



**Somos calidad,  
somos USC**

**Uso De Tecnologías De Simulación En La Enseñanza De Procesos Farmacéuticos: Una Revisión Sistemática.**

**Autor**

**Emerson Tabares Montenegro**

**Título por el que opta  
Químico Farmacéutico**

**Director**

**Ricardo Andrés Tusso Pinzon**

**Grupo de Investigación**

**GIEMA Grupo de Investigación en Electroquímica y Medio Ambiente**

**Línea de Investigación  
Alimentos y Fármacos**

**Facultad de Ciencias Básicas  
Química Farmacéutica  
Universidad Santiago de Cali  
Santiago de Cali - Colombia  
2025**

## IMPACTOS

<b>IMPACTO</b>	<b>PRODUCTO</b>	<b>BENEFICIARIO(S)</b>
<b>Económico</b>		
<b>Responsabilidad social</b>		
<b>Científico</b>	<b>Revisión sistemática</b>	<b>Estudiantes e industria farmacéutica</b>
<b>Indicadores de Gestión</b>		
<b>Tecnológico</b>	<b>Innovación</b>	<b>Estudiantes e industria farmacéutica</b>
<b>Técnico</b>		
<b>Ambiental</b>		
<b>Social</b>		
<b>Cultural</b>		

# USO DE TECNOLOGÍAS DE SIMULACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE PROCESOS FARMACÉUTICOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA.

Emerson Tabares Montenegro<sup>1</sup> ([emerson.tabares00@usc.edu.co](mailto:emerson.tabares00@usc.edu.co))

<sup>1</sup>Grupo de Investigación GIEMA, Programa de Química Farmacéutica. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Santiago de Cali. Campus Panpalinda Calle 5 # 62-00. Santiago de Cali. Colombia

## RESUMEN

Esta revisión sistemática integra la evidencia reciente sobre el uso de simuladores en la formación de Química Farmacéutica y áreas afines, con énfasis en su valor pedagógico y en las condiciones que maximizan su efecto. Se realizaron búsquedas 2015–2025 en Scopus, Science Direct, Springer Link, PubMed, ERIC, SAGE, SciELO, Redalyc y Google Scholar, aplicando criterios PRISMA y lectura crítica. Se analizaron 56 estudios universitarios con intervenciones o resultados de aprendizaje. Predominaron los simuladores de procesos (Aspen Plus, Aspen HYSYS/UniSim, DWSIM), seguidos de entornos inmersivos (VR/AR “REALIDAD AUMENTADA”, laboratorios virtuales) y de simulación clínica (MyDispense). Los hallazgos convergen en mejoras de conocimiento, desempeño, confianza y compromiso, especialmente cuando la simulación se inserta en secuencias deliberadas (pre-lab, práctica guiada, evaluaciones diseñadas con diferentes características superficiales, pero habilidades subyacentes y equivalentes) con rúbricas claras y retroalimentación oportuna. Se identifican, no obstante, brechas metodológicas en el uso de instrumentos validados, seguimiento longitudinal y reporte de la “dosis instruccional” (tiempo, iteraciones y retroalimentación), así como una subrepresentación regional latinoamericana. La revisión evidencia que los simuladores de procesos (Aspen Plus, HYSYS/UniSim y DWSIM) fortalecen competencias técnicas; los entornos inmersivos (VR/AR “REALIDAD AUMENTADA”) optimizan la comprensión procedimental y reducen errores; y las plataformas clínicas (MyDispense) mejoran la confianza y la toma de decisiones. El estudio aporta una síntesis orientada a la decisión docente, al identificar las herramientas más efectivas según la competencia y proponer principios de diseño instruccional y gobernanza de recursos educativos abiertos para escalar prácticas con consistencia y pertinencia local.

Palabras clave: Simulación educativa; Química Farmacéutica; Simuladores de procesos; MyDispense; Realidad virtual; Laboratorios virtuales.

## USE OF SIMULATION TECHNOLOGIES IN TEACHING PHARMACEUTICAL PROCESSES: A SYSTEMATIC REVIEW.

### ABSTRACT

This systematic review integrates recent evidence on the use of simulators in the training of Pharmaceutical Chemistry and related areas, with an emphasis on their pedagogical value and the conditions that maximize their effect. Searches were conducted in Scopus, Science Direct, Springer Link, PubMed, ERIC, SAGE, SciELO, Redalyc, and Google Scholar from 2015 to 2025, applying PRISMA criteria and critical reading. Fifty-six university studies with learning interventions or outcomes were analyzed. Process simulators (Aspen Plus, Aspen HYSYS/UniSim, DWSIM) predominated, followed by immersive environments (VR/AR “REALIDAD AUMENTADA”, virtual laboratories) and clinical simulation (MyDispense). The findings converge on improvements in knowledge, performance, confidence, and engagement, especially when simulation is embedded in deliberate sequences (pre-lab, guided practice, assessments designed with different surface characteristics but equivalent underlying skills) with clear rubrics and timely feedback. However, methodological gaps are identified in the use of validated instruments, longitudinal monitoring, and reporting of the “instructional dose” (time, iterations, and feedback), as well as a regional underrepresentation in Latin America. The review shows that process simulators (Aspen Plus, HYSYS/UniSim, and DWSIM) strengthen technical competencies; immersive environments (VR/AR “REALIDAD AUMENTADA”) optimize procedural understanding and reduce

errors; and clinical platforms (MyDispense) improve confidence and decision-making. The study provides a summary geared toward teacher decision-making by identifying the most effective tools based on competency and proposing principles of instructional design and governance of open educational resources to scale practices with consistency and local relevance.

Keywords: Educational simulation; Pharmaceutical Chemistry; Process simulators; MyDispense; Virtual reality; Virtual laboratories.

## HIGHLIGHTS

- La simulación funciona como infraestructura pedagógica: los simuladores de proceso (Aspen/HYSYS/UniSim, DWSIM) estructuran el razonamiento técnico, mientras que VR/AR “REALIDAD AUMENTADA” y laboratorios virtuales refuerzan la preparación procedimental y My Dispense desarrolla competencias clínicas.
- Los mejores resultados se obtienen con secuencias deliberadas (pre-lab, práctica guiada, evaluación no isomorfa) y rúbricas claras, lo que se traduce en más aprendizaje, menos errores y menor tiempo de preparación en laboratorio.
- La combinación de DWSIM (open-source) y recursos educativos abiertos (OER) permite escalar y homologar prácticas con sostenibilidad y equidad; VR/AR “REALIDAD AUMENTADA” “ligera” facilita adopción en contextos con limitaciones de hardware.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la formación del Químico Farmacéutico enfrenta el desafío de integrar herramientas tecnológicas que faciliten la comprensión de procesos complejos y aseguren la adquisición de competencias prácticas en entornos seguros y controlados. A pesar de los avances en la virtualización del aprendizaje y en la simulación computacional, persiste una brecha entre la enseñanza teórica tradicional y las habilidades requeridas por la industria farmacéutica contemporánea. Este vacío evidencia la necesidad de revisar sistemáticamente la evidencia disponible sobre el uso de tecnologías de simulación en la enseñanza de procesos farmacéuticos, con el fin de identificar sus beneficios, limitaciones y condiciones de efectividad en la formación universitaria.

Hoy en día con este desafío se ve evocado a la implementación de simuladores, laboratorios virtuales e inteligencia artificial en todos los campos de formación profesional a nivel mundial; por tanto, en el campo de la formación del Químico Farmacéutico se erige sobre un pilar dual entre el conocimiento científico riguroso y el desarrollo de habilidades prácticas con alta implicación ética, además de seguridad personal y profesional.

La enseñanza de los procesos farmacéuticos desde el diseño y control de calidad de formulaciones hasta la dispensación, demanda un entorno de aprendizaje que replique la complejidad del entorno profesional sin exponer a los estudiantes o a los materiales a riesgos inherentes o altos costos. Tradicionalmente, la dependencia exclusiva de los laboratorios convencionales ha impuesto limitaciones en la repetición de procedimientos, la gestión de errores y la exposición a situaciones críticas, creando una brecha significativa entre la teoría recibida en el aula y las competencias requeridas en la práctica industrial o clínica.

La industria farmacéutica es, al mismo tiempo, un motor de innovación y un pilar en la salud pública: su rendimiento repercute tanto en la disponibilidad de los tratamientos, como en la seguridad social o en la competitividad tecnológica de los países. En las últimas décadas, se ha evidenciado el progresismo agresivo de la tecnología a pasos agigantados esto ha generado la necesidad de mejorar la calidad, eficiencia y sostenibilidad ha obligado a las universidades y empresas del ámbito farmacéutico a articular realmente modelos de gestión y tecnologías que minimicen la variabilidad, optimicen los recursos y mejoran los estándares

regulatorios en la cadena de valor (U.S. Food and Drug Administration, 2023). Este horizonte no es ajeno a la formación universitaria: el itinerario formativo en Química Farmacéutica debería capacitar y certificar a profesionales que poseen los conocimientos técnicos los cuales son capaces de tomar decisiones del nivel de competencia conforme a la dificultad presentada en el ámbito que se desempeña y anticipar riesgos, según las agendas de desarrollo y responsabilidad productiva actuales (UNESCO, 2017).

En los productos terapéuticos, el paracetamol (acetaminofén) es una de las sustancias más reconocibles porque, por una parte, es un analgésico y antipirético de amplio uso, y, por otra, por la posición que ocupa en la cantidad que se formula este medicamento a nivel mundial convirtiéndolo en uno de los más dominantes del repertorio de productos farmacéuticos de uso cotidiano. Sus resultados en términos de eficacia y seguridad relativa, la relación costo, eficacia y su accesibilidad, lo sitúan como un caso idóneo para la enseñanza de principios de demanda sanitaria, de logística, costos y beneficios en formación de pregrado y posgrado (World Health Organization, 2023).

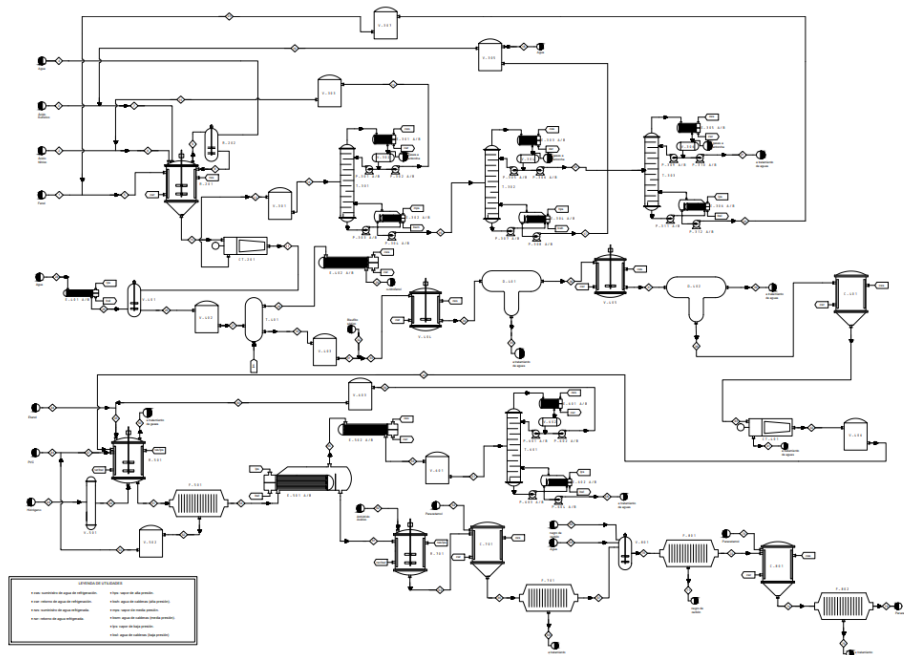
Desde la ingeniería de procesos, la síntesis industrial de paracetamol ilustra bien la complejidad que experimentan a día de hoy los medicamentos tradicionales, ya que las rutas de síntesis basadas en los fenoles requieren medidas de nitración, de reducción (que implica la implicación del uso de agentes reductores y las condiciones de ello), y la acetilación, que precisan del control preciso de temperatura, presión y pureza intermedia, pero también del uso de estrategias de máxima producción y de la mínima formación de subproductos (Phanudulkitti et al., 2023). Más allá de la producción, la operación moderna se halla condicionada por el uso racional de la energía, de la minimización de residuos también por el estricto cumplimiento de las normas de seguridad y del adecuado control en la emisión de residuos, sin dejar de lado la forma adecuada del manejo de residuos, toxinas; ya sea en su almacenamiento o desactivación de estos. En este sentido, la práctica se podría traducir en planes de mejora continua o en la toma de decisiones de inversión en tecnologías limpias, en trazabilidad y en el cumplimiento regulatorio verificable (Organización Panamericana de la Salud, 2020). Las nuevas fronteras internacionales que impulsan a los productores de medicamentos a aceptar criterios de producción sostenible y de prevención de riesgos ocupacionales son otros de los puntos que deben seguir circulando desde el diseño de los procesos hasta la validación y el escalado de estos (Khera et al., 2023).

En consecuencia, el objetivo general de esta monografía es sintetizar la evidencia científica actual sobre el uso y la efectividad de las tecnologías de simulación aplicadas a la enseñanza de procesos farmacéuticos. Mediante el análisis riguroso de estudios primarios, este trabajo busca identificar las tecnologías de mayor impacto, los focos temáticos más evaluados (ej., dispensación, control de calidad, formulación) y las implicaciones pedagógicas y curriculares derivadas de los hallazgos. Con ello, la investigación se posiciona como una guía, contribuyendo a la optimización de sus estrategias de enseñanza-aprendizaje y asegurando que esté alineado con los estándares más altos de calidad y con el Objetivo de Desarrollo Sostenible.

La formación del Químico Farmacéutico en el contexto contemporáneo exige el dominio de competencias prácticas complejas, especialmente en áreas sensibles como la formulación y el control de calidad de medicamentos. Tradicionalmente, la enseñanza de estos procesos farmacéuticos críticos ha dependido en gran medida de laboratorios presenciales. Sin embargo, este enfoque conlleva desafíos inherentes, tales como altos costos, riesgos de manipulación de sustancias peligrosas y una limitada capacidad para repetir procedimientos ante errores. En respuesta a estas limitaciones, las Tecnologías de Simulación incluyendo la Realidad Virtual, la Realidad Aumentada los simuladores computacionales, los cuales han emergido como una alternativa pedagógica de alto potencial.

En este marco, las plataformas de simulación de procesos han ido consolidándose como soporte crítico para definir, optimizar y validar alternativas antes de poderlas llevar a escala piloto o a escala industrial. Herramientas como Aspen Plus® (ver figura 1) que permite la integración de los modelos termodinámicos y cinéticos para plantas de separación y reacción, logrando que sea posible calcular balances de masa y energía, así como la sensibilidad respecto de los parámetros operativos y los escenarios de tratamiento con unos costes marginales muy inferiores a los de la experimentación directa (Arief et al., 2022). Esta experiencia acumulada en ingeniería aplicada indica que el empleo metódico de simulaciones contribuye a disminuir errores en fases tempranas, a mejorar la calidad del diseño, la duración de los trabajos y en mayor medida cuando se encuentran inmersas en criterios de convergencia y verificación (Chicaiza Sagal & Chuquin Vasco, 2023). También a nivel táctico, los estudios previos permiten cuantificar los impactos en costos, plazos, permitiendo el análisis comparativo entre

alternativas y decisiones en inversiones incluyendo el soporte técnico (Vranckx et al., 2023). Además, los mismos modelos sirven para calcular huellas energéticas, materiales e incluso puede orientar la inclusión de prácticas de química verde (entiéndase como procesos químicos que minimizan o eliminan el uso y la generación de sustancias peligrosas para el medio ambiente) y mejorar la ruta del proceso (Uhlemann et al., 2021).



**Figura 1. Esquema de Producción de Paracetamol En Aspen Plus. (Fachado Abuín, 2018)**

A pesar de su evidente auge, la literatura científica sobre la aplicación de la simulación específicamente en la enseñanza de procesos farmacéuticos está dispersa. Esta heterogeneidad dificulta la toma de decisiones curriculares informadas. En el caso de Colombia a partir de la pandemia por COVID-19, se hizo visible la vulnerabilidad de las cadenas de suministro y la importancia de generar fortalecimiento de posibilidades locales de diseño, validación y control de procesos farmacéuticos (Silva et al., 2023). Debido a la dependencia histórica de la importación de principios activos como de medicamentos terminados que evidentemente nos presenta una limitante a la soberanía sanitaria y además del posible riesgo que se presenta por tener un sistema deficiente en estos campos.

Por tanto, podemos afirmar que en Colombia se plantea la importancia de promover la alfabetización en la simulación, así como la enseñanza basada en procesos para formar científicos de tal forma que se puedan cumplir exigencias regulatorias, contingencias de abastecimiento y metas de cambios de productividad (O'Connor et al., 2024). Esta educación formativa en el proceso logrará que el uso y desarrollo de Tecnologías de Simulación obtenga una respuesta pedagógica eficaz frente a la problemática ya planeada, así como también herramientas digitales de la Realidad Virtual, Realidad Aumentada y software de modelado computacional que ofrezcan un entorno de práctica seguro, reproducible y de bajo costo. La simulación no solo promueve el aprendizaje activo, sino que también garantiza que la formación del Químico Farmacéutico se mantenga vigente y pertinente al alinear el currículo con las exigencias de la Industria. Este enfoque contribuye directamente al Objetivo de Desarrollo Sostenible al formar profesionales más competentes de calidad en función de necesidades territoriales y sectoriales (UNESCO, 2017).

En este sentido, la simulación no solo puede ser considerada una herramienta de tecnología industrial, sino que también constituye una acertada estrategia pedagógica que acerca el universo de la teoría con su paralelo pragmático denominado realidad de planta y de servicios farmacéuticos. Llevar al aula simuladores de proceso permite que los estudiantes reflexione sobre la complejidad de las propiedades, balances, y decisiones de

diseño mediante los ensayos virtuales controlados, al igual que la simulación clínica, los laboratorios virtuales, permitiendo crear contextos controlados para la práctica de procedimientos y de toma de decisiones sin comprometer la seguridad del personal humano y de los equipos; reduciendo los costos que estos mismos procesos pueden causar en el campo de lo real. De esta forma, la simulación puede habilitar experiencias repetibles y estandarizadas que propagan las oportunidades de transferencia a las prácticas profesionales, a la vez que reducen los costes de operación y la logística del laboratorio (Arief et al., 2022) (Chen et al., 2020). Así entendida, la necesidad de su inclusión sistemática en el currículo de formación de los farmaceutas químicos de estas herramientas, con la finalidad de incrementar la calidad, eficiencia competencia de cada profesional en la industria farmacéutica de tal forma que se incremente su sostenibilidad, independencia también soberanía en el suministro y elaboración de medicamentos.

Es cierto que la implementación de estos simuladores en el ámbito educativo, no se puede negar ni omitir la manifestada desarticulación entre las distintas disciplinas de formación, con la heterogeneidad de métricas (conocimiento declarado, desempeño práctico, tiempos y errores), también los pocos intervalos de observación, además de unas dosis instructivas reportadas y variables (tiempo efectivo, iteraciones y feedback). Que en los contextos latinoamericanos continúan siendo poco representados en este tipo de trabajos, condicionando la extrapolación de recomendaciones sin llegar antes a realizar determinadas adecuaciones de infraestructura, licenciamiento y normativa local (U.S. Food and Drug Administration, 2023; Khera et al., 2023).

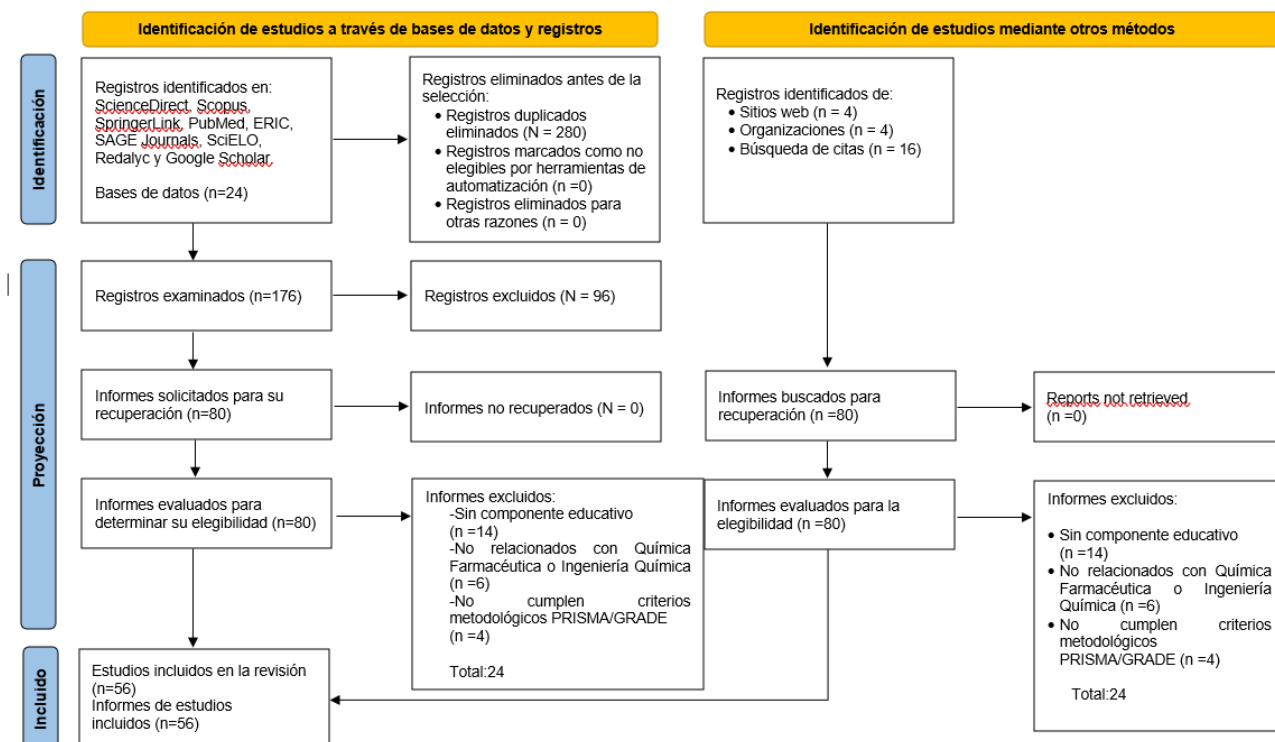
Por lo tanto, es adecuado llevar a cabo una revisión sistemática que ordene, filtre, evalúe y consolide las evidencias más recientes (2015–2025) sobre la aplicación de tecnologías de simulación en la enseñanza universitaria de la Química Farmacéutica y áreas afines, abarcando estudios experimentales, revisiones pedagógicas y reportes académicos que evalúan su impacto en el aprendizaje, desempeño y competencias profesionales. identificando por un lado, qué instrumentos de simulación —como software de modelado de procesos (Aspen Plus, HYSYS, DWSIM), entornos inmersivos (VR/AR “REALIDAD AUMENTADA”) o simuladores clínicos (MyDispense)— resultan más eficaces según las competencias que buscan desarrollar, ya sean técnicas, analíticas o actitudinales, y qué resultados se reportan en términos de aprendizaje, desempeño, seguridad y reducción de tiempos o errores. Asimismo, se busca identificar las estrategias didácticas que potencian el uso de estas tecnologías (por ejemplo, pre-laboratorio, práctica guiada, evaluación no isomorfa y rúbricas) y las barreras que limitan su sostenibilidad. Mediante una revisión sistemática de la literatura reciente, este trabajo pretende integrar la evidencia existente sobre la aplicación de tecnologías de simulación en la enseñanza de procesos farmacéuticos, articulando los aspectos industriales y sanitarios con las necesidades formativas del programa de Química Farmacéutica. De esta manera, se orienta la toma de decisiones curriculares basadas en evidencia y se promueve la adopción de prácticas educativas más seguras, consistentes y contextualizadas (Ghidotti, 2022; Phanudulkitti et al., 2023; Organización Panamericana de la Salud, 2020; Kim et al., 2021; UNESCO, 2017).

En este contexto, la presente revisión sistemática tiene como propósito analizar el uso de simuladores en la enseñanza de procesos químicos farmacéuticos, abordando su papel dentro del proceso formativo y su contribución al desarrollo de competencias profesionales propias del químico farmacéutico. De manera particular, se busca identificar los simuladores más empleados en el ámbito universitario, describir los beneficios educativos asociados a su aplicación, revisar las estrategias pedagógicas y metodológicas que acompañan su implementación, y reconocer las principales limitaciones reportadas en torno a su uso. A través de estos objetivos, el estudio pretende ofrecer una visión integral sobre cómo las tecnologías de simulación fortalecen la relación entre la teoría, la práctica experimental y el desempeño profesional, aportando evidencia que respalde su incorporación sistemática en los planes de estudio y su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible vinculados a la calidad educativa y la innovación tecnológica (ODS 3 y ODS 9).

## **2. METODOLOGÍA**

Para la elaboración de este trabajo se realizó una revisión sistemática de literatura científica, con el propósito de identificar, evaluar y sintetizar la evidencia disponible sobre el uso de tecnologías de simulación en la enseñanza universitaria de la Química Farmacéutica y áreas afines. Este proceso se fundamentó en las directrices del modelo PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), el cual garantiza la exhaustividad, transparencia y reproducibilidad en la selección de los estudios.

El enfoque metodológico permitió revisar de forma crítica, rigurosa y organizada la información disponible dentro del campo de la educación superior en ingeniería y procesos farmacéuticos, abarcando investigaciones publicadas entre 2015 y 2025. El proceso completo de identificación, cribado y exclusión de registros se presenta en el Diagrama de flujo PRISMA (Figura 2), donde se especifican los motivos de exclusión en cada etapa de la revisión. En este caso se buscó evidenciar el uso e impacto que tiene la aplicación de programas de simulación de procesos en la enseñanza universitaria de la química farmacéutica. La estrategia metodológica optada se fundamentó en las directrices de la guía PRISMA, conocida por su claridad y desarrollo adecuado para estudios que revisan y extraen información de forma estructurada.



**Figura 2. Diagrama de flujo PRISMA**

La búsqueda de información se desarrolló en los meses de mayo a julio del año 2025, para la cual se revisaron bases de datos académicas ampliamente reconocidas por su calidad y por recoger publicaciones revisadas por pares, entre las que se cita a ScienceDirect, Scopus, SpringerLink, PubMed, ERIC, SAGE Journals, SciELO, Redalyc y Google Scholar. Estas bases de datos fueron seleccionadas por la capacidad de reunir trabajos de investigación en áreas de educación superior, Ingeniería de procesos, tecnología educativa y formación en ciencias farmacéuticas.

Además de las bases de datos indexadas, se consideraron trabajos de grado y tesis localizados mediante búsqueda manual en repositorios institucionales y bases académicas complementarias y repositorios universitarios, siempre que cumplieran con los criterios de inclusión establecidos. Los registros duplicados o sin acceso al texto completo fueron eliminados antes de la fase de cribado.

Se optó por la búsqueda de combinaciones de palabras clave en español e inglés, aplicando operadores booleanos (*AND*, *OR* y *NOT*) para acotar y combinar términos de forma precisa. Por ejemplo, se construyeron ecuaciones de búsqueda como:

*("simulation technologies" OR "virtual laboratory" OR "process simulation") AND ("pharmaceutical education" OR "chemical engineering education") AND ("learning outcomes" OR "teaching effectiveness")*.

El propósito fue incluir estudios que abordaran el uso educativo de las tecnologías de simulación en la enseñanza universitaria, en particular en programas de Ingeniería Química, Química Farmacéutica o áreas afines, y que reportaran impactos en el aprendizaje, estrategias de implementación o percepciones.

Se excluyeron los estudios centrados únicamente en simulación industrial sin un componente educativo, la literatura sin acceso al texto completo, los registros duplicados o aquellos publicados antes del año 2015. Luego de aplicar los filtros de búsqueda e inclusión, se identificaron inicialmente 432 publicaciones. Posteriormente, tras la depuración y lectura detallada, la muestra final quedó conformada por 56 estudios que cumplían con los criterios de pertinencia, calidad metodológica y enfoque educativo definidos para esta revisión. Este subgrupo de trabajos contaba con varios trabajos que se habían investigado en universidades latinoamericanas, priorizándose de manera especial los que se habían llevado a cabo en universidades colombianas, siendo este criterio el que más aporta realmente el impacto que hay en Colombia acerca de este tipo de investigaciones, trabajos y aplicaciones relacionadas con la problemática ya planteada en este trabajo dando un de contexto a la realidad de este país.

A continuación, para cada una de las publicaciones seleccionadas se realizó una lectura detallada, de la cual se extrajeron categorías de información como el tipo de simulador empleado, el contexto académico, los objetivos pedagógicos, los métodos de enseñanza aplicados, los resultados observados en los estudiantes y las limitaciones mencionadas por los autores.

Para evaluar la calidad metodológica y la consistencia de la evidencia, se aplicó el sistema GRADE (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation), ampliamente utilizado en revisiones sistemáticas para valorar el nivel de certeza y la solidez de los hallazgos. Este sistema permitió clasificar los estudios según su riesgo de sesgo, precisión de resultados, consistencia entre investigaciones y aplicabilidad al contexto educativo. Gracias a ello, se identificaron posibles limitaciones de diseño —como tamaño muestral reducido o instrumentos no validados— que fueron consideradas durante el análisis e interpretación de los resultados.

Cabe resaltar que este trabajo corresponde a una revisión sistemática de literatura y no implicó la recolección de datos primarios ni la participación directa de personas, por lo que no requería la aprobación de un comité de ética en investigación con seres humanos. No obstante, se garantizaron los principios de integridad académica y respeto ético en la gestión, análisis y citación de las fuentes consultadas.

Dentro del proceso metodológico, se recolecto, analizo toda la evidencia relacionada y coherente a este estudio existente respecto a la utilización educativa de los simuladores de procesos en la enseñanza universitaria de la química farmacéutica, con la que posteriormente se dio a lugar la estructuración de un análisis fundamentado y contextualizado con los objetivos planteados.

### **3. DESARROLLO Y DISCUSIÓN**

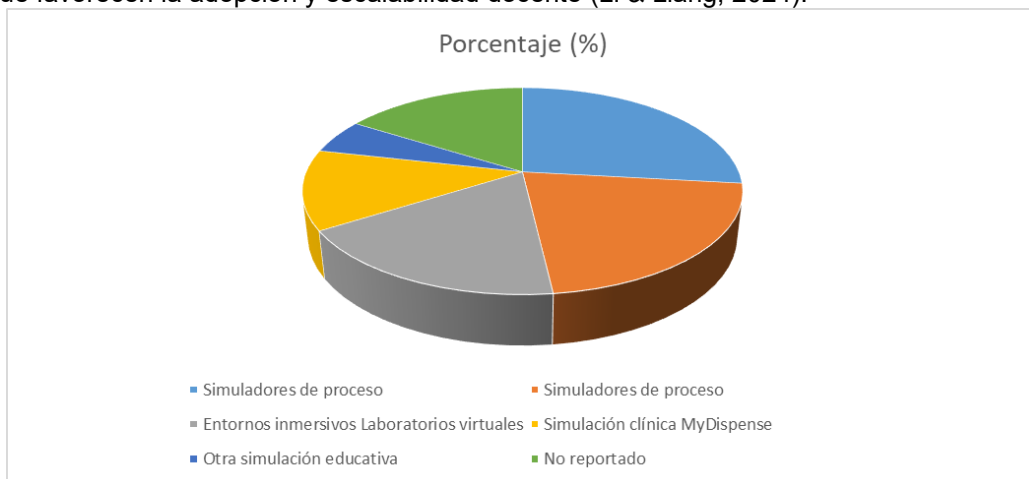
#### *3.1. Síntesis panorámica del campo (2015–2025)*

El conjunto analizado (2015–2025) presenta un campo claramente en vías de consolidación, donde se pueden encontrar simuladores (Aspen/HYSYS/UniSim y DWSIM), entornos inmersivos (VR/AR “REALIDAD AUMENTADA” y laboratorios virtuales) y simulación clínica (MyDispense) con propósitos teóricos complementarios.

Revisando el enfoque curricular de esta temática se logra decir que la simulación de procesos sostiene el núcleo cognitivo-técnico sobre operaciones y diseño, mientras que VR/AR “REALIDAD AUMENTADA” aporta experiencia y comprensión del espacio, y las plataformas clínicas comportan situaciones reales de dispensación y seguridad del paciente en Farmacia (Chicaiza Sagal & Chuquin Vasco, 2023).

Esta distinción en el propósito se refleja en la prevalencia de las herramientas: el Software de Modelado de Procesos es la familia de simuladores dominante en la literatura, superando el 45% de la muestra total, tal como se observa en la Figura 3. Porcentaje de Familias de Simuladores (referencia gráfica de soporte).

Las razones de una rápida expansión se deben a tres motores: la necesidad de preparar prácticas con menor índice de riesgo; la virtualización como tendencia en aumento tras la pandemia; y los recursos abiertos como elementos que favorecen la adopción y escalabilidad docente (Li & Liang, 2024).



**Figura 3. Porcentaje de Familias de Simuladores.**

La especificidad de cada tecnología se refleja en los (outcomes-Resultados) de aprendizaje que busca evaluar. El análisis de los estudios primarios revela que existe una correspondencia directa entre la tecnología utilizada y la competencia que se busca medir, lo cual se evidencia de forma contundente en la Tabla 1. Frecuencia de resultados evaluados por familia de herramientas (ver Figura 3. Porcentaje de Familias de Simuladores).

Familia	Numero De Referencias	Porcentaje (%)
Simuladores de proceso (comerciales)	15	26,8%
Simuladores de proceso (open-source)	12	21,4%
Entornos inmersivos / Laboratorios virtuales	10	17,9%
Simulación clínica (MyDispense)	7	12,5%
Otra simulación educativa	3	5,4%
No reportado	9	16,1%

**Tabla 1. Frecuencia de resultados evaluados por familia de herramientas.**

Como se observa, el Software de Modelado se concentra abrumadoramente en la eficiencia cognitiva (por ejemplo, rendimiento en exámenes y solución de problemas), lo cual valida su rol en la enseñanza de ecuaciones, modelado y optimización (Ghasem & Ghannam, 2021). En contraste, la Realidad Virtual (VR/AR “REALIDAD AUMENTADA”) desplaza su foco hacia las habilidades de proceso y la disminución de errores, confirmando su utilidad como pre-laboratorio procedimental (Díaz et al., 2022).

En la asimilación de datos durante el aprendizaje, los cursos de operaciones unitarias sugieren la integración de simuladores antes de entrar al laboratorio físico para reducir tanto los tiempos de preparación como los posibles errores de cálculos, y también para hacer más fluida la colaboración para tareas complejas; estos efectos se han estado comprobando en la utilización de plantillas y el análisis de sensibilidad como “pre-lab” estructurado en

Aspen (Karandikar, 2023). Dado que el uso temprano de simuladores ha demostrado reducir errores y mejorar la preparación en el laboratorio, las sugerencias curriculares recomiendan introducir estas herramientas lo antes posible, de manera que las competencias adquiridas se alineen con los marcos de acreditación y faciliten el aprendizaje de disciplinas más avanzadas (Johnson et al., 2021).

Para contextos de restricción de licenciamiento, DWSIM sirve como herramienta para conseguir acrecentar la accesibilidad y estandarización (open-source, CAPE-OPEN), sobre todo cuando las tareas son construidas con resultados de aprendizaje y evaluación formativa (Suthar et al., 2023). Este tipo de intervención se ve favorecida cuando los profesores tienen la posibilidad de contar con “*flowsheets*” (diagramas de flujo) junto a guías reutilizables, que reducen barreras de entrada y hacen más probable que lo que se hace pueda ser replicado institucionalmente (Karandikar, 2023).

La literatura respalda el uso de VR/AR (“realidad aumentada”) y laboratorios virtuales (VL) como recursos complementarios en la enseñanza de ingeniería farmacéutica, ya que incrementan el *engagement* “compromiso” de los estudiantes y facilitan la comprensión de destrezas técnicas, preparando al estudiante antes de la práctica física y optimizando la obtención del producto deseado (Karandikar, 2023). Revisiones y meta-análisis evidencian efectos positivos en la motivación y la transferencia de conocimientos, aunque advierten sobre la heterogeneidad de los diseños y métricas, recomendando que estas herramientas se utilicen como apoyo y no como sustituto del laboratorio físico (Karandikar, 2023). Plataformas como LearnChemE demuestran cómo los laboratorios virtuales y simulaciones interactivas pueden implementarse a gran escala, homogeneizando las expectativas de los grupos y del docente, y mejorando la retroalimentación cualitativa (Tang et al., 2025) En conjunto, estas estrategias fortalecen la preparación del estudiante y contribuyen a la replicabilidad de los aprendizajes, consolidando su papel dentro del desarrollo del trabajo por otro lado la simulación clínica en estos espacios académicos ofrece ventajas a nivel de conocimiento, confianza y toma de decisiones en situaciones de dispensado y orientación, llegando a conseguir resultados similares e incluso beneficiosos en algunos escenarios frente a métodos presenciales convencionales siempre que se aplique en el período curricular durante el estudio (Johnson et al., 2021).

Por otra parte, los estudios comparativos más recientes confirman la existencia de ciertas ventajas en satisfacción o seguridad siempre que la evaluación, esto siempre y cuando durante el proceso se contemplen rúbricas de desempeño claras y herramientas adecuadas a la competencia entrenada (Gharib et al., 2024). Sin embargo, persisten determinadas dificultades referidas por docentes y estudiantes, entre las comunes son: hardware y software no homogéneas a la necesidad de formación e implantación en algunos casos relacionados con la normativa local y guías terapéuticas existentes (Hassan & Manji, 2023).

El estado del arte avanza metodológicamente, mostrando brechas: en concreto, hay muchísimas implementaciones “en directo” con ventajas pedagógicas visibles (deben ser atendidas), pero son menos frecuentes el diseño controlado con grandes muestras, el seguimiento longitudinal y los instrumentos validados, lo que resulta en que sea difícil comparar los efectos de los contextos (Navarro Pérez et al., 2022). Una recomendación general de esta área es la de fortalecer la evaluación (ej. usar rúbricas normalizadas, OSCE, indicadores objetivos de error/seguridad), así como indicar con mayor exactitud la población objetivo, el nivel, la duración e intensidad de la dosis instructiva para que así mejoren la transferibilidad de los resultados (Selcuk et al., 2025).

En síntesis, la evidencia apunta a un modelo híbrido de simulación de procesos para el razonamiento técnico, VR/AR “REALIDAD AUMENTADA” y VL “(laboratorio virtual)” en parámetros como: preparación, visualización, y entornos clínicos con la finalidad de obtener de forma concreta competencias prácticas, así como, facilitadas por los OER (*Open Educational Resources* - Recursos educativos abiertos), entiéndase que hace referencia a materiales de enseñanza, aprendizaje e investigación accesibles de forma gratuita y con licencias que permiten su libre uso, reutilización, adaptación y distribución, lo que permitiría la disminución en los costos de patrocinio y favorecen la coherencia curricular con la evaluación en contexto y adaptación al contexto local (Li & Liang, 2024).

### 3.2. Síntesis cuantitativa transversal del corpus.

La síntesis del corpus actual (2015–2025) indica que la evidencia aplicada, generalmente de implementación en aula/laboratorio incluyendo mejoras en desempeño, conocimiento o engagement, seguida de revisiones y recursos de apoyo, tiene mayor predominancia.

Por familias de herramienta, los simuladores de procesos (Aspen/HYSYS/UniSim y DWSIM) superan el 50% del uso, lo que se complementa con el ascenso de VR/AR “REALIDAD AUMENTADA” y laboratorios virtuales y un bloque creciente de simulación clínica (MyDispense) orientado a competencias profesionales como lo muestra la Tabla 1. Por nivel, el pregrado es preponderante, tal como lo muestra la Tabla 2.

Nivel	Numero De Referencias	Porcentaje (%)
Pregrado	25	44.6%
Posgrado	2	3.6%
No reportado	29	51.8%

**Tabla 2. Distribución por nivel formativo (pregrado, posgrado, mixto).**

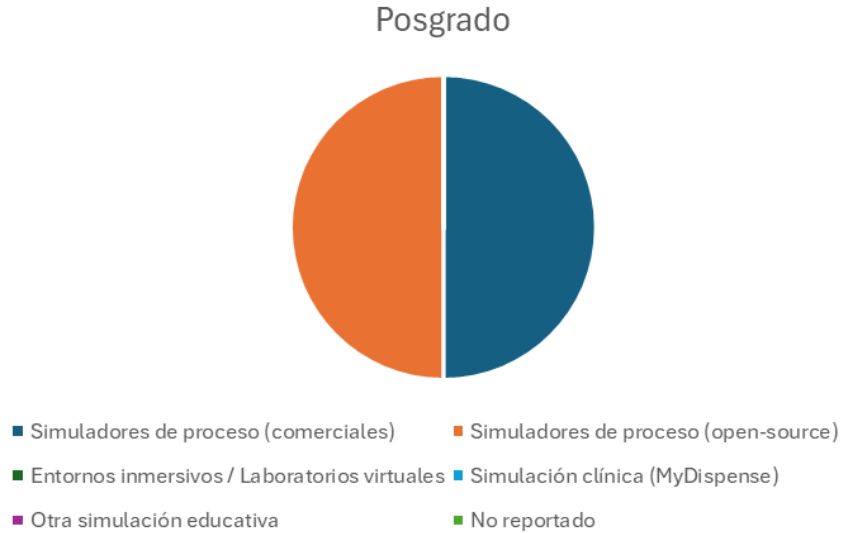
De la misma forma la Tabla 3. Uso de cada familia de herramientas según nivel formativo y las Figuras 4, 5 y 6 amplían este hallazgo: el uso de la simulación es mayoritariamente en Pregrado (Ingeniería/Química Farmacéutica y Farmacia), especialmente con el Software de Modelado (referencia gráfica de soporte), aunque también existen experiencias puntuales de Posgrado.

Familia	Pregrado	Posgrado	No reportado
Simuladores de proceso (comerciales)	11	1	3
Simuladores de proceso (open-source)	6	1	5
Entornos inmersivos / Laboratorios virtuales	7	0	3
Simulación clínica (MyDispense)	0	0	7
Otra simulación educativa	0	0	3
No reportado	1	0	8

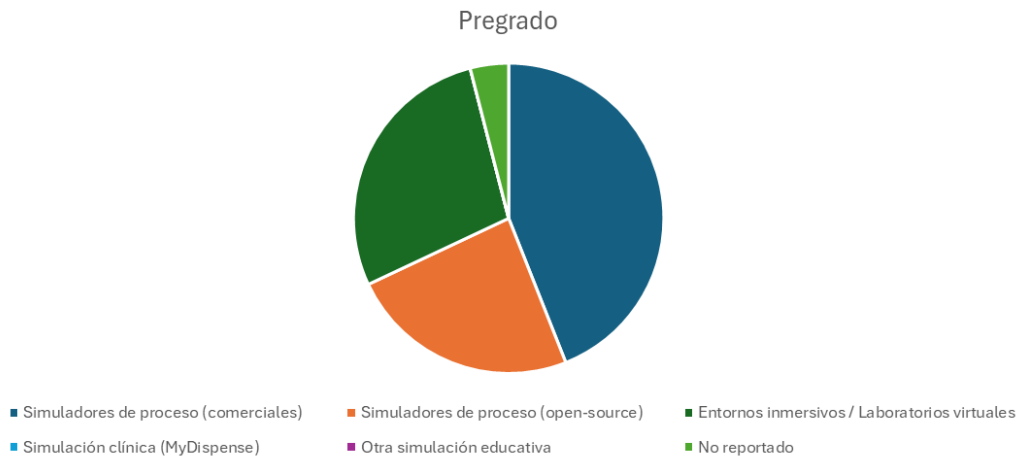
**Tabla 3. Uso de cada familia de herramientas según nivel formativo.**



**Figura 4. Uso del Nivel Académico de Pregrado en las Diferentes Familias de Simuladores.**



**Figura 5. Uso del Nivel Académico de Posgrado en las Diferentes Familias de Simuladores.**



**Figura 6. Uso del Nivel Académico sin Reportar en las Diferentes Familias de Simuladores.**

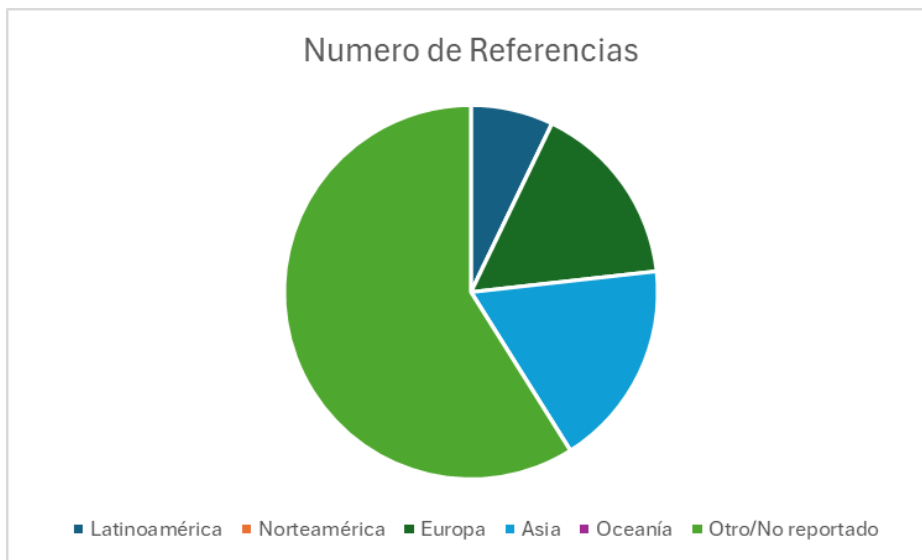
Si estudiamos el enfoque curricular de esta temática, podemos decir que la simulación de procesos sostiene el núcleo cognitivo-técnico sobre operaciones y diseño, mientras que VR/AR “REALIDAD AUMENTADA” aporta experiencia y comprensión del espacio, y las plataformas clínicas comportan situaciones reales de dispensación y seguridad del paciente en Farmacia (Karandikar, 2023). Las razones de una rápida expansión se deben a tres motores: la necesidad de preparar prácticas con menor índice de riesgo; la virtualización como tendencia en aumento tras la pandemia; y los recursos abiertos como elementos que favorecen la adopción y escalabilidad docente (Negahban, 2024).

La distribución geográfica presenta una clara evidencia con su representación latinoamericana, la cual se aprecia en la Tabla 4 y en la Figura 7. Este dato refuerza la necesidad de documentar y adaptar experiencias a realidades de infraestructura y licenciamiento locales en el país (ver figura 7).

Región	Numero de Referencias	Porcentaje (%)
Latinoamérica	4	7.1
Norteamérica	0	0.0
Europa	9	16.1

<b>Asia</b>	<b>10</b>	<b>17.9</b>
<b>Oceanía</b>	<b>0</b>	<b>0.0</b>
<b>Otro/No reportado</b>	<b>33</b>	<b>58.9</b>

*Tabla 4. Distribución geográfica por región.*

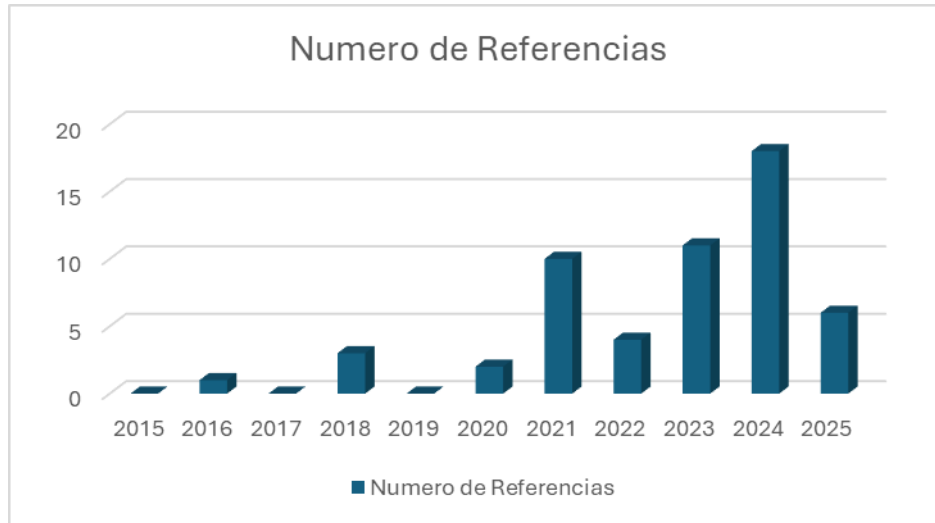


*Figura 7. Gráfico Ilustrativo de el Numero de Referencias Por Región.*

Temporalmente en los datos, se observa un incremento sostenido desde el año 2021, con picos en 2023–2024, coherentes con la consolidación de modalidades híbridas y repositorios abiertos. La Tabla 5. Distribución temporal de los estudios (2015–2025) y la Figura 8 y 9. Gráfico de Tendencia de Distribución Temporal de los Estudios ilustran esta aceleración, indicando que la adopción de estas tecnologías es una tendencia actual y robusta, impulsada por el contexto post-pandémico.

<b>Año de Publicación</b>	<b>Numero de Referencias</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
2015	0	0.0%
2016	1	1.8%
2017	0	0.0%
2018	3	5.4%
2019	0	0.0%
2020	2	3.6%
2021	10	17.9%
2022	4	7.1%
2023	11	19.6%
2024	18	32.1%
2025	6	10.7%

*Tabla 5. Distribución temporal de los estudios (2015–2025).*



**Figura 8. Gráfico de Tendencia de Distribución Temporal de los Estudios.**



**Figura 9. Gráfico de Dispersión de la Distribución Temporal de los Estudios.**

En cuanto a los aspectos que son objeto de estudio, la evaluación de la distribución general de los *outcomes* (*Resultados*) muestra que existen frecuentemente indicadores de conocimiento, rendimiento y motivación/enganche; estos son los resultados más sencillos de medir en entornos de aprendizaje (ver Figura 10). *Evaluación de la Distribución General y Tabla 6. Distribución por familia de simulación, referencias gráficas de soporte*.

Familia \ Outcome	Conocimiento	Desempeño	Tiempo	Errores	Seguridad	Engagement
Simuladores de proceso (comerciales)	2	2	1	5	4	2
Simuladores de proceso (open-source)	3	2	1	3	0	1
Entornos inmersivos / Laboratorios virtuales	2	1	0	2	0	3
Simulación clínica (MyDispense)	3	0	1	2	1	1
Otra simulación educativa	1	1	0	1	0	0
No reportado	1	2	0	1	0	3

**Tabla 6. Distribución por familia de simulación**

## Distribución de Familias



**Figura 10. Evaluación de la Distribución General.**

No obstante, son menos habituales las evaluaciones de habilidades prácticas, de seguridad/error y de transferencia a contextos reales, así como el uso de instrumentos validados y seguimientos longitudinales. Esta brecha de evaluación es crucial, ya que el objetivo final de la simulación en farmacia es precisamente asegurar la competencia en el manejo seguro y eficaz de los procesos

Aun así, la literatura avala la utilidad de la docencia en la simulación, siempre que se implemente como parte de secuencias didácticas intencionadas (pre-lab, práctica guiada, evaluación no isomorfa) y de rúbricas. El concepto de "pre-lab" con simulación, por ejemplo, facilita la asimilación de datos y la reducción de errores de cálculo antes del laboratorio físico (Serrano et al., 2023).

Entre las limitaciones comunes de los estudios revisados se encuentran la heterogeneidad de los diseños, las muestras moderadas y la dependencia de autor - reportes. Estas limitaciones justifican la necesidad de reforzar la medida de la práctica con indicadores objetivos (OSCE, listas de verificación de seguridad, análisis de error), y la documentación de la dosis de instrucción (tiempo efectivo en el simulador, número de interacciones y tipo de feedback), para mejorar la comparabilidad y la posibilidad de replicar la intervención. Esta estandarización es vital para que la formación en pregrado se alinee eficazmente con los marcos de acreditación y las exigencias de la industria (Johnson et al., 2021). Para contextos de restricción de licenciamiento, el uso de herramientas open-source como DWSIM facilita la accesibilidad y estandarización a través de guías reutilizables (Suthar et al., 2023).

### 3.3. Casos ejemplares (evidence briefs)

En los siguientes puntos, se presentan seis casos representativos que resumen qué se implementaron, en los que observaron resultados y en qué condiciones favorecieron el efecto.

- Aspen/HYSYS como pre-laboratorio estructurado (operaciones unitarias) Intervención: plantillas guía y análisis de sensibilidad previos al laboratorio húmedo. Resultados: disminución del tiempo de preparación y de los errores en cálculos o en los montajes; mejora de la calidad de los informes y de la coordinación de equipos. Factores clave: *pre-briefing* (informativa previa) con objetivos; rúbrica por competencias y evaluación de problemas no isomorfos. (Serrano et al., 2023; Johnson et al., 2021)

- HYSYS como control y operación seguros (dinámica y sintonía) Intervención: escenarios con perturbaciones y discusión de variables manipuladas/medidas; aproximación entre teoría y práctica con acceso limitado a planta; Resultados: mayor justificación para la toma de decisiones (selección de *set-points* (puntos de ajuste) y respuesta ante perturbaciones) y evidencia de la transferencia a prácticas físicas. Factores clave: rúbricas

específicas de control; tareas cortas y *debriefing* (interrogación) con criterios de seguridad. (Khera, Mannix, Moussa, & Mak, 2023; Amirthalingam et al., 2025)

- DWSIM como un gestor que estimula el desarrollo del análisis curricular y la apertura de esta *open-source* (código abierto). Intervención, en las relaciones pertinentes entre: secuencias teoría - simulación guiada - evaluación formativa mapeadas a resultados de aprendizaje. Resultado: la mejora conceptual y continuidad en cursos de estructura central, sin requerimientos de licencias; interoperabilidad (CAPE-OPEN). Factores clave: guías cortas, rúbricas transparentes y variación en los paquetes de condiciones en favor de la transferencia. (Suthar et al., 2023; Selcuk et al., 2025).
- Repositorios FOSSEE / DWSIM como escalado de prácticas estandarizadas. Intervención: usos de *flowsheets* (diagramas de flujo) y *proceedings* (procedimientos) públicos que hagan de prácticas y proyectos parecidos entre sedes / grupos. Resultado: reducción de la barrera de entrada docente, mejor replicabilidad y mayor igualdad entre grupos; ahorro de tiempo de preparación. Factores clave: curaduría local (datos, SOP y normativa) y versionado por semestre con historial de versiones. (FOSSEE, 2018; FOSSEE, 2018; FOSSEE, 2018).
- My Dispense como competencias clínicas (dispensación y seguridad del paciente) Intervención: integración longitudinal y evaluación auténtica OSCE, *checklists* (Lista de verificación) con retroalimentación estructurada. Resultados: no inferioridad y, en algunos contextos, superioridad en conocimientos, confianza y satisfacción que las de enfoques tradicionales. Factores clave: bancos de casos que siguen normativa local e instrumentos validados. (Johnson et al., 2021; Phanudulkitti et al., 2023; Gharib et al., 2024).
- VR/AR "REALIDAD AUMENTADA" y laboratorios virtuales como complemento (pre-lab y seguridad) Intervención: recorridos VR/AR "REALIDAD AUMENTADA" para familiarización con equipos y laboratorios virtuales para decidir sin riesgo. Resultados: incrementos en el *engagement* (compromiso) y en la comprensión de procedimiento; alta utilidad percibida por el estudiantado. Claves del éxito: sesiones breves con guías de confort, andamiaje tanto progresivo como *debriefing* (interrogación); usado como apoyo nunca como sustituto total. (Serrano et al., 2023; Moudgalya, 2021; Parra, 2022; Navarro Pérez et al., 2022)

#### 3.4. Simuladores de proceso (Aspen Plus, Aspen HYSYS/UniSim): equilibrio, reactores, destilación y control

Los simuladores de procesos "clásicos" (Aspen Plus, Aspen HYSYS, y UniSim) sostienen el núcleo técnico de la formación en operaciones unitarias y diseño: permiten elegir paquetes termodinámicos, cerrar balances, calcular análisis de sensibilidad y traducir aquellos resultados en decisiones de operación y seguridad. Cuando se integran como pre-laboratorio, se aprecia una reducción en el tiempo preparación y en errores de cálculo, además de una mejora en la coordinación del trabajo en equipo mientras que se llevan a cabo las prácticas húmedas. También en cursos en los que se incorporaron plantillas guiadas y ejercicios de sensibilidad antes de entrar al laboratorio, los estudiantes llegaban a la práctica con modelos mentales más estables siendo menos erráticos en la puesta a punto de los equipos (Parra, 2022). Más allá del "cómo se usa", la literatura reciente debate el "cuándo" introducir estos simuladores. Varios autores proponen una introducción temprana y progresiva desde los primeros semestres para alinear competencias con los marcos de acreditación (p. ej., Resultados tipo ABET) y evitar que la herramienta se introduzca de forma tardía solamente en diseño de plantas. Este andamiaje curricular atenúa la curva de aprendizaje y permite liberar, en cursos avanzados, el tiempo para el razonamiento de diseño (selección de rutas, evaluación de *trade-offs* (Compensación), decisiones de seguridad y ambiente) (Johnson et al., 2021).

El ámbito de la automatización y el control, seminarios de posgrado que combinan HYSYS con estrategias de control demuestran la viabilidad didáctica y un valor elevado en la discusión de escenarios de operación segura antes de actuar sobre equipos reales. La superposición de los modelos dinámicos y las hojas de proceso también acompañadas de rúbricas específicas permiten al estudiantado defender la elección de variables manipuladas y la respuesta en perturbaciones, no sólo para "hacer correr el *flowsheet* (diagrama de flujo)" (Khera, Mannix, Moussa, & Mak, 2023). En la misma línea, la virtualización del laboratorio de control de procesos con el HYSYS permite mantener las experiencias de laboratorio cuando el acceso a planta está restringido y sirve de conexión entre teoría (funciones de transferencia, sintonía) y toma de decisiones en

situaciones de realidad de operación (Amirthalingam et al., 2025). Un patrón que se repite en aquellos reportes que obtienen los mejores resultados es el diseño instruccional explícito: de hecho, las secuencias empiezan por un pre-lab breve con conceptos, pasan por un ejercicio de simulación guiada y terminan en la evaluación mediante problemas no isomorfos (variantes que empujan a la transferencia del aprendizaje). Este enfoque permite no sólo tener mejor puntaje, sino también, informes de más calidad con una mejor argumentación técnica de las decisiones tomadas (elección de los paquetes de propiedades, límites operativos, criterios de convergencia), mayormente cuando se acompaña de rúbricas por competencias o niveles (Parra, 2022).

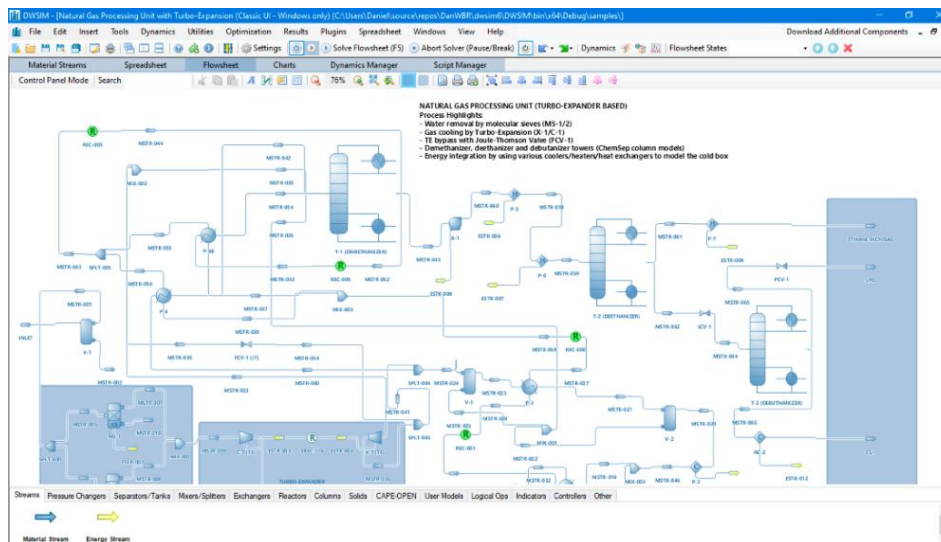
Con respecto a la accesibilidad, los cursos que mezclan un simulador como Aspen/HYSYS con recursos abiertos (guías de trabajo, bancos de casos, vídeos breves) logran equiparar expectativas entre secciones, reduciendo de esta forma la dependencia de sesiones magistrales. El rol desempeñado por estos simuladores resulta más fructífero cuando el docente los concibe como herramienta con la que pensar: se evalúa la consistencia del modelo; se atiende la sensibilidad de este a los supuestos y se distingue la coherencia entre el resultado obtenido y los criterios de diseño (seguridad, entorno, costes), más allá de la mera obtención de una convergencia numérica (Johnson et al., 2021).

Finalmente, dos cautelas metodológicas se detectan de manera recurrente: (i) la necesidad de contar con instrumentos de evaluación validados que capten transferencia (no sólo *quizzes* inmediatos). (ii) la explicitación de la “dosis instruccional” (horas en simulador, número de iteraciones, *feedback* “comentario” recibido). Estos dos elementos son importantes, ya que su consideración facilita la replicación en otras instituciones e, incluso, permite poner de manifiesto comparaciones de efecto entre cursos y cortes (Khera, Mannix, Moussa, & Mak, 2023). En definitiva, Aspen/HYSYS/UniSim Funcionan mejor como la base del razonamiento procesal cuando se integran en secuencias didácticas diseñadas, se conectan con criterios de diseño y se evalúan con métricas más completas. (Parra, 2022)

### 3.5. DWSIM en currículo (open-source, CAPE-OPEN y flowsheets (comentarios) estandarizados)

En cuanto a los aspectos que son objeto de estudio, la evaluación de la distribución general de los outcomes (resultados) muestra que existen frecuentemente indicadores de conocimiento, rendimiento y motivación/enganche; estos son los resultados más sencillos de medir en entornos de aprendizaje (ver Figura 10. Evaluación de la Distribución General y Tabla 6. Distribución por familia de simulación, referencias gráficas de soporte). No obstante, son menos habituales las evaluaciones de habilidades prácticas, de seguridad/error y de transferencia a contextos reales, así como el uso de instrumentos validados y seguimientos de los procesos. Esta brecha de evaluación es crucial, ya que el objetivo final de la simulación en farmacia es precisamente asegurar la competencia en el manejo seguro y eficaz de los procesos. (FOSSEE, 2018).

En este contexto de búsqueda de accesibilidad y estandarización DWSIM se ha posicionado como la alternativa libre durante cursos de operaciones y diseño, con limitaciones de propiedad de software y en búsqueda de escalabilidad institucional, encontrando un horizonte de adopción a través de secuencias formativas que comprenden teoría, práctica guiada y evaluación, con mejoras que se citan en comprensión conceptual una vez que el desarrollo de ejercicios que se vinculan a resultados de aprendizaje predefinidos y rúbricas de rendimiento (Suthar et al., 2023). Con un costo cero, su compatibilidad *CAPE OPEN* se ha ido mostrando como un factor que ayuda a migrar o contrastar modelos con otro entorno de diseño, viéndose favorecidos la continuidad curricular y el trabajo colaborativo entre asignaturas (Selcuk et al., 2025). Su interfaz permite la representación visual de procesos, como se ejemplifica en un esquema de flujo típico.



**Figura 11. Esquema de simulación en DWSIM.**

(Fuente: Adaptado de la literatura que emplea DWSIM para modelado de procesos, ej. Hassan et al., 2023).

En educación a distancia de acontecimientos relacionados con el trato de pacientes, DWSIM protegió la práctica y el proyecto de cursos de ingeniería de procesos (p. ej., ciclos de amoníaco; energía), con niveles altos de aceptación por parte del estudiantado y un papel o sensación de utilidad hacia la práctica de laboratorio (Zhan & Wang, 2022). En aplicaciones didácticas concretas (absorción/refrigeración por absorción; ciclos combinados) el software sirvió para representar balances y equivalencias operacionales sin necesidad de emplear equipamiento físico, acelerando el proceso de preparación para las prácticas húmedas y el número de errores recurrentes del montaje (Chantasiriwan, 2023). Entre los entornos con limitaciones en la infraestructura se ha mostrado suficiente para preparar modelos de plantas simples u ofrecer intercambios de discusión sobre diseño y eficiencia (Hassan et al., 2023).

### 3.5.1. Plataformas y repositorios (OER): LearnChemE, FOSSEE/DWSIM, NPTEL

El ecosistema abierto en el que se desarrolla DWSIM favorece su adopción. Los *flowsheets* (Comentarios) (HMS) quienes publican los manuales de los materiales de referencia (FOSSEE). Ofrece ejemplos de casos prácticos (relacionados con bombeo, destilación, intercambiadores, utilidades) que pueden ser modificados para diferentes niveles de dificultad o aplicación, Indicando la información o el material se basa en o está relacionado con el proyecto FOSSEE (Free/Libre and Open Source Software for Education) del año 2018.; los procesos y a las actas de manuales asociados que concretan decisiones de modelado, supuestos y condiciones de convergencia, prácticos como material de referencia y como base para actividades de previas en el aula (FOSSEE, 2018). Gracias a los caminos de formación masiva (tutoriales), estudiantes y profesorado pueden acceder a un nivel operativo inicial de manera eficiente, contribuyendo a la homologación de las competencias de entrada técnicas y cognitivas, tales como la comprensión de balances de materia y energía, el reconocimiento de operaciones unitarias, el manejo básico de software de simulación y la interpretación de variables de proceso (Moudgalya, 2021).

A niveles avanzados, DWSIM se ha empleado como plataforma para experimentar acoplamientos con herramientas de optimización e incluso, aprendizaje por refuerzo, con altos créditos pedagógicos en seminarios de diseño, cursos entendidos como una experiencia de aprendizaje integradora que culmina la carrera, donde los estudiantes resuelven un problema real en equipo, aplicando todos los conocimientos adquiridos, desde el enfoque de la similitud a un proyecto final o una tesis o trabajos de grado orientados al aprendizaje de espacios de decisión con el procesamiento de datos (Bergman et al., 2023). Este uso ha permitido escalar la conversación más allá de "hacer correr el *flowsheet* (comentarios)" hasta criterios de diseño (seguridad, ambiente, costos) y sensibilidad a supuestos (termodinámica, cinética, datos de propiedad), sirviendo para establecer conexiones con competencias de análisis y de comunicación técnica (Selcuk et al., 2025).

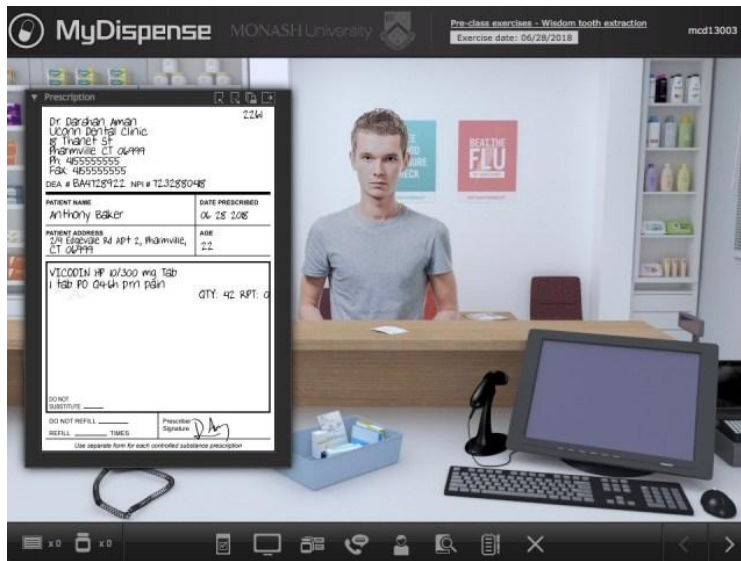
### 3.6. Modelo híbrido con simulación: pre-lab, práctica guiada y evaluación no isomorfa

Desafortunadamente, una parte de la bibliografía sobre DWSIM se centra en aplicaciones técnicas que, a corto plazo, no permiten evaluar su utilidad pedagógica. Cuando mejor se produce la diferencia educativa es común que exista diseño instruccional explícito: breve pre-lab conceptual, práctica guiada de aprendizaje en el simulador y evaluación a partir de problemas no isomorfos que obligan a la transferencia (*variaciones del paquete de propiedades, de las condiciones de operación o de las restricciones*) (Suthar et al., 2023). También se aconseja documentar la "dosis instruccional" (*horas en simulador e iteraciones*) y a utilizar instrumentos validados siempre que sea posible, para realizar comparaciones entre cohortes y contextos (Selcuk et al., 2025). Resumiendo, DWSIM capitaliza como un elemento de acceso y de coherencia curricular si se inserta en secuencias de aprendizaje planificadas, se soporta en recursos abiertos de calidad y se demuestra a partir de medidas que capturan razonamiento de proceso y toma de decisiones (Karandikar, 2023).

### 3.7. Simulación clínica en Farmacia: MyDispense y pacientes virtuales

Las plataformas de simulación clínica, y en especial MyDispense, se utilizan para entrenar, en un entorno seguro, competencias de dispensación, información sobre medicamentos, resolución de problemas y seguridad del paciente. Cuando implementadas longitudinalmente (varios cursos/semestres) y con evaluaciones auténticas, se observan mejoras sostenidas en el conocimiento y en la confianza que dan frente a la enseñanza tradicional puramente presencial (Johnson et al., 2021). Los resultados de estudios comparativos recientes indican que MyDispense alcanza niveles de aprendizaje no inferiores a los de otras intervenciones y, en ciertos contextos, ciertos aspectos de satisfacción y/o seguridad percibida, siempre que se ubiquen en contextos con resultados de aprendizaje claros y con retroalimentación estructurada (Gharib et al., 2024). Y más allá de los ensayos individuales, las revisiones de alcance en la última década resaltan usos de MyDispense en las diferentes asignaturas (dispensación, consejo, farmacoterapia, ética, errores de medicación), identificando como constantes la práctica deliberada y la variabilidad de casos como motores de mejora (Khera et al., 2023). En un ámbito más amplio, las revisiones sistemáticas concernientes a la simulación digital/pacientes virtuales en Farmacia y en ciencias de la salud manifiestan consecuencias favorables en materia de conocimiento, destrezas clínicas y actitudes; no obstante, hacen hincapié en la fortaleza de la calidad metodológica con herramientas válidas, en la descripción del informe detallado de intervención (durabilidad, dosis instruccional) y en la medición objetiva del rendimiento, si corresponde (p.ej., OSCE, análisis estructurado de errores) (Phanudulkitti et al., 2023). En la misma línea, las sinergias más modernas en lo que toca a la "simulación clínica" en Farmacia subrayan el valor para entrenar habilidades no técnicas -comunicación, consejo al paciente, trabajo interprofesional- que suelen presentar mayor dificultad a la hora de ser enseñadas mediante métodos expositivos (Gaspar et al., 2024).

El entorno de la Figura 12 es un ejemplo de sistema cerrado que facilita intrínsecamente la medición objetiva. Cada acción del estudiante (seleccionar un producto, consultar una fuente de información, hablar con el paciente) es registrada. Esta trazabilidad de las acciones permite al docente aplicar las rúbricas y proporcionar la retroalimentación estructurada requerida, facilitando que MyDispense se integre en la ruta de casos progresiva sugerida por la literatura para evaluaciones formativas y sumativas.



**Figura 12. Entorno de Funcionamiento del simulador MyDispense.**

La ejecución es, sin lugar a duda, un aspecto crítico para garantizar la adopción sostenible de las tecnologías de simulación. En este sentido, los estudios cualitativos multicéntricos identifican diversas barreras, entre ellas la heterogeneidad de la infraestructura (hardware y conectividad), la necesidad de formación docente, el mayor tiempo requerido para la curaduría de casos y la escasa alineación con la normativa local (vademécum, esquemas de dispensación, requisitos legales). No obstante, estos mismos estudios destacan también diversos factores facilitadores, principalmente la existencia de bancos de casos reutilizables, el uso de rúbricas y la colaboración interasignaturas que evita redundancias en la formación (Hassan & Manji, 2023). De manera consecuente, la evidencia señala que MyDispense resulta más efectivo cuando se integra como un componente articulado dentro del currículo no como una actividad aislada, siguiendo una ruta de casos progresiva (de menor a mayor complejidad) y con puntos de evaluación formativa (Johnson et al., 2021).

Finalmente, dos recomendaciones transversales emergen de la literatura:

- Alinear evaluación con la competencia entrenada. En el caso que el foco sea de detección de errores de medicación o consejo farmacéutico, esto implica que hay que incluir elementos que recojan el desempeño real (por ejemplo, OSCE, checklists de seguridad), pero también hay que incluir quizzes de conocimiento (Phanulkitti et al., 2023).
- Reportar la "dosis" de la intervención. Horas efectivas en la plataforma, número de casos resueltos, número de iteraciones de feedback, grado de autonomía en la intervención/guía; para que estos datos den el nivel de replicabilidad de las experiencias y permitan una comparación de efectos entre cortes o instituciones (Gharib et al., 2024). La simulación clínica con MyDispense está pensada para dar un espacio controlado y repetible para practicar toma de decisiones de relevancia profesional sin comprometer la seguridad del paciente. Integrada con instrumentos de evaluación robustos y curaduría pedagógica, los resultados se observan como beneficios consistentes entre dimensiones cognitivas y actitudinales, con un potencial de transferencia hacia situaciones presenciales o prácticas externas (Khera et al., 2023)

### **3.8. Entornos inmersivos y laboratorios virtuales (VR/AR "REALIDAD AUMENTADA", VL) como complemento.**

Los entornos inmersivos (VR/AR "REALIDAD AUMENTADA") y (VL) se perfilan como una alternativa complementaria de gran valor para la formación en procesos farmacéuticos, dado que mejoran la preparación previa a la práctica, la comprensión espacial/procedimental, el *engagement* (*Compromiso*), pero siempre sin la intención de reemplazarlo por completo. En asignaturas de operaciones se ha comprobado que los recursos VR 360° usados en pre-lab obtenían buena valoración por parte de los estudiantes y una utilidad para la familiarización con equipos y recorridos de laboratorio antes de entrar en el físico (Karandikar, 2023). En el mismo sentido se ha reportado en plataformas VR acompañadas de actividades de simulación que los alumnos

han mostrado mejoría en el *engagement* (Compromiso) y el rendimiento cognitivo cuando el diseño instruccional es claro y poco denso. (Yang et al., 2024)

Las pruebas recopiladas a modo de síntesis demuestran que los entornos VR/AR “REALIDAD AUMENTADA” YVL funciona óptimamente como complemento del proceso de aprendizaje en los ámbitos de las competencias profesionales del campo de la ingeniería en farmacia. Un meta-análisis reciente sobre laboratorios virtuales en ingenierías describe efectos positivos en motivación y logro, en especial en el caso de que las tareas incluyan la posibilidad de generar interacciones con significado y retroalimentación oportuna (Karandikar, 2023). A su vez, una revisión sistemática en STEM, concluye que los VL rinden igual o mejor que clases pasivas, aunque advierten de diversidad de los diseños y métricas; la recomendación de los autores es utilizarlos como apoyo estructurado (pre-lab, práctico, remediación) y no en sustitución del laboratorio físico (Navarro Pérez et al., 2022). El coste del acceso es otro elemento determinante. Experiencias con AR de bajo costo (móviles o utilizando marcadores) demuestran mejoras conceptuales en fenómenos complejos sin que sea necesario utilizar toda la indumentaria de la realidad virtual en experiencias en 3D (*tercera dimensión*) o hardware especializado, eliminando así barreras y facilitando la adopción en situaciones que carecen de infraestructura técnica (Moudgalya, 2021). En el ámbito de la manufactura sostenible e Industria, las intervenciones bien guionizadas en VR generan más participación de los alumnos y permiten discutir *trade-offs* de operación/impacto ambiental de un modo seguro y durante los tiempos que se deseen (Gao et al., 2023). A escala curricular, los repositorios abiertos asociadas a laboratorios virtuales y simulaciones interactivas han servido para estandarizar prácticas y liberar tiempo de docente para proporcionar retroalimentación cualitativa, facilitando así la continuidad en cursos masivos o para modalidades de enseñanza multimodales (Negahban, 2024). Para maximizar el aprendizaje, la literatura revisada coincide en varios principios de diseño:

(i) preparación previa por el instructor con objetivos específicos y una lista de comprobación de desempeño; (ii) andamiaje progresivo (de la exploración guiada a la solución de problemas) para evitar sobrecarga cognitiva; (iii) un debriefing estructurado que ponga en relación decisiones, resultados y el riesgo; (iv) alineación evaluativa mediante rúbricas que recojan el desempeño procedimental y la toma de decisiones, más allá de quizzes memorísticos (FOSSEE, 2018). En química farmacéutica e ingeniería de procesos, se traduce en usar indicadores como el tiempo de preparación, errores de montaje, cumplimiento con SOP/seguridad y el paso a la práctica física (por ejemplo, resolución de fallos, identificación de riesgos reales en equipos de las plantas (Navarro Pérez et al., 2022). Se documentan también advertencias: posible ciber mareo en VR (minimizar las sesiones cortas y guías de confort), brecha en la capacitación de docentes para diseñar buenas experiencias y necesidad de adecuar los recursos a contextos locales considerando el entorno en el cual se aplique como, por ejemplo: señalización de seguridad, procedimientos de planta, límites de operación (Sreemahadevan et al., 2024). Con una buena planificación estas limitaciones se mitigan y los entornos inmersivos ofrecen un valor que difícilmente se alcanzaría a través de métodos expositivos tradicionales, en competencias situadas y de seguridad operacional especiales (Andreasen, 2022).

### 3.9. Lectura integradora de los hallazgos

Los resultados respaldan un modelo de funcionamiento en el que la simulación se considera como instrumental pedagógico infraestructural: los simuladores de proceso (Aspen/HYSYS/UniSim y DWSIM) sostienen el razonamiento técnico paquetes de propiedades, balances y sensibilidades con mejoras significativas cuando se usan en pre-laboratorios estructurados desde las operaciones unitarias (Serrano et al., 2023). Por su parte, los entornos inmersivos (VR/AR “REALIDAD AUMENTADA”) en los laboratorios virtuales aportan preparación procedimental también familiarización con los equipos para la práctica específicamente reduciendo errores y tiempos al llegar al laboratorio físico (Navarro Pérez et al., 2022). En Farmacia también se han obtenido avances en competencias profesionales (dispensación, consejo y seguridad del paciente) a través de la integración longitudinal de plataformas como MyDispense, que a la vez se evalúan con instrumentos auténticos (Johnson et al., 2021). En circunstancias restrictivas de licencias DWSIM aporta escalabilidad y continuidad curricular por su naturaleza abierta y su compatibilidad CAPE-OPEN permitiendo replicar entre asignaturas (Serrano et al., 2023).

### 3.10. Mecanismos pedagógicos plausibles

La utilización de simulación en el pre-laboratorio disminuye la carga extrínseca o la carga cognitiva y alinea modelos mentales anteriores. De hecho, se ha relacionado con una reducción significativa de los errores de cálculo y un mejor *"tuning"* (Afinación) en el laboratorio no simulado (FOSSEE, 2018). En el caso de la evaluación de problemas no isomorfos (cambiando las condiciones, los paquetes de termodinámica o las restricciones), entonces se observa una mayor transferencia del aprendizaje y mejores justificaciones técnicas a la hora de hacer informes de laboratorio (Johnson et al., 2021). En una dimensión clínica, la práctica deliberada de la simulación con retroalimentación estructurada permite explicar los saltos en la confianza y la toma de decisiones en MyDispense y en pacientes virtuales (Phanudulkitti et al., 2023). La simulación dinámica en semi-simulaciones o en simulaciones en cursos de control prueba las respuestas ante las perturbaciones discutidas sobre seguridad operativa antes de intervenir los equipos, lo que obre una buena conexión teórica y de decisión a tiempo real (Khera, Mannix, Moussa, & Mak, 2023), y hace que se refuercen los criterios de sintonía en escenarios realistas (Amirthalingam et al., 2025).

### *3.11. Moderadores y condiciones de efectividad*

Los efectos son más consistentes cuando hay alineación curricular explícita: cada actividad se conecta a resultados del aprendizaje para cada actividad, cada una de las cuales está acompañada de rúbricas que indican los criterios de éxito (Selcuk et al., 2025). La dosis instruccional también tiene importancia —asociativa con el número de horas efectivas, número de iteraciones, ciclos de feedback— ya que los estudios que planifican la dosis reportan mejoras sostenidas relacionadas con implementaciones puntuales (Gharib et al., 2024). Por último, disponer de recursos de calidad (flujogramas, guías y bancos de casos) facilita la adopción docente y la estandarización entre grupos —mención especial pueden merecer los repositorios FOSSEE/DWSIM, que dan cuenta de decisiones de modelado y de criterios de convergencia (FOSSEE, 2018).

### *3.12. Coherencia con literatura internacional y marcos de calidad*

Las reducciones en errores y tiempos de preparación relacionadas con la simulación como pre-lab pueden considerarse que replican unos resultados previamente obtenidos en cursos de operaciones unitarias con Aspen/HYSYS (FOSSEE, 2018). En control de procesos la combinación de modelos dinámicos y rúbricas específicas ha sido útil para entrenar decisiones de operación segura antes de trabajar con planta real (Khera, Mannix, Moussa, & Mak, 2023). En la disciplina de Farmacia, los resultados no peores —e incluso favorables en contextos determinados— de MyDispense en conocimiento y confianza argumentan el potencial de la evaluación auténtica empleando OSCE y listas de verificación (Johnson et al., 2021). Y a nivel de recursos incluso han emergido iniciativas abiertas como las de LearnChemE las cuales han establecido un piso común de competencias en simulación y fenómenos de transporte y generado el fortalecimiento de un proceso de homologación entre cohortes (Negahban, 2024).

### *3.13. Pertinencia regional (Latinoamérica/Colombia)*

La escasa representación de estudios a escala regional nos dice que hay que poner un empeño específico en la documentación local y la adecuación hacia las regulaciones e infraestructura que hay en el sitio. Proponiéndose utilizar AR de bajo coste como sus respectivos puntos de entrada a una serie de experiencias que han evidenciado que un uso ligero de la AR y laboratorios virtuales en dispositivos móviles favorecen la comprensión procedimental de contenidos sin la necesidad de requerir hardware específico, lo cual es interesante en aquellas instituciones con recursos o equipamientos reducidos (Moudgalya, 2021). Siguiendo este benéfico proceso de DWSIM -que responde a un objetivo curricular en última instancia allí donde las licencias comerciales son restrictivas- siempre y cuando la institución acompañe la competencia teórico-práctica por la capacitación del profesorado/a y soporte para el estudiantado con prácticas de laboratorio (Selcuk et al., 2025).

### *3.14. Validez interna, externa y riesgos de sesgo*

La condición del campo subyace tras la heterogeneidad de los diseños estudiados y los tamaños moderados de la muestra; donde la tendencia es el autoinforme y menos la recurrencia de instrumentos con validez en campo, lo cual impide que las comparaciones de efectos entre contextos sean directas (Navarro Pérez et al., 2022).

Siendo las amenazas a la validez más frecuentes el sesgo de selección (en la que se utilizan muestras voluntarias), la maduración y la variabilidad intrínseca.

Los trabajos más potentes describen grupos comparación, triangulan métricas (de conocimiento, o desempeño, o tiempo / o errores) y reportan fidelidad de la propia implementación. Este conjunto de prácticas incrementa la credibilidad de los resultados a través del reportaje (FOSSEE, 2018) El análisis al que procedemos presenta terminología disímil, además de una cobertura desproporcionada en regiones, lo que posiblemente ha hecho que queden sin recuperar ciertos trabajos; a la vez que como método también hemos tenido dificultad en la estimación de la dosis, dificultando los análisis de tipo de la intensidad-consecuencia (Selcuk et al., 2025).

### *3.15. Costos, equidad y sostenibilidad de la adopción*

Adicionalmente al aprendizaje que se deriva de la propia simulación, ha contribuido a la mejora de la eficiencia operativa porque ha mejorado el tiempo de preparación y ha evitado los errores costosos en el laboratorio, pero se ha de tener en cuenta la inversión inicial que se ha de hacer para formar al personal docente y el soporte técnico. En lo que respecta a equidad, las experiencias con VR/AR “REALIDAD AUMENTADA” ligera de FOSSEE (2018) ha puesto de manifiesto el aporte pedagógico para el aprendizaje en cohortes con restricción de acceso (p.ej. hardware en PC), incluso para aprovechar situaciones en las que para estos mismos casos se enfrenta a limitaciones para la conectividad (Karandikar, 2023). La sostenibilidad ha de ir orientada hacia un uso estratégico del licenciamiento (cuando aplique), la creación de repositorios internos versionados, la rotación de los casos para evitar la memorización y mantener el reto cognitivo (FOSSEE, 2018).

### *3.16. Aportes del presente trabajo*

Esta revisión tiene la finalidad de articular un corpus extenso, con tres familias de simulaciones en un periodo que abarca desde 2015 hasta 2025, donde los roles son familiares y complementarios: procesos, clínica e inmersiva; y de traducir la evidencia en principios que operan: por un lado, pre-lab en proceso de simulación para que la carga se reduzca y los errores entren en juego (Chicaiza Sagal & Chuquin Vasco, 2023), práctica deliberada y evaluación auténtica en clínica, de (Phanudulkitti et al. 2023), y gobernanza de OER para escalar la práctica con consistencia Inter grupos (Chicaiza Sagal & Chuquin Vasco, 2023). Esa combinación establece una oportunidad replicable para aquellos programas que deseen mejorar el desempeño sin aumentar la carga, la práctica y la seguridad de forma elocuente.

### *3.17. Limitaciones del presente trabajo*

A pesar de que se aplicaron criterios de exclusión y de lectura crítica explícitos, la variedad de métricas y formatos hizo imposible obtener una síntesis cuantitativa formal. En algunos casos, se carecía de datos sobre la dosis instruccional o de registros longitudinales que habrían sido necesarios para delimitar la magnitud y duración de la aplicación de estos programas en los currículos educativos, profesionales y de salud (Selcuk et al., 2025).

En el marco de la metodología PRISMA 2020, la ecuación de búsqueda empleada que definió los criterios de inclusión y exclusión fue la siguiente:

(“simulation technologies” OR “virtual laboratory” OR “process simulation”) AND (“pharmaceutical education” OR “chemical engineering education”) AND (“learning outcomes” OR “teaching effectiveness”).

Esta ecuación permitió acotar la selección a estudios que integraran tecnologías de simulación en contextos de educación superior en Química Farmacéutica o Ingeniería Química. No obstante, también implicó la exclusión de investigaciones que, aun relacionadas con simulación, se enfocaban únicamente en la dimensión industrial o en contextos no universitarios.

Dichas decisiones metodológicas pueden haber limitado la amplitud de los resultados, razón por la cual los hallazgos deben interpretarse con cautela. Asimismo, se recomienda que futuras revisiones amplíen el rango de palabras clave y diversifiquen las bases de datos para obtener un espectro más representativo de las experiencias de simulación en educación farmacéutica (Haynes & Winsor, 2022).

### 3.18. Recomendaciones y líneas futuras

Es preferible reportar la dosis de intervención y aprovechar instrumentos validados cuando haya lugar. Esta buena práctica tiene como fin mejorar la comparabilidad entre cohortes (Gharib et al., 2024). También es preferible considerar medidas objetivas, como OSCE, listas de verificación de seguridad, tiempos o errores críticos, junto con el conocimiento declarado, en línea con las mejores prácticas en simulación educativa (FOSSEE, 2018). En perspectiva de escalado, publicar secuencias transferibles (guías, rúbricas, parámetros o variantes) y sostener VBET (repositorios) favorece la replicación entre instituciones, en especial usando recursos abiertos (Karandikar, 2023). En modo de contextos de presupuesto reducido, una alternativa de bajo desempeño es empezar con DWSIM y VR/AR "REALIDAD AUMENTADA" de bajo coste, para luego ir haciendo andamiaje progresivo y evaluación de transferencia, estrategia que ya ha mostrado buenos resultados en adopciones iniciales (Moudgalya, 2021). Estas herramientas intención pedagógica y evaluación auténtica, se llega a ver que la simulación acorta la brecha del triángulo entre teoría, laboratorio y práctica profesional. En Química Farmacéutica, su negocio substancial es el entrenamiento de un pensamiento de proceso, el obtener profesionales competentes que sean capaces de tomar decisiones más seguras y el estandarizar experiencias a escala; estos efectos son viables y sostenibles cuando se apalancan en recursos abiertos y gobernanza curricular deliberada (FOSSEE, 2018).

## 4. CONCLUSIONES

La presente Revisión Sistemática ha cumplido cabalmente su objetivo al analizar y sintetizar la evidencia sobre el uso de tecnologías de simulación en la formación de Químicos Farmacéuticos y profesionales afines. Los resultados consolidan una estrategia pedagógica de alto impacto, indispensable para alinear el programa curricular con la exigencia de formar profesionales competentes, capaces de tomar decisiones seguras y eficientes, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 3 y ODS 9).

La incorporación de tecnologías de simulación contribuye a la vez a tres frentes formativos, la evidencia valida de forma consistente que las tecnologías de simulación son herramientas eficaces que cierran la brecha entre la teoría, el laboratorio y la práctica profesional. Su aporte formativo se produce en tres frentes complementarios, mediante la especialización de las herramientas tecnológicas: en un lado, estructura el razonamiento de procesos, de otro lado, robustece la preparación procedimental y la seguridad para el trabajo en laboratorio o planta gracias a prácticas previas no riesgosas, y por último, entrena las competencias profesionales relacionadas con el ámbito clínico como la dispensación, el consejo farmacéutico o la toma de decisiones en entornos controlados.

El corpus analizado muestra una consolidación de Aspen Plus, Aspen HYSYS/UniSim (donde predominan en cursos de operaciones unitarias, diseño y control) y un crecimiento de DWSIM como alternativa open-source en instituciones con restricciones licénciales. Al mismo tiempo, se extiende el uso de laboratorios virtuales y recursos VR/AR "REALIDAD AUMENTADA" como apoyo/exploración previa a la práctica, y de MyDispense en el eje clínico de Farmacia. En conjunto, la simulación acorta la distancia entre teoría y práctica, y habilita experiencias repetibles y seguras que median la transición a contextos reales.

El impacto formativo de la simulación se maximiza cuando su implementación obedece a un diseño pedagógico explícito y no al uso aislado de la herramienta así pues las intervenciones más efectivas cuentan con un diseño pedagógico explícito, con objetivos y criterios para una práctica guiada en el simulador teniendo presente el uso de la retroalimentación en tiempo oportuno así como la aplicación de rúbricas por competencias para mejorar la calidad de los informes con versionado semestral, metadatos e ítems de evaluación parametrizados favorece la escalabilidad y la consistencia entre grupos y sedes.

Las barreras observadas son de infraestructura y de licenciamiento, un escaso nivel de formación del profesorado, resistencia a los cambios metodológicos de variabilidad de los recursos disponibles. Desde el punto de vista de la evidencia, persiste la heterogeneidad de diseños, tamaños muestrales moderados y predominancia del autor-reportaje frente a los instrumentos validados y los seguimientos longitudinales, así como un escaso reporte de la "dosis instruccional" (tiempo efectivo, número de iteraciones, tipo de feedback), lo que impide la comparación de los estudios.

En contextos latinoamericanos y particularmente colombianos, la adopción estratégica de DWSIM y de VR/AR “REALIDAD AUMENTADA” de bajo costo ofrece una ruta viable para democratizar el acceso sin comprometer el rigor, ya que el impacto formativo de la simulación se maximiza cuando su implementación obedece a un diseño pedagógico explícito y no al uso aislado de la herramienta por tanto las intervenciones son más efectivas y se articulan en secuencias didácticas que reducen la dependencia de esfuerzos individuales y acelera la maduración curricular.

La revisión da cumplimiento al objetivo general ya que permitió el análisis con amplitud y criterio el uso de simuladores en la educación en procesos químicos farmacéuticos y afines e identifica qué herramientas utilizan al igual que se evidencia cuales son más eficaces; qué estrategias didácticas maximizan su impacto; y qué condiciones deben ser gestionadas según la forma en que se pretenda la adopción.

En definitiva, la simulación integrada con intenciones pedagógicas, evaluación auténtica y la gobernanza de los recursos fortalece de una forma contrastada el aprendizaje teórico-práctico, mejora la seguridad y hace posible estandarizar las experiencias a escala, manteniendo la adecuación formativa y el coste en la zona de confort.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento al profesor Ricardo Andres Tusso, por su valiosa orientación durante el desarrollo de este trabajo. Asimismo, agradezco a la Universidad Santiago De Cali por brindar el espacio académico necesario para la realización de este estudio.

## 6. DECLARACION DEL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El autor declara que utilizó IA para la generación de los gráficos.

## 7. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDIC. (2023). Chemical Engineering Transactions – Paper 23/100/103. AIDIC. <https://doi.org/10.3303/CET23100103>

Andreasen, A. (2022). Evaluation of an open-source chemical process simulator using a plant-wide oil and gas separation plant flowsheet model as basis. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 66(3), 503–511. <https://pp.bme.hu/ch/article/download/19678/9410>

Sreemahadevan, S., Sivakumar, K. V., & Palanisamy, M. (2024). *Evaluation of the Open Source Process Simulator DWSIM for Bioprocess Simulation*. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 68(2), 195-202. <https://doi.org/10.3311/PPch.23166>

Arief, N., Gustomo, A., Roestan, M. R., Aliya Putri, A. N., & Islamiaty, M. (2022). Pharma 4.0: Analysis on core competence and digital levelling implementation in pharmaceutical industry in Indonesia. *Heliyon*, 8(10), e10347. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(22\)01635-8?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844022016358%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(22)01635-8?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844022016358%3Fshowall%3Dtrue)

ARO – Koya University. (2023). Artículo 1098. Koya University. <https://aro.koyauniversity.org/index.php/aro/article/view/1098>

Reis, V., Baptista, J. S., & Duarte, J. (2025). *Immersive tools in engineering education—A systematic review*. *Applied Sciences*, 15(11), 6339. <https://doi.org/10.3390/app15116339>.

- Chantasiriwan, S. (2023). Simulation and optimization of vapor absorption refrigeration system using DWSIM. *Chemical Engineering Transactions*, 100, 613–618. <https://www.cetjournal.it/cet/23/100/103.pdf>
- Chen, Y., Yang, O., Sampat, C., Bhalode, P., Ramachandran, R., & Ierapetritou, M. (2020). Digital Twins in Pharmaceutical and Biopharmaceutical Manufacturing: A Literature Review. *Processes*, 8(9), 1088. <https://doi.org/10.3390/pr8091088>
- DWSIM Project. (2023). *Literature – DWSIM Wiki*. DWSIM. <https://dwsim.org/wiki/index.php?title=Literature>
- DWSIM Project. (s. f.). DWSIM – Open-Source Chemical Process Simulator. DWSIM. <https://dwsim.org/>
- Education Sciences. (2022). Artículo en Education Sciences. MDPI. <https://www.mdpi.com/2227-7102/12/8/572>
- Elford, D., Lancaster, S. J., & Jones, G. A. (2022). Fostering motivation toward chemistry through augmented reality educational escape activities: A self-determination theory approach. *Journal of Chemical Education*, 99, 3406–3417. <https://ueaeprints.uea.ac.uk/id/eprint/89303/1/acs.jchemed.2c00428.pdf>
- Elkhatat, A. M., & Al-Muhtaseb, S. A. (2022). Virtual mimic of lab experiment using the computer-based Aspen Plus® Sensitivity Analysis Tool to boost the attainment of experiment's learning outcomes and mitigate potential pandemic confinements. *Computer Applications in Engineering Education*, 31(2), 285–300. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cae.22583>
- Calderón, C. J., Camacho Luengas, D. A., & Reyna-González, J. M. (2025). *Using a process simulator to enhance the learning of heat exchanger design in fourth-semester chemical engineering students*. *Education for Chemical Engineers*, 53, 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2025.08.009>
- Fachado Abuín, J. R. (2018). *Planta de producción de paracetamol* [Trabajo de fin de grado, Universidade de Santiago de Compostela]. Repositorio USC. <http://hdl.handle.net/10347/17873>
- Gao, Q., Yang, H., Shanbhag, S. M., & Schweidtmann, A. M. (2023). Transfer learning for process design with reinforcement learning. *Computer Aided Chemical Engineering*, 52, 2005–2010. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978044315274050319X>
- FOSSEE / DWSIM project. (2025). Completed flowsheets. <https://dwsim.fossee.in/>
- Chicaiza Sagal, D. Y., & Chuquin Vasco, D. A. (2023). *Extractive distillation for separating N-hexane and ethyl acetate using NMP* [Proyecto de simulación de procesos]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. <https://dwsim.fossee.in/flowsheeting-project/dwsim-flowsheet-run/906>
- Karandikar, A. S. (2023). *Production of heptenes from propylene and butenes* [Proyecto de simulación de procesos]. Thadomal Shahani Engineering College. <https://dwsim.fossee.in/flowsheeting-project/dwsim-flowsheet-run/843>
- Serrano, A., Panchi, K., Ruiz, M., & Lopez, P. (2023). *Extractive distillation of an azeotrope of THF, ethanol and water* [Proyecto de simulación de procesos]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. <https://dwsim.fossee.in/flowsheeting-project/dwsim-flowsheet-run/858>
- Parra, F. (2022). *Kalina cycle with double turbine and reheating* [Proyecto de simulación de procesos]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. <https://dwsim.fossee.in/flowsheeting-project/dwsim-flowsheet-run/858>
- Gharib, A. M., Peterson, G. M., Bindoff, I. K., & Salahudeen, M. S. (2024). Exploring barriers to the effective use of computer-based simulation in pharmacy education: A mixed-methods case study. *Frontiers in Medicine*, 11, 1448893. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmed.2024.1448893/full>
- Gaspar, A., Bardiau, M., Herné, P., & Philippe, G. (2024). *Non-virtual simulation training and patient simulation existing for pharmacy students: A scoping review*. *Pharmacy Education*, 24(1), 91–145. <https://doi.org/10.46542/pe.2024.241.91145>

- Gaspar, A., et al. (2024). Simulación clínica: habilidades profesionales. FIP Pharmacy Education. <https://pharmacyeducation.fip.org/pharmacyeducation/article/view/2522>
- Ghidotti, V. (2022). *What digitalization means for the pharma industry*. *Pharma Manufacturing*. [https://www.pharmamanufacturing.com/industry-perspectives-sponsored/article/11287993/what-digitalization-means-for-the-pharma-industry?utm\\_source](https://www.pharmamanufacturing.com/industry-perspectives-sponsored/article/11287993/what-digitalization-means-for-the-pharma-industry?utm_source)
- Hassan, T. N., & Manji, S. F. (2023). Simulating combined cycle and gas turbine power plant under design condition using open-source software DWSIM: A comparative study. *ARO - The Scientific Journal of Koya University*, 11(1), 1–9. <https://aro.koyauniversity.org/index.php/aro/article/view/1098>
- Haynes, B. K., & Winsor, F. G. (2022). Simulation-based education: deceiving learners with good intent. *Advances in Simulation*, 7, Article 8. <https://doi.org/10.1186/s41077-022-00206-3>
- Johnson, T., et al. (2021). MyDispense: Dispensación/DI. PubMed Central (NIH/NLM). <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7931040/>
- Khera, H. K., Mannix, E., Moussa, R., & Mak, V. (2023). *MyDispense simulation in pharmacy education: A scoping review*. *Journal of Pharmaceutical Policy and Practice*, 16, 110. <https://doi.org/10.1186/s40545-023-00685-3>
- Keith, M., Keiller, E., Windows-Yule, C., Kings, I., & Robbins, P. (2025). *Harnessing generative AI in chemical engineering education: Implementation and evaluation of the large language model ChatGPT v3.5*. *Education for Chemical Engineers*, 51, 20–33. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2024.12.005>
- Khera, H. K., Sewell, K., Mak, V., & Malone, D. T. (2025). *Developing a framework for MyDispense implementation using the nominal group technique: Perspectives across student progression levels*. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 17(7), 102349. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187712972500070X>
- Khera, H. K., Mannix, E., Moussa, R., & Mak, V. (2023). *MyDispense simulation in pharmacy education: A scoping review*. *Journal of Pharmaceutical Policy and Practice*, 16, 110. <https://joppp.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40545-023-00618-0>
- Khera, H. K., et al. (2023). MyDispense virtual simulation improves pharmacy students' performance in patient safety competencies. *Journal of Pharmaceutical Policy and Practice*, 16(1), 68. <https://joppp.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40545-023-00618-0>
- Khera, H. K., McDowell, J., Marriott, J. L., & Schneider, C. (2023). MyDispense simulation in pharmacy education: A scoping review. *Journal of Pharmaceutical Policy and Practice*, 16, 103. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10540382/>
- Kim, E. J., et al. (2021). Process Analytical Technology tools for monitoring pharmaceutical manufacturing. *Journal of Pharmaceutical Innovation*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8234957/>
- Moodley, K. (2020). Improvement of the learning and assessment of the practical component of a Process Dynamics and Control course for fourth year chemical engineering students. *Education for Chemical Engineers*, 31, 1–10. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1749772819300685>
- Moudgalya, S. K. (2019). Educator supports in broadening participation in computing. In *Proceedings of the 2019 ACM Conference on International Computing Education Research* (pp. 343–344). ACM. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3291279.3339439>
- Moudgalya, K. (2021). Artículo en *Journal of Higher Education Theory and Practice*. North American Business Press. [https://www.na-businesspress.com/JHETP/JHETP21-2/17\\_MoudgalyaFinal.pdf](https://www.na-businesspress.com/JHETP/JHETP21-2/17_MoudgalyaFinal.pdf)

Navarro Pérez, D. J., Moreno Díaz, J. C., & Simeone Barrientos, P. A. (2022). *Enseñanza remota de emergencia en simulación de procesos con DWSIM: Un caso de estudio DIQ-UMAG, Patagonia chilena*. *Ciencias Básicas*, 27(2), 1–12. <https://doi.org/10.22517/23447214.25065>

NPTEL / IIT System. (2021). NPTEL – Course materials (Aspen Plus). NPTEL. <https://www.digimat.in/nptel/courses/video/103103209/L02.html>

O'Connor, T. F., Chatterjee, S., Lam, J., et al. (2024). An examination of process models and model risk frameworks for pharmaceutical manufacturing. *International Journal of Pharmaceutics*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39206253/>

Organización Panamericana de la Salud. (2020). *Salud en las Américas 2020*. OPS. <https://www.paho.org>

Phanudulkitti, C., et al. (2023). A systematic review on the use of virtual patient and computer-based simulation in pharmacy experiential education. *Pharmacy Education*, 23(3), 245–256. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10450516/>

Phanudulkitti, C., et al. (2023). *A systematic review on the use of virtual patient and computer-based simulation for experiential pharmacy education*. *Exploratory Research in Clinical and Social Pharmacy*, 11, 100316. <https://doi.org/10.1016/j.rcsop.2023.100316>

Li, J., & Liang, W. (2024). *Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: A meta-analysis*. *PLOS ONE*, 19(12), e0316269. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316269>

Kleine, K., & Pessot, E. (2023). *Virtualising labs in engineering education: A typology for structure and development*. *Higher Education Research & Development*, 42(1), 119–133. <https://doi.org/10.1080/07294360.2023.2228227>

Johnson, A. E., Barrack, J., Fitzgerald, J. M., Sobieraj, D. M., & Holle, L. M. (2021). Integration of a virtual dispensing simulator “MyDispense” in an experiential education program to prepare students for community introductory pharmacy practice experience. *Pharmacy*, 9(1), 48. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7931040/>

Amirthalingam, P., Mohamed, S. H. P., Veeramani, V. P., Thangam, M. M. N., Alanazi, M. F., Dhanasekaran, M., Mani, V., Prabakar, K., & Ali, M. A. S. (2025). Comparison of MyDispense with in-person simulation in drug information training of pharmacy curriculum – a randomized cross-over study. *BMC Medical Education*, 25, 356. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11892152/>

Bergman, E., Dürlich, L., Arthurson, V., Sundström, A., Larsson, M., Bhuiyan, S., Jakobsson, A., & Westman, G. (2023). BERT based natural language processing for triage of adverse drug reaction reports shows close to human-level performance. *PLOS Digital Health*, 2(12), e0000409. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38055685/>

Ramos, B., & Condotta, R. (2024). Enhancing learning and collaboration in a unit operations course: Using AI as a catalyst to create engaging problem-based learning scenarios. *Journal of Chemical Education*, 101(8), 3246–3254. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.4c00244>

Solmaz, S., Dominguez Alfaro, J. L., Santos, P., Van Puyvelde, P., & Van Gerven, T. (2021). A practical development of engineering simulation-assisted educational AR environments. *Education for Chemical Engineers*, 35, 81–93. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1749772821000075>

Suthar, K. J., & Joshipura, M. H. (2023). The integrative approach of learning chemical engineering thermodynamics by using simulation-based exercises. *Education for Chemical Engineers*, 45, 122–129. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S174977282300043X>

Shao, M., & Shiflett, M. B. (2021). A student-led approach to integrate ASPEN Plus® in the chemical engineering curriculum at The University of Kansas. *Chemical Engineering Education*, 55(1), 12–17. <https://journals.flvc.org/cee/article/view/120711>

- Silva, A. C., Marques, C. M., & de Sousa, J. P. (2023). A simulation approach for the design of more sustainable and resilient supply chains in the pharmaceutical industry. *Sustainability*, 15(9), 7254. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/9/7254>
- Solmaz, S., et al. (2021). A practical development of engineering simulation-assisted e-learning. *Education for Chemical Engineers*, 36, 1–10. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1749772821000075>
- Selcuk, A., Ozturk, N., Onal, N., Bozkir, A., & Aksoy, N. (2025). *Online simulation versus traditional classroom learning in clinical pharmacy education: Effect on students' knowledge, satisfaction, and self-confidence*. *BMC Medical Education*, 25, 437. <https://doi.org/10.1186/s12909-025-07028-7>
- Tang, P., Zhang, C., Du, Y., Xu, Y., Wang, M., Yu, H., Zhang, X., Gong, J., Zhang, H., & Sun, X. (2025). *Enhancing experimental teaching of  $\beta$ -interferon synthesis through a virtual simulation platform: Application and effectiveness analysis*. *Education for Chemical Engineers*, 53, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2025.08.005>
- Bano, F., Alomar, M. A., Alotaibi, F. M., Serbaya, S. H., Rizwan, A., & Hasan, F. (2024). Leveraging virtual reality in engineering education to optimize manufacturing sustainability in Industry 4.0. *Sustainability*, 16(18), 7927. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/18/7927>
- Suthar, K. J., & Joshipura, M. H. (2023). The integrative approach of learning chemical engineering thermodynamics by using simulation-based exercises. *Education for Chemical Engineers*, 45, 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2023.09.001>
- Suthar, K. J., et al. (2023). The integrative approach of learning chemical engineering with open-source simulators. *Education for Chemical Engineers*, 45, 208–219. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2023.09.001>
- Tabulov, C., Vascimini, A., & Ruble, M. (2023). Using a virtual simulation platform for dispensing pediatric prescriptions in a community-based pharmaceutical skills course. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 15(12), 1052–1059. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877129723002903>
- U.S. Food and Drug Administration. (2023). Advancing regulatory science at FDA: Focus areas of regulatory science. FDA. <https://www.fda.gov/science-research/focus-areas-regulatory-science-report/focus-area-artificial-intelligence>
- Uhlemann, J., Diedam, H., Hoheisel, W., Schikarski, T., & Peukert, W. (2021). Modeling and simulation of process technology for nanoparticulate drug formulations—A particle technology perspective. *Pharmaceutics*, 13(1), 22. <https://www.mdpi.com/1999-4923/13/1/22>
- UNESCO. (2017). *Issues and trends in Education for Sustainable Development: From Agenda 21 to Target 4.7*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261445>
- University of Colorado Boulder. (2024). LearnChemE (portal de recursos). LearnChemE. <https://learncheme.com/>
- Vranckx, S., et al. (2023). Exploiting Pharma 4.0 Technologies in the Non-Biological Complex Drugs Manufacturing: Innovations and Implications. *Pharmaceutics*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38004525/>
- World Health Organization. (2023). World health statistics 2023. WHO. <https://data.who.int/indicators>
- Yang, C., Zhang, J., Hu, Y., Yang, X., Chen, M., & Shan, M. (2024). *The impact of virtual reality on practical skills for students in science and engineering education: A meta-analysis*. *International Journal of STEM Education*, 11, 28. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00487-2>
- Yuriev, E., Mason, S., & Naiker, M. (2024). The dawn of generative artificial intelligence in chemistry education. *Journal of Chemical Education*, 101, 1–6. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.4c00836>
- Zhan, W., & Wang, C.-H. (2022). Multiphysics simulation in drug development and delivery. *Pharmaceutical Research*, 40, 611–613. <https://doi.org/10.1007/s11095-022-03330-x>