



CONGRESO CIDUI 2025: Docentes de hoy para la universidad de mañana

**INNOVACIÓN DOCENTE EN INGENIERÍA QUÍMICA: APLICACIÓN DE SIMULACIONES
DIGITALES PARA MODELIZAR ACCIDENTES INDUSTRIALES**

**TEACHING INNOVATION IN CHEMICAL ENGINEERING: APPLICATION OF DIGITAL
SIMULATIONS TO MODEL INDUSTRIAL ACCIDENTS**

Nieto-Sandoval, Julia (ORCID: 0000-0002-5910-0634); Marco, Pilar (ORCID: 0000-0002-2237-7197)

Universitat de Barcelona, Dept. Ingeniería Química y Química Analítica,

Facultat de Química

julia.nietosandoval@ub.edu

RESUMEN:

Los accidentes químicos representan un riesgo significativo en la industria, con consecuencias humanas, ambientales y económicas. En el contexto de la transformación digital de la docencia, este proyecto de la Universitat de Barcelona incorpora la aplicación de un software para simular accidentes como incendios y explosiones. A través de herramientas digitales, el alumnado pueden modelizar escenarios de riesgo, complementando la teoría con simulaciones. En este contexto se realizaron sesiones de aprendizaje interactivas, charlas de profesionales del sector y resolución de casos de estudio. Los resultados evidenciaron una mejora en la comprensión de riesgos, favoreciendo un aprendizaje activo, visual y digital.

ABSTRACT:

Chemical accidents pose a significant risk in the industry, with human, environmental, and economic consequences. In the context of the digital transformation of education, this project at the Universitat de Barcelona incorporates the application of software to simulate accidents such as fires and explosions. Through the integration of digital tools, students can model risk scenarios, complementing theory with practical simulations. Interactive learning sessions, industry expert talks, and case study resolutions have been conducted. The results demonstrated an improvement in the understanding of risks, promoting active, visual, and digital learning.



CONGRESO CIDUI 2025: Docentes de hoy para la universidad de mañana

PALABRAS CLAVE:

accidentes químicos, aprendizaje interactivo, educación tecnológica, modelización, simulación de riesgos, transformación digital.

KEYWORDS:

chemical accidents, interactive learning, educational technology, modeling, Risk simulation, digital transformation.

DESARROLLO:

1. Introducción

Los accidentes químicos representan una amenaza constante en la industria, con potenciales consecuencias humanas, ambientales y económicas significativas (Baraza et al., 2022). La modelización de estos eventos permite adquirir herramientas críticas para comprender, predecir y mitigar los riesgos asociados a las operaciones industriales (Ocampo-López et al., 2023; García-Fayos et al., 2020). En este contexto, la modelización de estos eventos se ha convertido en una herramienta crucial para la comprensión y la gestión de los riesgos asociados a las operaciones industriales. A través de la simulación y el análisis de escenarios, los profesionales pueden simular el comportamiento de sustancias químicas bajo diversas condiciones y explorar diferentes estrategias de intervención. Esto no solo mejora la capacidad para prevenir accidentes, sino que también facilita la toma de decisiones informadas sobre medidas de seguridad, planificación de emergencias y diseño de sistemas industriales más seguros, reduciendo así el impacto de posibles incidentes en la salud humana, el medio ambiente y las infraestructuras (Guerrero-Pérez, 2023).

Tradicionalmente, la enseñanza de estas modelizaciones se ha centrado en conceptos teóricos y cálculos manuales, fundamentales para comprender la complejidad de las variables involucradas (Andrés et al., 2025). No obstante, la integración de simulaciones digitales proporciona un enfoque más realista y dinámico, ya que permite considerar múltiples parámetros al mismo tiempo y ofrecer resultados detallados de manera rápida y eficiente (Xu et al., 2025). Estas herramientas, además, facilitan la creación de mapas de zonificación y otros resultados visuales, promoviendo un aprendizaje visual-espacial, experimental y activo, en línea con los principios del aprendizaje digital. Asimismo, existen estudios previos que evidencian los beneficios del aprendizaje activo, que favorece una mayor motivación y comprensión por parte del alumnado. Este tipo de formación fomenta la participación activa y la resolución de problemas en contextos reales, lo que potencia el desarrollo de habilidades críticas y analíticas. Como resultado, se incrementa la retención de conceptos y la capacidad de aplicar los conocimientos adquiridos en situaciones prácticas (Hernández-de-Menéndez et al., 2019).



CONGRESO CIDUI 2025: Docentes de hoy para la universidad de mañana

En este contexto, la Facultad de Química de la Universitat de Barcelona ha impulsado iniciativas estratégicas para desarrollar actividades formativas que integren aprendizaje activo y tecnologías digitales (Bodnar et al., 2021). Como parte de este enfoque, el proyecto titulado "Modelización de accidentes en la industria química: comprendiendo sus consecuencias a través de la simulación" utiliza técnicas avanzadas de simulación para enriquecer la enseñanza en asignaturas relacionadas con la seguridad industrial (Skjold, 2025; Amaya-Gómez et al., 2019).

Para ello, se ha seleccionado el software EFFECTS (acrónimo de "Explosion and Fire Effects to Safety"), desarrollado por Gexcon, como herramienta clave. Este software permite evaluar y predecir las consecuencias de los accidentes graves en la industria química, explosión, incendio y fuga, mediante el uso de modelos científicos y matemáticos avanzados. Al incorporar información detallada sobre las instalaciones, condiciones ambientales y características de los productos químicos involucrados, EFFECTS facilita simulaciones precisas que facilita el análisis de riesgos y la selección de medidas de prevención y protección. Su sencilla interfaz facilita la configuración de modelos, la visualización gráfica de resultados y la generación de informes, lo que aumenta su accesibilidad y aplicabilidad en entornos educativos.

Las principales funcionalidades de EFFECTS, modelado de los accidentes graves y análisis de riesgos, permiten al alumnado simular escenarios complejos, calcular efectos como sobrepresión o radiación térmica, y evaluar las consecuencias de estos eventos tanto en la salud humana como en el medio ambiente.

El objetivo principal del proyecto es aplicar la digitalización en la simulación de las variables de los fenómenos de tipo mecánico, térmico y químico y el análisis de la vulnerabilidad en la salud humana y el medio ambiente, a través del estudio de casos (Qian et al., 2023). Esta metodología tiene como propósito conectar los conceptos teóricos con aplicaciones prácticas, motivando al alumnado mediante el uso de herramientas profesionales ampliamente utilizadas en sectores como la petroquímica, el gas y petróleo, la industria química en general, la minería y la generación de energía (Amaya-Gómez et al., 2023). Además, el enfoque fomenta el trabajo en equipo, fortaleciendo habilidades interpersonales y desarrollando competencias clave para un desempeño profesional destacado en el ámbito industrial. De manera complementaria, este proyecto busca cultivar habilidades técnicas y de pensamiento crítico, integrando la modelización de accidentes químicos en el plan de estudios con el fin de preparar a los futuros profesionales para enfrentar los desafíos de seguridad en la industria química y de procesos (Abedsoltan et al., 2024). La integración gradual de simulaciones en las asignaturas ofrece la posibilidad de complementar la enseñanza teórica con experiencias de aprendizaje relevantes, estableciendo una conexión más estrecha entre el alumnado y el entorno profesional (Reyna, 2024).



2. Método

El presente proyecto ha sido implementado en diferentes asignaturas de la Facultad de Química de la Universitat de Barcelona del Máster en Ingeniería Ambiental y el Máster en Ingeniería Química, concretamente en “Análisis y Estimación del Riesgo”, “Procesos Industriales y Gestión Ambiental” y “Procesos Industriales y Medio Ambiente”. Este enfoque surge en respuesta a la creciente demanda de integrar herramientas avanzadas que optimicen el aprendizaje y permitan impactar positivamente en un número significativo de estudiantes de diversos programas académicos. El alumnado de este estudio se corresponde a estudiantes con una titulación en ingeniería química, ciencias ambientales, ingeniería ambiental u otras enseñanzas afines con conocimientos en matemáticas, física, química e ingeniería química.

La metodología se basa en un enfoque progresivo y estructurado que combina teoría, práctica, trabajo en equipo y evaluación activa:

1. Introducción teórica: Se estableció un marco conceptual inicial sobre seguridad química y accidentes industriales, conforme a los contenidos descritos en el plan docente de las asignaturas.
2. Sesión informativa: El alumnado recibió una introducción sobre el propósito del caso de estudio y la relevancia de utilizar software de simulación. Para esta etapa, se contó con la participación de profesionales del sector, quienes aportaron perspectivas prácticas.
3. Presentación del caso de estudio: Se describió el caso de estudio seleccionado, proporcionando datos relevantes, contexto y evidencias del accidente químico. Además, se organizaron grupos de trabajo, definiendo roles, responsabilidades y recursos disponibles para garantizar una experiencia colaborativa efectiva.
4. Demostración del software: El alumnado recibió una demostración del software EFFECTS, enfatizando sus características y funcionalidades clave para modelizar accidentes químicos, como incendios, explosiones o dispersiones.
5. Desarrollo del modelo de simulación en grupo: Cada grupo trabajó en la construcción del modelo de simulación bajo la supervisión del profesorado. Esta etapa aseguró que el alumnado aplicara adecuadamente los conceptos teóricos y utilizara el software de forma efectiva.
6. Debriefing: Una vez completada la simulación, se analizaron los resultados, destacando variables clave, patrones observados y lecciones aprendidas en términos de seguridad química. Esta etapa promovió la discusión activa entre los participantes y fomentó la retroalimentación constructiva.
7. Evaluación del aprendizaje: Se aplicaron cuestionarios para medir la comprensión teórica como la capacidad de aplicar el software en situaciones prácticas. Además, se utilizaron recursos visuales por parte del profesorado para mejorar la interpretación de los resultados.



CONGRESO CIDUI 2025: Docentes de hoy para la universidad de mañana

La eficacia de la metodología, así como sus ventajas e inconvenientes, se ha evaluado mediante el análisis de dos cuestionarios realizado al alumnado que han seguido la metodología implantada.

El proyecto se encuentra en su etapa final, habiendo sido implementado durante un año y medio de los dos años previstos. En este período, se aplicó en las asignaturas previamente mencionadas, siguiendo la metodología detallada y esquematizada en la Figura 1. Asimismo, para evaluar la metodología propuesta se han realizado encuestas al estudiantado antes y después de su implementación.



Figura 1. Esquema de aplicación de la propuesta en clase.

La metodología aplicada se resume en tres etapas (Figura 1). La primera hace referencia a los resultados de aprendizaje que el estudiantado adquiere en seguridad industrial, en esta etapa el profesorado utilizará distintas metodologías docentes, actividades formativas y sistemas de evaluación específicos de la materia. La segunda etapa el estudiantado se introduce en el uso del simulador a partir de una serie de seminarios. En dicha etapa, se puede ir probando in situ el interfaz y las posibilidades que les proporciona el software a medida que el personal docente desarrolla las explicaciones en un aula de informática.

A continuación, se les propone una serie de casos, de manera que puedan ir enfrentándose a los posibles problemas que más adelante tendrán que afrontar en un análisis de riesgo. Por último, compararán todos sus resultados de manera que puedan discutir las posibles diferencias y sus causas. La última etapa consiste en la toma de datos a partir de los cuestionarios individuales, pre-post, que abordan dos dimensiones de análisis diferente. El cuestionario inicial es el barómetro para evaluar los conocimientos teóricos en modelización de accidentes del alumnado y, el cuestionario final indica el nivel alcanzado del alumnado en cuanto a competencias, conocimientos, habilidades y actitudes que se deben tener una vez finalizado el aprendizaje. El primer cuestionario consta de seis ítems con cinco posibles grados de conformidad con la afirmación realizada, siendo 1 el más bajo y 5 el más alto. El cuestionario final presenta como en el inicial cinco posibles grados de conformidad y valora 9 ítems.



3. Resultados y discusión

En este apartado, se presenta los principales resultados, de forma resumida, obtenidos hasta el momento. A continuación, se presentan los datos obtenidos en el estudio de un caso, incluyendo la modelización del accidente grave, así como los resultados de las encuestas realizadas al alumnado. Además, una vez analizados los datos obtenidos de estas encuestas, permitieron valorar la percepción del estudiantado respecto a la metodología utilizada y su experiencia con las herramientas de simulación.

Uno de los casos de estudio propuestos se basó en la modelización de un accidente de incendio de charco en un depósito de gasolina. Para contextualizar la actividad y fomentar la implicación del estudiantado, se seleccionó una localidad cercana al alumnado en la ciudad de Barcelona, con condiciones meteorológicas probables en dicha ubicación. Inicialmente, el estudiantado modelizó el accidente utilizando las indicaciones propuestas y estimó las consecuencias para una persona situada a una distancia específica del siniestro.

La información requerida fue introducida y procesada en el software EFFECTS (versión 12.2.0 de Gexcon). Tras la simulación, se obtuvieron resultados clave que fueron recogidos e interpretados. El software, con su interfaz gráfica intuitiva, facilitó tanto la configuración de los modelos como la visualización de los resultados. Los datos generados se presentaron en forma de informes detallados, gráficos y mapas de zonificación, los cuales también podían exportarse a otras plataformas para un análisis más exhaustivo (ver Figura 2).

Para fomentar un análisis crítico y una discusión reflexiva de los resultados, se evaluaron diversos parámetros, como el porcentaje de derrame de gasolina, la distancia de recepción, el tiempo de exposición y la influencia de las condiciones meteorológicas. Esto permitió identificar si los resultados obtenidos eran consistentes con los valores esperados y comprender las limitaciones del modelo.

El enfoque no solo se centró en el uso técnico del software, sino también en desarrollar habilidades analíticas y de pensamiento crítico en el alumnado. La actividad les permitió interpretar resultados más allá de los cálculos automáticos, analizando las variables involucradas y discutiendo las implicaciones de los escenarios simulados.



CONGRESO CIDUI 2025: Docentes de hoy para la universidad de mañana

Parameters					
Inputs					
Process Conditions					
Chemical name	Winter Grade Gasoline Sample (Sample mixtures)				
Calculation Method					
Type of pool fire calculation	Pool fire model Yellow Book				
Type of pool fire source	Instantaneous				
Fraction combustion heat radiated (-)	0.35				
Soot definition	Calculate/Default				
Source Definition					
Total mass released (kg)	3000				
Temperature of the pool (°C)	15				
Process Dimensions					
Type of pool shape (pool fire)	Circular				
Max. pool fire surface area (m2)	1500				
Height of the confined pool above ground level (m)	0				
Meteo Definition					
Wind speed at 10 m height (m/s)	2				
Predefined wind direction	W				
Environment					
Ambient temperature (°C)	30				
Ambient pressure (bar)	1.0151				
Ambient relative humidity (%)	80				
Vulnerability					
Maximum heat exposure duration (s)	15				
Take protective effects of clothing into account	No				
Accuracy					
Grid resolution	Low				
Reporting					
Reporting/receiver height (Zd) (m)	1.6				
Reporting/receiver distance (Xd) (m)	50				
Results					
Fire Results					
Equivalent diameter of fire (m)	31.969				
Flame footprint dimensions D, D.DMW,MW	38-16:11:32				
Calculated pool fire surface area (m2)	802.71				
Combustion rate of the chemical (kg/s)	53.782				
Duration of the fire (s)	55.781				
Surface emissive power flame (kW/m2)	52.696				
Soot fraction used (-)	0.8				
Flame tilt (deg)	36.548				
Flame temperature (°C)	710.91				
Length of the flame (m)	37.782				
(Max) Heat radiation level at Xd (kW/m2)	9.4158				
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	68.292				
(Max) Viewfactor at Xd (-)	0.26164				
Heat radiation dose at Xd (s*(kW/m2) ^{4/3})	298.24				
Percentage first degree burns at Xd (%)	56.828				
Percentage second degree burns at Xd (%)	0.08505				
Percentage lethal burns at Xd (%)	0.065242				
Distance to clothing burning dose (m)	22.481				
Contour dimensions					
Heat radiation contours					
Names	Max. dist [m]	Min. dist [m]	Dist. width [m]	Max. width [m]	Value [kW/m2]
10 kW/m2 heat radiation contour	49	-28	7	69	10
Lethality contours					
Names	Max. dist [m]	Min. dist [m]	Dist. width [m]	Max. width [m]	Value [%]
1 % lethality contour	45	-26	7	62	1
Other information					
Main program	EFFECTS 12.2.0.23101 university edition				
Last calculation	04/05/2024 5:45:23 pm				
Last duration	0s 867ms				
Chemical database					
Chemical source	Sample mixtures				
Chemical source date	01/03/2015				

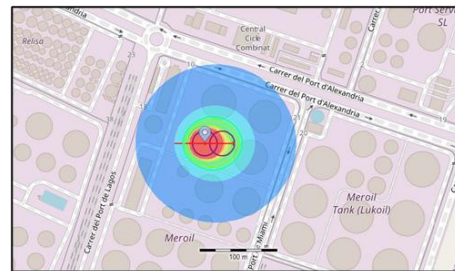
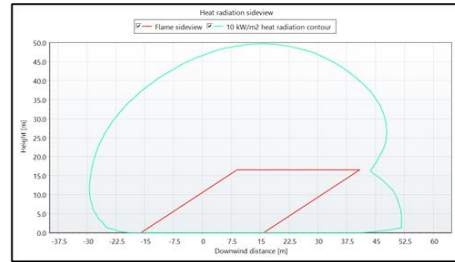


Figura 2. Resultados obtenidos de la modelización a través del software EFFECTS.

En lo que respecta a la evaluación de la metodología se llevaron a cabo encuestas anónimas tanto antes de la sesión de introducción del software como después del desarrollo del caso de estudio para conocer la opinión del alumnado en dos cursos académicos consecutivo (2023/24 y 2024/25). Los resultados indicaron que el estudio del caso, y las clases de formación en el software fueron las metodologías docentes más valoradas, mientras que las actividades de simulación, charla de experto del sector y trabajo en equipo se destacaron como herramientas clave en la docencia digital. Destacar que menos del 20% de los encuestados tenían conocimientos en Seguridad y más de la mitad de los encuestados considera necesario clases expositivas dónde se explican conceptos y se desarrollan herramientas básicas para la estimación de los riesgos de los accidentes graves. Asimismo, en relación al software EFFECTS entre el 60 y 70% del alumnado no contaba con conocimientos previos del mismo. Por su parte, una vez desarrollada la propuesta, la realización del caso de estudio resultó ser la actividad de mayor interés entre las realizadas. Además, el 75% del alumnado consideró que se habían afianzado los conocimientos teóricos previamente impartidos, y más de un 85% que resultaba de utilidad para su futuro profesional.



4. Conclusiones

En conclusión, la introducción de esta herramienta de simulación a través de casos de estudio ha fomentado la experimentación, el aprendizaje activo y el aprendizaje visual-espacial en el alumnado, lo cual ha sido valorado positivamente a través de encuestas que permitieron recopilar su retroalimentación.

Este proyecto, además, está diseñado para ser implementado en un número significativo de asignaturas, con el objetivo de promover la aplicación de metodologías docentes de aprendizaje activo en entornos digitales. Existe, por tanto, una demanda clara y una necesidad de utilizar esta herramienta para ampliar el aprendizaje a un mayor número de estudiantes de diversas enseñanzas. La metodología aplicada, junto con el aprendizaje adquirido por el profesorado durante su implementación, también podría extenderse al uso de otros softwares de simulación, con distintos fines, que son comúnmente empleados en el campo de la ingeniería.

Respecto a los recursos tecnológicos, dado que los softwares de simulación para la modelización de accidentes químicos están completamente desarrollados y son aplicables en el ámbito empresarial, se encuentran actualmente disponibles para su comercialización. El acceso a estos programas es inmediato, ya que cuentan con licencias en la nube que facilitan su instalación y permiten su uso en diferentes dispositivos.

En resumen, la propuesta de esta metodología ha generado resultados positivos en términos de comprensión conceptual, desarrollo de habilidades prácticas, motivación y transferencia de conocimientos. Además, tiene el potencial de ser transferible a otras asignaturas y generar un impacto significativo en la seguridad industrial.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen al programa RIMDA de la Universitat de Barcelona por la concesión del proyecto de digitalización 2023DIG-UB/003.



CONGRESO CIDUI 2025: Docentes de hoy para la universidad de mañana

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Baraza, X., Giménez, J., Pey, A., Rubiales, M. Lessons learned from the Barracas accident: Ammonium nitrate explosion during road transport. *Process Saf Prog.* 2022 41(3), 519-530. <https://doi.org/10.1002/prs.12396>

Ocampo-López, C.; Forero-Gaviria, L., Gañán-Rojo, P. , Martínez-Arboleda, J., Castrillón-Hernández, F. Incorporating process safety into a Colombian chemical engineering curriculum: A perception study. *Educ. Chem. Eng.* (2023) 44, 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2023.04.004>

García-Fatos, B., Arnal, J.M., Sancho, M., Ruvira, B. Process safety training for chemical engineers in Sapin: Overview and the exemple of the polytechnic university of Valencia. *Educ. Chem. Eng.*, (2020), 33. 78-90. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.08.001>

Guerrero-Pérez, J. Imperative of Integrating Process Safety Education in Chemical Engineering Curricula. *ACS Omega* (2023) 8(50), 47318–47321. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c07750>

Andrés, G. D., Cherniz, A. S., Gareis, F., y Tossolini, I. del R. Estrategias de innovación pedagógica en carreras presenciales: tensiones entre presencialidad y virtualidad. *EduTec - Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 91 (2025), 70-80. <https://doi.org/10.21556/edutec.2025.91.3589>

Xu, F., Wenhui, K., Pei, J. Exploring the effect of digitization on education: An empirical analysis based on PISA 2022, *Educ. Inf. Technol.* (2025). <https://doi.org/10.1007/s10639-025-13414-x>

Hernández-de-Menéndez, M., Vallejo Guevara, A., Tudón Martínez, J.C. et al. Active learning in engineering education. A review of fundamentals, best practices and experiences. *Int. J. Interact. Des. Manuf.* (2019) 13, 909–922. <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00557-8>

Bodnar, Ch., Liauw, M., Sainio, T. Digitalisation in chemical engineering education and training, *Educ. Chem. Eng.* (2021) 36, 202-203. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2021.06.003>.

Skjold, T, Teaching process safety in the twenty-first century. *J. Loss Prev. Process. Ind.* 94 (2025), 105538. <https://doi.org/10.1016/j.jlpi.2024.105538>



CONGRESO CIDUI 2025: Docentes de hoy para la universidad de mañana

R. Amaya-Gómez, R., Dumar, V., Sánchez-Silva, M., Romero, R., Arbeláez, C., Muñoz, F. Process safety part of the engineering education DNA. Educ. Chem. Eng., 27 (2019), pp. 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2019.02.001>

Qian, Y., Vaddiraju, S., [Khan, F.](#) Safety education 4.0 – A critical review and a response to the process industry 4.0 need in chemical engineering curriculum. Saf. Sci. 161 (2023), 106069. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106069>

Amaya-Gómez, R., Dumar, V., Sánchez-Silva, M., Torres-Cuello, M.A., Avila, A., Muñoz, F. An analysis of engineering students' risk perception to support process safety learning process, Educ. Chem. Eng. (2023) 42, 7-19. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2022.10.003>

Abedsoltan, H., Abedsoltan, A., Zoghi, Z. Future of process safety: insights, approaches, and potential developments. Process. Saf. Environ. Protect. 185 (2024), 684-707. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.03.034>

Reyna, J. La simulación como método de enseñanza en la carrera Ingeniería de Sistemas. Revista de Educación Simón Rodríguez (2024) 4, 63-75. <http://doi.org/10.62319/simonrodriguez.v.4i7.29>