en equipo, el razonamiento característico de los ingenieros, y se fomenta la toma de decisiones.

Palabras clave: estudiantes de pregrado, estrategias educativas, carreras de ingeniería, investigación operativa, petroquímica, polímeros, simulación de procesos industriales, solución de problemas.

Abstract

Operational research consists of a comprehensive problem analysis in order to identify alternatives for its solution, involving technical and economic aspects. This type of research as an educational tool allows the training of engineering students from a global perspective and in scenarios similar to industrial environments. This work presents the implementation of operational research as an educational strategy in the area of industrial process simulation, applied to undergraduate students of Petrochemical and Polymer Engineering programs (at Yachay Tech University, Ecuador). During the semester, problems of different levels of complexity were raised, which were analyzed in depth for their correct interpretation and dimensioning. Once the possible solutions were identified, the validation was carried out using process simulation tools. With this educational strategy, the students are promoted in teamwork, logical thinking typical of engineers, and the development of tools for decision-making.

Keywords: educational strategies, engineering careers, industrial process simulation, operational research, petrochemistry, polymers, problem-solving, undergraduate students.

¹ Universidad Yachay Tech, Ecuador, mricaurte@yachaytech.edu.ec

1. Introducción

Uno de los retos en la formación de estudiantes de las diferentes carreras de Ingeniería es promover el desarrollo de la capacidad analítica y práctica para realizar análisis de problemáticas que suelen presentarse en entornos empresariales e industriales. El pensar como ingeniero es desarrollar la capacidad para la interpretación de conceptos –de baja, mediana y alta complejidad– con la finalidad de proponer soluciones que involucran aspectos técnicos y económicos (Torrecilla et al., 2021). En dependencia de la rama de la ingeniería dichas soluciones contemplan aspectos sociales y culturales. Esto debe incentivar en profesores y docentes la promoción e implementación de estrategias educativas innovadoras que motiven el aprendizaje en los estudiantes, y se adapten a las tecnologías informáticas y comunicacionales disponibles en el siglo XXI (Lapitan et al., 2021).

La investigación operativa se centra en el análisis integral de un problema (real o hipotético) asociado a una empresa o industria (Joly et al., 2015). Como parte del análisis se debe revisar al detalle aspectos técnicos y logísticos, incluidos: reportes de producción, históricos de mantenimiento, revisión de la cadena de suministros, inversiones de capital y gastos operacionales.

Si la problemática en estudio involucra un proceso de transformación de materias primas en productos acabados, el análisis se debe focalizar en: revisión de las condiciones operacionales, estudio de sensibilidad de los parámetros característicos en el funcionamiento del proceso, estado actual de los equipos, variabilidad de materias primas e insumos, cumplimiento de parámetros de calidad de los productos, entre otros (Zarei et al., 2021). La simulación de procesos es una alternativa para realizar el análisis de las operaciones unitarias representativas de los procesos químicos a escala industrial (Belton, 2016).

Es por ello que los estudiantes de Ingeniería Química y carreras afines deben desarrollar habilidades para predecir y evaluar el comportamiento de un proceso con base en criterios ingenieriles, mediante el adiestramiento en el uso y manejo de diferentes simuladores comerciales, que les permitirán en su futuro ejercicio profesional participar en proyectos de ingeniería o trabajar en plantas industriales como ingenieros de procesos, además de ser capaces de llevar a cabo estudios de optimización que soporten la toma de decisiones en dichos proyectos o plantas industriales.

La Universidad Yachay Tech (Ecuador) es una institución pública creada en diciembre de 2013, donde se imparten carreras de carácter científico y tecnológico en diferentes áreas de conocimiento. Específicamente en el área de Ciencias Químicas e Ingeniería, las licenciaturas asociadas son: Química, Ingeniería Petroquímica e Ingeniería de Polímeros (Ricaurte y Vilorio, 2020).

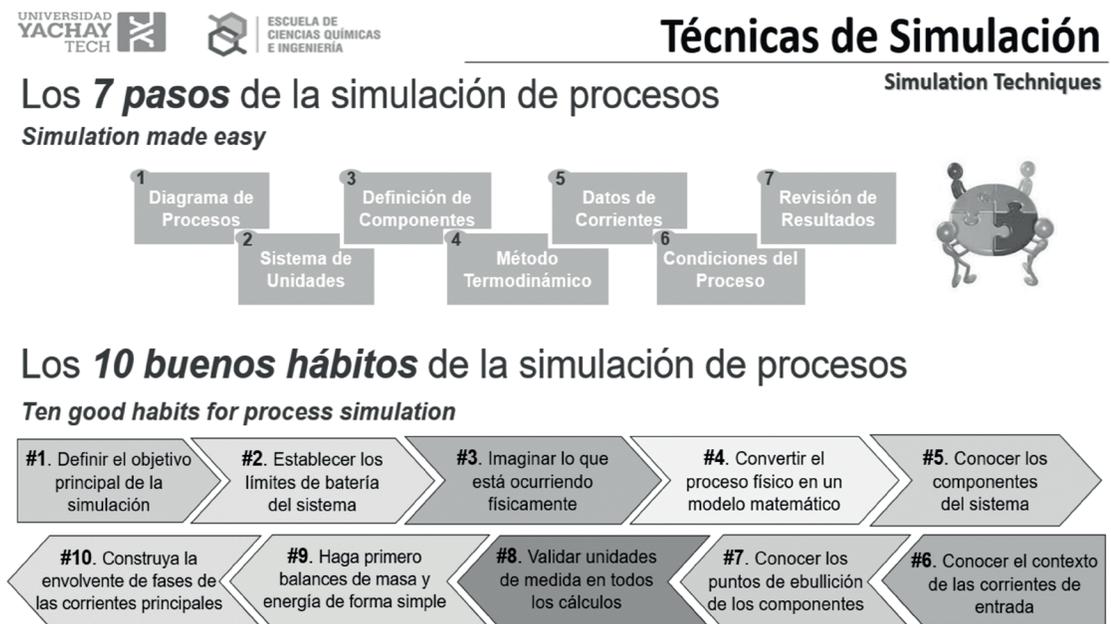
En este trabajo se presenta la implementación de la investigación operativa como estrategia educativa en el área de simulación de procesos industriales, aplicada a estudiantes de las carreras de Ingeniería Petroquímica e Ingeniería de Polímeros, en la asignatura electiva Técnicas de Simulación de Procesos (TSP), la cual complementa su formación en la disciplina de modelaje y simulación de procesos a escala industrial. Dicha asignatura es ofertada a

estudiantes de los dos últimos semestres (9.º y 10.º semestres), teniendo como prerrequisito la asignatura Modelaje y Simulación de Procesos (MSP) (8.º semestre).

2. Metodología

En la asignatura Técnicas de Simulación de Procesos se emplearon proyectos reales con la finalidad de identificar estrategias de simulación y desarrollar buenos hábitos en la disciplina de simulación de procesos (Figura 1). El eje central del curso fue el desarrollo de casos de estudios, y se consideró que las operaciones unitarias en los procesos industriales tuviesen pertinencia con la formación recibida por los estudiantes en las diferentes asignaturas hasta el 8.º semestre. El sílabo de asignatura se divide en cuatro unidades curriculares: aspectos básicos de la simulación, simulación de procesos a gran escala (partes I y II) y aplicaciones de la simulación en proyectos reales.

Figura 1
Simulación de procesos: pasos y buenos hábitos



La estrategia de desarrollo del curso consistió en la propuesta inicial de un problema, donde los estudiantes deben hacer un análisis inicial de la problemática, investigar sobre el proceso industrial, identificar estrategias para su solución, y validar dichas propuestas haciendo uso del simulador de procesos. Los resultados fueron discutidos en clases,

mediante una comparación crítica del impacto técnico y económico de cada una de las propuestas. Teniendo en cuenta que en el mundo real la «mejor solución» es aquella que además de cumplir con criterios técnicos e ingenieriles, se adapte a las condiciones financieras de la empresa o industria, cumpla con normativas de calidad, regulaciones ambientales y legales. Adicionalmente, a los estudiantes se les asignó la responsabilidad de analizar y ejecutar proyectos de investigación operativa. Los primeros proyectos –de mediana complejidad– fueron realizados en parejas; mientras que para los segundos proyectos –de alta complejidad– el curso fue dividido en dos grupos.

Al finalizar la asignatura se realizó una sesión de retroalimentación, en la que los estudiantes pudieron exponer sus puntos de vista en relación con el desarrollo del curso y el cumplimiento de los objetivos de aprendizaje.

3. Resultados

En la Tabla 1 se listan los casos de estudios propuestos y los proyectos de investigación operativa analizados y ejecutados por los estudiantes. La selección de los procesos industriales se realizó considerando su importancia estratégica en la matriz productiva de Ecuador, fundamentada en las actividades petroleras y agroindustriales (Sánchez et al., 2020).

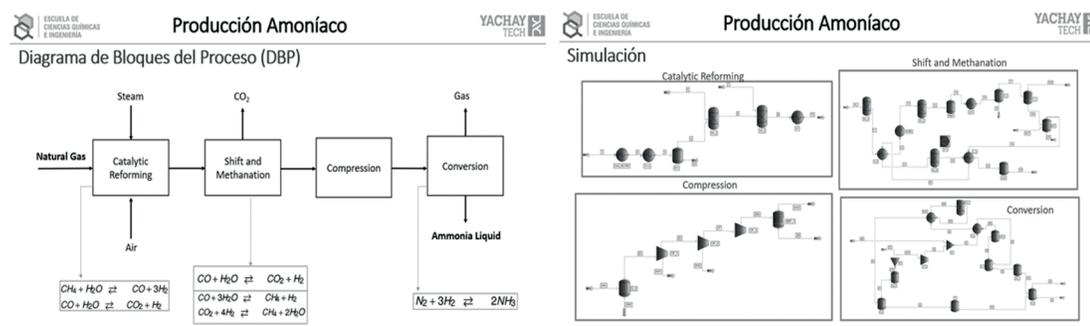
Tabla 1
Casos de estudio y proyectos de investigación operativa

Casos de estudio		o Producción de gas licuado del petróleo (GLP). o Deshidratación de gas natural.
Proyectos de investigación operativa	De mediana complejidad	o Deshidratación de bioetanol. o Producción de vinil cloruro. o Producción de ácido acrílico. o Separación de alcoholes.
	De alta complejidad	o Producción de urea y amoniaco. o Síntesis de compuestos polifenólicos.

Nota: Cerón et al. (2014); Echeverría et al. (2021); Foo et al. (2017); Husby, (2014), Ricaurte et al. (2019).

Además de las clases regulares, se realizaban reuniones técnicas quincenales con el profesor para la revisión de avances y la definición de estrategias de solución. La entrega final de los proyectos consistió en una presentación oral y la elaboración de un reporte técnico detallado. En la Figura 2 se muestran dos de las láminas preparadas por los estudiantes que representan el diagrama de bloque y la simulación del proceso de producción de amoniaco.

Figura 2
Presentación de los proyectos de investigación operativa: producción de amoníaco



A continuación se resumen los comentarios más sobresalientes en la sesión de retroalimentación al finalizar la asignatura:

«El cursar TSP fue un desafío para fomentar mi pensamiento crítico y técnico. ¿El mayor reto?: desarrollar y comprender a profundidad procesos industriales a través de una extensa investigación. Otra parte importante, el trabajo en equipo y colaborar con la resolución de los proyectos» (estudiante #1).

«TSP ha permitido ampliar mi visión sobre el desarrollo de planes operacionales y proyectos de tipo industrial. He podido desarrollar habilidades de investigación, recopilación de datos. El desarrollo de proyectos industriales me ha permitido experimentar un verdadero ambiente laboral» (estudiante #2).

«El conocimiento acerca del trabajo en equipo en el campo laboral se ve aplicado al desarrollo de proyectos. Se necesitó de razonamiento crítico con bases ingenieriles. Esta asignatura es lo más aproximado a trabajar en un ambiente laboral bajo presión, con excelentes resultados» (estudiante #3).

«Fue un curso que permitió mejorar las habilidades de análisis de procesos a escala industrial. Sobresale: el trabajo en equipo, la investigación detallada y la toma de decisiones. El desarrollo de proyectos en grupos permitió reconocer aptitudes de cada integrante y facilitar la distribución de tareas» (estudiante #4).

«La metodología de la asignatura era plantear proyectos que a medida que avanzábamos en el curso se volvían más complejos y realistas. Se requería esfuerzo, dedicación y técnica de forma ordenada y analítica para proponer posibles soluciones. Para mí eso es la investigación operativa» (estudiante #5).

«Para el desarrollo de los proyectos el punto de inicio fue la recopilación y el análisis de información relacionada con el proceso. Al analizar procesos reales se me permitió desarrollar un hábito de investigación y pensamiento crítico, la optimización de recursos, el análisis económico» (estudiante #6).

4. Conclusiones

La investigación operativa como estrategia educativa permite la formación de estudiantes con una visión analítica y práctica sobre el análisis de problemáticas características en diferentes contextos de los sectores industriales y empresariales, que les permite proponer soluciones con base en criterios ingenieriles y económicos, para adaptarse a la realidad operativa y financiera de la empresa o industria. Los proyectos de investigación operativa analizados y ejecutados por los estudiantes durante el curso promovieron el estudio integral de diferentes procesos industriales como punto de partida para la elaboración de propuestas de solución.

El trabajo en equipo y la correcta distribución de tareas y responsabilidades permitieron a los estudiantes desarrollar de forma exitosa cada uno de los proyectos asignados, y de esta forma alcanzar los objetivos de aprendizaje de la asignatura. Los buenos comentarios de los estudiantes al finalizar el curso reflejan que la investigación operativa es una estrategia educativa que incentiva el razonamiento lógico y analítico característico de los ingenieros. Adicionalmente, se prepara a los estudiantes de las carreras de Ingeniería en entornos similares a los que se encontrarán durante su ejercicio profesional en proyectos de ingeniería o en plantas industriales.

Basados en los resultados obtenidos en este trabajo, se recomienda aplicar esta estrategia educativa en otras áreas de conocimiento afines a la ingeniería.

5. Agradecimientos

Se agradece el apoyo de la Escuela de Ciencias Químicas e Ingeniería (proyecto Nro. CHEM-21-14) en la realización de este trabajo de investigación. También se agradece la activa participación y motivación de los estudiantes de la asignatura electiva Técnica de Simulación de Procesos.

6. Referencias bibliográficas

- Belton, D. (2016). Teaching process simulation using video-enhanced and discovery/inquiry-based learning: methodology and analysis within a theoretical framework for skill acquisition. *Education for Chemical Engineers*, 17, 54-64. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2016.08.003>
- Cerón, I., Ng, R., El-Halwagi, M., Cardona, C. (2014). Process synthesis for antioxidant polyphenolic compounds production from *Matisia cordata* Bonpl. (zapote) pulp. *Journal of Food Engineering*, 134, 5-15. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.02.010>

- Echeverría, M., Ricaurte, M., & Viloría, A. (2021). Identificación de mejoras operacionales en la producción de GLP mediante la simulación de procesos: Caso estudio-mercado ecuatoriano. *Boletín* 52, 78-84. https://acading.org.ve/info/publicaciones/boletines/pubdocs/BOLETIN_52.pdf
- Foo, D., Chemmangattuvalappil, N., Ng, D., Elyas, R., Chen, C.-L., Elms, R., Lee, H.-Y., Chien, I.-L., Chong, S., Chong C. (2017). *Chemical engineering process simulation*. Elsevier Inc. ISBN: 978-0-12-803782-9
- Husby, B. (2014). *Simulation of TEG dehydration plants*. Master Thesis. Department of Energy and Process Engineering. Norwegian University of Science and Technology.
- Joly, M., Rocha, R., Sousa, L., Takahashi, M., Mendonça, P., Moraes, L., & Quelhas, A. (2015). The strategic importance of teaching operations research for achieving high performance in the petroleum refining business. *Education for Chemical Engineers*, 10, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2014.11.001>
- Lapitan, L., Tiangco, C., Sumalinog, D., Sabarillo, N., & Diaz, J. (2021). An effective blended online teaching and learning strategy during the Covid-19 pandemic. *Education for Chemical Engineers*, 35, 116-131. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2021.01.012>
- Ricaurte, M., Luna, S., Mosquera, S., Sarmas, J., Zenteno, J., & Viloría, A. (2019). Diseño de una planta para la producción de etanol a partir de la caña de azúcar: aplicación en la zona norte de Ecuador. *Bionatura Conference Series*, 2(1). <http://dx.doi.org/10.21931/RB/CS/2019.02.01.10>
- Ricaurte, M., & Viloría, A. (2020). Project-based learning as a strategy for multi-level training applied to undergraduate engineering students. *Education for Chemical Engineers*, 33, 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.09.001>
- Sánchez, M., Ochoa, M., Toledo, E., Ordoñez, J. (2020). The relevance of index of sustainable economic Wellbeing. Case study of Ecuador. *Environmental and Sustainability Indicators*, 6, 100037. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indic.2020.100037>
- Torrecilla, J., Gutiérrez-de-Rozas, B., & Cancilla, J. (2021). Thinking-based learning at higher education levels: Implementation and outcomes within a chemical engineering class. *Journal of Chemical Education*, 98(3), 774-781. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00283>
- Zarei, M., Niaz, H., Dickson, R., Ryu, J.-H., & Liu, J. (2021). Optimal design of the biofuel supply chain utilizing multiple feedstocks: a Korean case study. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, just accepted. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c03945>