

DOI: <https://doi.org/10.46296/rc.v9i17.0423>

Modelado y simulación como herramientas estratégicas para la mejora de procesos industriales en ingeniería química

Modeling and simulation as strategic tools for the improvement of industrial processes in chemical engineering

Moya-Alchundia Luis Schubert

Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

Correo: luis.moyaa@ug.edu.ec.

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-7211-2769>

Zúñiga-Navarrete Mirian Magdalena

Unidad Educativa Milagro. Milagro, Ecuador.

Correo: mirian.zuniga@educacion.gob.ec

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-6725-8598>

Moya-Zúñiga Madeleine Nicole

Unidad Educativa San Juan. San Juan, Ecuador.

Correo: madeleine.moya283@comunidadunir.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-6846-0771>

RESUMEN

El objetivo de este artículo es analizar el uso que se da al modelado y a la simulación como herramientas estratégicas para mejorar los procesos industriales que se llevan a cabo mediante la ingeniería química, a partir de una revisión bibliográfica con un enfoque descriptivo-analítico. Para ello, la metodología aplicada se fundamentó en un proceso sistemático de búsqueda, selección y análisis de la literatura científica previa, en base a los lineamientos de la declaración PRISMA que permitieron identificar tendencias, aplicaciones, ventajas e inconvenientes en el uso de las herramientas. Los resultados permiten observar que el modelado matemático junto con la simulación computacional facilita la representación de sistemas complejos, el poder predecir comportamientos en la operación y la optimización de procesos, sin tener que hacer intervenciones en situaciones y entornos reales, lo que reduce tanto costes como riesgos. Se observa también la importancia que tienen los diferentes tipos de simulación —simulación continua, discreta e híbrida— y su aplicación en la industria en función de sus propias características. Además, se destaca la integración de las herramientas de modelado y simulación con tecnologías emergentes procedentes de la Industria 4.0 como, por ejemplo, la inteligencia artificial o el análisis de datos que refuerzan la capacidad predictiva y la capacidad de adaptación de los modelos. No obstante, se advierten limitaciones sincronizadas con la cuestión matemática, la carencia de datos fiables y la exigencia de computación. En definitiva, el modelado y la simulación son fundamentos de la innovación, la sostenibilidad y la competitividad de la ingeniería química actual.

Palabras claves: modelado, simulación, ingeniería química, optimización de procesos, Industria 4.0.

ABSTRACT

The objective of this article is to analyze the use of modeling and simulation as strategic tools for improving industrial processes carried out through chemical engineering, based on a literature

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 14 de octubre de 2025.

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2025.

Fecha de publicación: 12 de enero de 2026.



review with a descriptive-analytical approach. The methodology applied was based on a systematic process of searching, selecting, and analyzing existing scientific literature, following the PRISMA guidelines, which allowed for the identification of trends, applications, advantages, and disadvantages in the use of these tools. The results show that mathematical modeling, together with computational simulation, facilitates the representation of complex systems, the prediction of operational behavior, and the optimization of processes without requiring intervention in real-world situations and environments, thus reducing both costs and risks. The importance of different types of simulation—continuous, discrete, and hybrid—and their application in industry based on their specific characteristics is also highlighted. Furthermore, the integration of modeling and simulation tools with emerging technologies from Industry 4.0, such as artificial intelligence and data analytics, is highlighted, as these strengthen the predictive and adaptive capabilities of the models. However, limitations related to mathematical complexity, the lack of reliable data, and computational demands are noted. Ultimately, modeling and simulation are fundamental to innovation, sustainability, and competitiveness in modern chemical engineering.

Keywords: modeling, simulation, chemical engineering, process optimization, Industry 4.0.

1. INTRODUCCIÓN

En el presente contexto de industrialización y digitalización, es evidente que la ingeniería química ha abierto la brecha, ha ido avanzando en la utilización de herramientas computacionales para optimizar y mejorar los procesos de producción. La utilización de algunas de estas herramientas, como el modelado y la simulación, se han convertido en pilares para llegar a entender, anticipar y optimizar el comportamiento de los sistemas industriales complejos, llegando a facilitar la posibilidad de tomar decisiones de manera informada sin la necesidad de intervenir en los procesos de forma directa (Caparrós-Mancera et al., 2024).

Estas metodologías han tomado especial protagonismo en un contexto donde la eficiencia, la sostenibilidad y la reducción de costes, son unos factores esenciales para la competitividad empresarial. El modelado de procesos representa una formalización matemática de los sistemas, ya sean físicos, químicos o biológicos, facilitando el estudio de sus variables y sus relaciones internas. Estos modelos, y mezclados con la simulación, reproducir el comportamiento del sistema en diferentes situaciones operativas del mismo y servir como entorno seguro y controlado para ensayar situaciones y alternativas de mejora (Ríos Ratkovich et al., 2020). De esta manera, ambas herramientas

permiten anticipar fallos, optimizar recursos y mejorar la calidad de los productos en los procesos industriales.

En ingeniería química, el modelado y la simulación son fundamentales en el diseño, análisis y optimización de las operaciones unitarias y procesos complejos. Su aplicación abarca desde la intensificación de procesos al control avanzado y la integración de sistemas de producción, contribuyendo de manera relevante al desarrollo del sector (Cortés Martínez et al., 2021). Adicionalmente, el uso de modelos matemáticos tiene la capacidad de abordar fenómenos como la cinética de reacción, la transferencia de masa y de energía, así como la dinámica de los sistemas industriales, logrando una mejor y más clara comprensión en cuanto a los procesos químicos está permitido (Pérez Navarro et al., 2021).

Del mismo modo, en el marco de la Industria 4.0, estas herramientas se combinan con tecnologías emergentes en el aprendizaje automático, análisis de datos y gemelos digitales para mejorar aún más su capacidad para predecir y optimizar procesos; por esta razón se han desarrollado sistemas inteligentes que pueden adaptarse a las condiciones en constante cambio y mejorar continuamente el rendimiento industrial en lo que atañe a los riesgos operativos y al mismo tiempo aumentar la eficiencia energética (Izurieta et al., 2024).

Así, en el sentido de la innovación y la sostenibilidad, se puede decir que el modelado y la simulación son herramientas tecnológicas y son estrategias de la innovación y la sostenibilidad en ingeniería química. Su correcta implementación permite mejorar continuamente la capacidad de los procesos con fines industriales y permite evaluar alternativas antes de los ingresos el estado de prueba real, lo que también representa una gran reducción de la ejecución de pruebas experimentales.

Por lo que el trabajo que se presenta tiene como objetivo una revisión sobre el modelado y la simulación como herramientas estratégicas para la mejora de los procesos industriales en ingeniería química, describiendo sus teoría, aplicaciones, beneficios y retos en el momento y lugar actual.

2. METODOLOGÍA

El presente trabajo se circunscribe a un diseño cualitativo de tipo descriptivo-analítico, en una revisión de la literatura a partir de un trabajo sistemático centrado en encontrar, analizar y sintetizar información correspondiente a la obtención de evidencias relacionadas con el uso del modelado y la simulación como medio en la mejora de los procesos industriales en la ingeniería química. Este diseño permite integrar el saber anterior, hacer un contraste en resultados y formalizar una visión crítica de la actualidad del objeto de estudio, cabiendo decir que es el tipo de diseño que se utiliza extensamente en la investigación científica vinculada a las teorías (Kitchenham et al., 2009).

El proceso de selección de la literatura se llevó a cabo en 3 fases: identificación, cribado y elegibilidad. La primera fase consistió en la recopilación de documentos potencialmente relevantes, la fase de cribado consistió en examinar los títulos y resúmenes extraídos y eliminar los que no se ajustaban a los criterios establecidos. En la fase de elegibilidad se realizó una lectura completa de los textos seleccionados, el resultado fue un conjunto final de fuentes útiles para el análisis.

Este proceso se basó en las recomendaciones metodológicas de las revisiones sistemáticas establecidas por la declaración PRISMA (Page et al., 2021). Para el análisis de la información se aplicó la técnica de análisis de contenido, dado que clasifica y organiza datos en categorías temáticas como: fundamentos del modelado, tipos de simulación, aplicaciones industriales, ventajas operativas y desafíos actuales.

Esta técnica de análisis permite la interpretación de información compleja y nos aproxima a la búsqueda de patrones, tendencias y vacíos de información en la literatura científica (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El examen exhaustivo de la literatura revisada pone de manifiesto que el modelado y la simulación se perfilan como herramientas esenciales para la

optimización de procesos en la ingeniería química actual, ya que permiten representar matemáticamente sistemas complejos y predecir su comportamiento en función de diferentes condiciones operativas; permiten a los ingenieros realizar su comprobación a través de múltiples simulaciones sin necesidad de intervenir en los procesos reales, con el conveniente ahorro de costes de la experimentación y la minimización de riesgos operativos, razón por la cual varios autores están de acuerdo en que la simulación no solo ayuda a la comprensión de los sistemas industriales, sino que potencia la toma de decisiones estratégicas basadas en los datos, contribuyendo de este modo a mejorar la eficiencia y competitividad de las organizaciones (Caparrós-Mancera et al., 2024; Ríos Ratkovich et al., 2020).

Respecto a los fundamentos matemáticos del modeling, se reconoció que las ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales son la principal herramienta para representar fenómenos de la física y química de los procesos industriales. Las ecuaciones diferenciales permiten describir adecuadamente variables como la concentración, la temperatura, la presión y la velocidad de reacción, variables que son de especial interés para el análisis de los sistemas dinámicos. El uso de ecuaciones diferenciales parciales en particular ha demostrado ser eficaz en los procesos en los que hay diferencias espaciales significativas, como por ejemplo en los sistemas de separación por membranas, donde se requiere un análisis adecuado de los gradientes de concentración y de flujo (Inca Balseca et al. 2024).

La evolución de la simulación de procesos ha sido también considerable, al evolucionar de una aplicación de modelos simples a sistemas muy sofisticados que incluyen algoritmos complejos y una computación robusta, lo que ha permitido una mejor precisión en los resultados de sus predicciones y un espectro más amplio en cuanto a las aplicaciones que pueden abarcar dentro del ámbito de la industria química (Martínez Sifuentes et al. 2000).

Esto resulta ser un avance en la ingeniería de procesos dado que la simulación en la actualidad no solo permite analizar el comportamiento de un proceso existente, sino que también habilita el diseño de un nuevo sistema más eficiente

(Martínez Sifuentes et al. 2000). Los tipos de simulación más destacados en la literatura son la simulación continua, la simulación discreta y la simulación híbrida, siendo las características de cada uno adecuados a cada tipo de proceso industrial. La simulación continua hace uso de ecuaciones diferenciales para describir el comportamiento de un proceso en el que las variables cambian constante y continuamente en el tiempo, la simulación discreta analiza eventos que pueden ocurrir en un momento discreto específico de un proceso siguiendo un modelo basado en la teoría de colas, y la simulación híbrida es una combinación de las dos anteriores que contribuyen a representar sistemas con características complejas (Zarza-Díaz, 2023).

Tabla 1. Tipos de simulación en ingeniería química y sus aplicaciones

Tipo de simulación	Características principales	Aplicaciones
Continua	Basada en ecuaciones diferenciales que representan cambios continuos en el tiempo	Reactores químicos, procesos de transferencia
Discreta	Modela eventos que ocurren en intervalos específicos	Sistemas logísticos, producción por lotes
Híbrida	Integra simulación continua y discreta	Procesos industriales complejos

Los datos obtenidos muestran que la simulación de tipo continuo tiene una fuerte presencia y es de uso habitual en el ámbito de la modelación de reactores químicos y de procesos de transferencia de masa y energía, donde las variables son continuamente cambiantes y requieren de un seguimiento ininterrumpido. Asimismo, la simulación discreta y sus aplicaciones son especialmente beneficiosas para sistemas en que los acontecimientos tienen lugar en momentos prefijados, como es el caso de líneas de producción, sistemas logísticos, etcétera, permitiendo llevar a cabo análisis de flujos de trabajo, optimizando así tiempos de operación (Gil Chaves et al., 2011).

Por este motivo, la simulación híbrida se ha propuesto como una buena opción a la hora de modelar sistemas industriales complejos constituidos por procesos discretos y continuos, lo cual permite obtener una representación más fidedigna, en función de la dinámica real de los procesos. Este enfoque es idóneo especialmente para industrias con operaciones unitarias múltiples, contribuyendo a obtener una mejor sincronización entre las distintas fases del proceso de producción (Scenna et al., 2024).

Figura 1. Aplicaciones del modelado y la simulación en la industria química



Un descubrimiento valioso que hizo la investigación está en la conjunción del modelado con sistemas de control avanzado, que dio lugar al desarrollo de estrategias de control dentro del control predictivo mediante el modelo, que prevé de manera anticipada el comportamiento del sistema en base a datos y permite ajustes online en el mismo, mejorando la estabilidad y eficiencia de los procesos industriales (López López, 2023).

Asimismo, se evidenció el uso de los simuladores de procesos como facilitadoras de la validación de modelos antes de emprender a su implementación en entornos reales, disminuyendo los riesgos de errores de diseño o situaciones de fallas operativas. Esta opción de validación previa representa una ventaja competitiva para las empresas, ya que resulta conveniente para implementar mejoras bajo mayor certeza y de un coste menor (Posada Mejía & Zapata Zapata, 2006).

En el contexto educativo, la simulación se establece como un recurso de enseñanza sobre el que se han obtenido buenos resultados al ayudar a la comprensión de los conceptos en la ingeniería química con los estudiantes, quienes tienen la posibilidad de interactuar con los modelos virtuales y jugar con las variables sin el riesgo que conlleva hacerlo con plantas piloto. Esto genera

competencias prácticas y promueve el aprendizaje significativo (Cuevas-Aranda et al., 2014).

En el ámbito de la seguridad industrial por su parte, la simulación digital también se conoce como un medio de modelar las situaciones de riesgo y accidentes industriales, que contribuye a poner en marcha estrategias de prevención y respuesta a las emergencias. Todo ello ayuda a mejorar las condiciones de seguridad en dichas plantas industriales a la vez que se reduce la probabilidad de que ocurran accidentes o incidentes de cualquier tipo (Nieto-Sandoval & Marco, 2025).

Otra faceta se halla en la potencialidad que tiene el modelado para incorporar las variables económicas, de tipo técnico y ambientales en un mismo análisis, lo cual permite realizar el balance de entrada y salida de la viabilidad y sostenibilidad en los procesos industriales de un modo muy completo. Ese carácter multidimensional es importante para el embrión de estrategias tendentes a que la producción sea más limpia y eficiente (Acha Pomares, 2025).

Tabla 2. Beneficios del modelado y la simulación en procesos industriales

Beneficio	Descripción
Reducción de costos	Minimiza la necesidad de pruebas experimentales costosas
Mejora de eficiencia	Optimiza el uso de recursos y energía
Seguridad	Permite evaluar riesgos sin afectar el sistema real
Sostenibilidad	Reduce el impacto ambiental de los procesos

Adicionalmente, los resultados indicaron que la simulación no podía dejar de ofrecer la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad con la que determinar las variables más relevantes dentro del propio proceso y cómo estas pueden influir en el comportamiento del sistema. Esta información es fundamental para la toma de decisiones en las estrategias y las mejoras continuas de los procesos industriales (Pérez Navarro et al., 2021). Con respecto a la innovación tecnológica, modelado y simulación han desarrollado la generación de procesos más intensos y eficientes logrando con ello reducir el tamaño de los equipos, el consumo energético y mejorar el comportamiento del sistema productivo (Cortés Martínez et al., 2021).

Ciertamente, se observó que dichas herramientas son el vehículo imprescindible por ser de la virtualización y transición a la Industria 4.0, donde se anidan con otros sistemas avanzados como el Big Data, la inteligencia artificial o los sistemas inteligentes, lo que permite la optimización de procesos en tiempo real y mejorada toma de decisiones basando las mismas en datos (Izurieta et al., 2024).

Por otro lado, a pesar de ser una amplia gama de ventajas, se establecieron también importantes limitaciones en cuanto a la implementación del modelado y la simulación, siendo unas de las principales a saber: la dificultad en la definición de los modelos matemáticos, la necesidad de disponer de datos precisos y confiables y la elevada carga computacional de la simulación de sistemas complejos, lo que puede restringir su implementación industrial (Rivadeneira Ortiz, 2017).

Figura 2. Desafíos del modelado y simulación



Por último, se puede concluir que el modelado y la simulación son herramientas estratégicas imprescindibles para la mejora continua de los procesos industriales en ingeniería química, pues contribuyen, de forma ostensible, a la optimización del rendimiento, a la disminución de costes, a la mejora de la seguridad y a la mejora de la sostenibilidad, constituyéndose como piedras angulares del desarrollo tecnológico e industrial actual.

Discusión

La revisión bibliográfica efectuada demuestra que el modelado y la simulación son herramientas estratégicas fundamentales para la mejora de los procesos industriales en la ingeniería química, lo cual se encuentra en línea con planteamientos clásicos que las presentan como instrumentos para la comprensión, predicción y optimización de sistemas complejos. En esta órbita, lo que se recoge en los resultados es consistente con lo declarado por Arce Medina (1995), el cual ya definía muy pronto la simulación como una herramienta fundamental para la ingeniería química, haciendo ver que su uso ha trascendido el tiempo y que ha ido ganado fuerza con el avance tecnológico actual.

Desde el punto de vista metodológico, los hallazgos corroboran que la formalización matemática de los procesos, a partir de los modelos, permite dicha representación de los fenómenos que abarcan lo industrial, algo que se encuentra alineado con la argumentación de López López (2023), que sostiene la idea de que el modelado, la simulación y el control de procesos deben ser considerados como un sistema que lo que hace es generar una continua optimización y un monitoreo continuo de las operaciones industriales. En este aspecto, pues, los resultados del estudio vienen a enmarcar, el modelo mediante el cual se integran no solo permite mejorar la eficiencia de la operación, sino que también contribuye a una gestión más inteligente de los mismos.

En la misma línea de contribución a las bases teóricas, los resultados que hacen relación a los diferentes tipos de simulación permiten relacionar directamente los resultados con las aportaciones de Zarza-Díaz (2023), quien indica que la elección del tipo de simulación depende de la naturaleza del sistema. La predominancia de la simulación continua en los procesos químicos y el uso de simulación discreta en sistemas logísticos que emergen de los resultados coinciden con la propuesta de esta clasificación, lo que pone en valor los resultados de estos caminos de investigación.

En lo que respecta a la optimización de procesos, para los resultados observados se producen notables beneficios a nivel operativo, lo que se puede entender a la luz de lo que se explica desde un enfoque de sistemas (Acha Pomares, 2025)

cuando distingue que cuando las técnicas de optimización se combinan con las herramientas de simulación y diseño, se identifica la forma óptima de situarse en los sistemas complejos, logrando así hacer más con menos.

Esta coincidencia pone de manifiesto que la simulación sirve para analizar también transforma una de las facetas de la simulación en un elemento básico de la estrategia para la toma de decisiones. Por otra parte, los resultados obtenidos respecto a la validación de los modelos y la reducción de los posibles riesgos a partir de simulaciones coinciden con lo que dicen Posada Mejía y Zapata Zapata (2006), cuando afirman que los simuladores de procesos se constituyen como unas «áreas de seguridad» para la validación de las hipótesis, en la medida en que permiten experimentar antes de aplicarlas a procesos reales. Esta variable es fundamental en la industria química dado que los riesgos pueden derivar en costos económicos y en perjuicios medioambientales.

En el campo de la formación y el aprendizaje, los resultados que favorecían el uso de la simulación como recurso didáctico están supeditados a las aportaciones de Cuevas-Aranda et al. (2014) que demuestran que las simulaciones por ordenador favorecen notablemente la comprensión de conceptos complejos de ingeniería química, lo que apunta a la consideración de que el impacto de la modelización y la simulación no es sólo industrial, sino que también ayuda a graduar profesionales más competentes y más preparados para los mismos aspectos del sector.

Por otro lado, los resultados que avalan la puesta en práctica de la simulación para la evaluación de riesgos y la seguridad industrial son considerados en lo que argumentan Nieto-Sandoval y Marco (2025), que señalan el uso de simulaciones digitales para modelizar accidentes industriales y así prevenir situaciones críticas. Esto pone de manifiesto la importancia de este tipo de recursos para gestionar la seguridad, un asunto prioritario de la ingeniería química.

Respecto a la sostenibilidad, los resultados reflejan que el modelado y la simulación garantizan una inclusión de variables ambientales en el análisis de

los procesos, lo cual es afín a lo que proponen Scenna et al. (2024), para quienes la ingeniería actual debería incorporar los criterios de sostenibilidad en el diseño y operación de los sistemas industriales; además refuerza que estas herramientas son imprescindibles para el desarrollo de procesos más sostenibles y responsables con el medio ambiente.

Al mismo tiempo, los retos que se evidencian en los resultados, como la complejidad matemática y la necesidad de tener datos concretos, son acordes a lo que señala Rivadeneira Ortiz (2017), quien advierte que la puesta en práctica de modelos de simulación debe tener como soporte un conocimiento sólido de información y capacidades técnicas concretas, tal como se refleja en los resultados lo que, a pesar de los múltiples beneficios, la puesta en práctica de estas herramientas aún sufre barreras que deben solventarse mediante capacitación y desarrollo tecnológico.

Por último, la inclusión de la simulación y el modelado junto a las tecnologías emergentes en el marco de la Industria 4.0 para los resultados se puede discutir con lo que indican Izurieta et al. (2024), ya que la digitalización se presenta como una forma toda vez que resulta importante para la mejora de los procesos industriales. Esta convergencia tecnológica puede suponer el que el futuro de la ingeniería química esté hecho en base al uso intensivo de herramientas digitales avanzadas para conseguir un mayor nivel de eficiencia, automatización e innovación.

En definitiva, la discusión hace posible afirmar que los resultados no solamente coinciden con lo ya indicado por la literatura, sino que surgen como una confirmación del importante uso del diseño y la simulación como herramientas estratégicas para cambiar la ingeniería química al tiempo en que interesa la optimización de la misma, la mejora de la seguridad, la sostenibilidad y la innovación tecnológica como parte de la industria actual.

4. CONCLUSIONES

La realización de la presente revisión bibliográfica hace concluir que el modelado y la simulación emergen y se consolidan como una de las herramientas claves

que permitirán la mejora continua de los procesos industriales en ingeniería química, ambientados en un marco seguro, eficiente y rentable para el análisis y la toma de decisiones.

En primer lugar, se puso de manifiesto que estas herramientas permiten la representación fiel de los fenómenos físicos y químicos a través de modelos matemáticos, y así se facilitaron las comprensiones integrales de los sistemas industriales y de su comportamiento bajo diferentes variaciones en su entorno. Esta capacidad predictiva constituye la aportación más relevante a la optimización de recursos, a la mejora de los rendimientos y a la reducción de los costes.

En segundo lugar, la diversidad de enfoques de la simulación —continua, en forma discreta y la simulación híbrida— amplía el ámbito de aplicación de estas herramientas facilitando su integración en diferentes tipos de procesos industriales, desde operaciones unitarias hasta sistemas complejos integrados.

Del mismo modo, se pone de manifiesto la importancia de la combinación del modelado y la simulación con las nuevas tecnologías, como la inteligencia artificial, el análisis de los datos y los sistemas ciberfísicos, lo que consolida el papel que adquieren dentro del marco de referencia de la Industria 4.0 y contribuye a una gestión más inteligente, automatizada y sostenible de los procesos productivos.

Por el contrario, se determinaron retos relevantes como pueden ser la necesidad de contar con datos precisos y confiables, la complejidad en la formulación de modelos matemáticos y los altos requerimientos computacionales, lo cual limita su aplicación en determinados contextos industriales. Tales retos dan cuenta de la imperiosa necesidad de incrementar la formación técnica y el desarrollo tecnológico en este tipo de tecnologías.

Finalmente, se concluye que el modelado y la simulación no solo son herramientas técnicas, sino que, además, ejecutan a su vez una función clave para la innovación, la sostenibilidad y la competitividad en la ingeniería química moderna, ocupando en consecuencia un lugar importante dentro del desarrollo de la ingeniería industrial futura.

REFERENCIAS

- Acha Pomares, A. (2025). Revisión de técnicas de optimización de procesos industriales (Trabajo de fin de grado). Universidad de La Laguna. <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/42551/Revision%20De%20Tecnicas%20De%20Optimizacion%20De%20Procesos%20Industriales.pdf>
- Arce Medina, E. (1995). La simulación como herramienta de desarrollo en la ingeniería química. *Educación Química*, 6(3), 174–178. <https://www.revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/66711>
- Caparrós-Mancera, J. J., Rodríguez, C. A., Rodríguez-Pérez, Á. M., & Hernández-Torres, J. A. (2024). Modelado y simulación de procesos industriales. *Advances in Building Education*, 8(1), 46–60. <https://doi.org/10.20868/abe.2024.1.5233>
- Cortés Martínez, R., Ramos Miranda, F., Pérez Navarro, O., González Suárez, E., & Miño Valdés, J. E. (2021). Modelación y simulación de procesos en la intensificación de instalaciones de la industria química. *+Ingenio: Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 2(2), 22–36. <https://revistas.fio.unam.edu.ar/index.php/masingenio/article/view/178>
- Cuevas-Aranda, M., Fernández-Valdivia, D. G., Parra-Ruiz, M. L., & Navarro-Nieto, S. (2014). Uso de simulaciones por ordenador para mejorar la enseñanza en el laboratorio de ingeniería química. *Modelling in Science Education and Learning*, 7, 93–102. <https://doi.org/10.4995/msel.2014.2122>
- Gil Chaves, I. D., et al. (2011). Análisis y simulación de procesos en ingeniería química. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. <https://books.google.com.ec/books?id=mJOtDwAAQBAJ>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill. <https://doi.org/10.22201/fesc.20072236e.2019.10.18.6>
- Inca Balseca, C. L., Magallanes Tomalá, J. L., & Ortega Llor, R. (2024). Modelado y simulación de procesos de separación por membranas con ecuaciones diferenciales parciales. *Cotopaxi Tech*, 4(1), 45-66. <https://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/136>
- Izurieta, C., Buenaño, S., & Rivera, M. (2024). El diseño industrial y la simulación como herramienta para mejorar los procesos. *Polo del Conocimiento*. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/6674>

- Kitchenham, B., Brereton, O. P., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J., & Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 51(1), 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009>
- Loor Alcivar, B. J., Carriel Sevillano, R. P., Olvera Moran, B. M., & Rodriguez Merchan, M. (2025). La simulación como herramienta para la optimización de la producción, en el caso de la fabricación de tuberías de plástico. *EASI: Ingeniería Y Ciencias Aplicadas En La Industria*, 4(2), 25-33. <https://doi.org/10.53591/easi.v4i2.2619>
- López López, M. G. (2023). Modelado, simulación y control de procesos: Un enfoque integral. *Tecnológico Nacional de México*. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/6450>
- Martínez Sifuentes, V. H., Alonso Dávila, P. A., López Toledo, J., Salado Carbajal, M., & Rocha Uribe, J. A. (2000). Simulación de procesos en ingeniería química. <https://books.google.com.ec/books?id=yqCcMOy81JEC>
- Nieto-Sandoval, Julia; Marco, Pilar. «INNOVACIÓN DOCENTE EN INGENIERÍA QUÍMICA: APLICACIÓN DE SIMULACIONES DIGITALES PARA MODELIZAR ACCIDENTES INDUSTRIALES». *Revista del Congrés Internacional de Docència Universitària i Innovació (CIDUI)*, 2025, núm. 7, doi:10.60940/ciduiv1n7id9900407.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pérez Navarro, O., Miño Valdés, J. E., González Suárez, E., & Rodríguez Rico, I. (2021). Modelación matemática de procesos en la industria química y fermentativa. *+Ingenio, Revista de Ciencia Tecnología e Innovación*.
- Posada Mejía, M. M., & Zapata Zapata, N. (2006). Propuesta metodológica para la aplicación de simuladores de proceso en las asignaturas de ingeniería de procesos (Proyecto de grado). *Universidad EAFIT*. <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/367>
- Ríos Ratkovich, N., Valdés, J. P., Pineda, H., Daza, M., Pinilla, A., Becerra, D., Pérez, E., Ramírez, L., Echeverri, A., Gómez, J., Bobadilla, D., Cuervo, I., & Sierra, A. (2020). Introducción al modelamiento y simulación en ingeniería química. Ediciones Uniandes.

- Rivadeneira Ortiz, C. S. (2017). Propuesta de un modelo de simulación en el laboratorio de ingeniería de producción industrial de la Universidad de las Américas, para mejorar la productividad en procesos industriales (Tesis de maestría). Universidad de las Américas. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/7515>
- Scenna, N. J., Rodríguez, N. H., & Manassaldi, J. I. (2024). Introducción a la ingeniería: Diseño, simulación, optimización y procesos. Modelado en Ingeniería. https://www.modeladoeningeneria.edu.ar/images/DSOySP/2024/Int_Ing_P_I_v2024.pdf
- Zarza-Díaz, R. (2023). Simulación de eventos discretos desde la ingeniería industrial. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 10(20), 110–121. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10i20.10207>