

ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS PARA INCORPORAR ASPEN HYSYS EN EL PLAN DE ESTUDIOS DE LA CARRERA DE PREGRADO DE INGENIERÍA CIVIL QUÍMICA

Daniela Navarro Pérez, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Magallanes, daniela.navarro@umag.cl

Hugo Llerena Chávez, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Magallanes, hugo.llerena@umag.cl

RESUMEN

Se analiza tres estrategias de incorporación de Aspen HYSYS en el plan de estudios de la carrera de pregrado de Ingeniería Civil Química, con la finalidad que los alumnos terminen su carrera con el mayor nivel de usuario del simulador. Se establece que el alumno puede obtener un nivel de usuario experto si se incorpora HYSYS en los cursos de Operaciones Unitarias; un nivel de usuario avanzado-experto si se incorpora en los cursos de Laboratorio de Procesos y finalmente, un nivel avanzado si se incorpora en el curso de Modelamiento y Simulación de Procesos.

Se describe la estrategia implementada por el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Magallanes, en las asignaturas finales de la carrera y la intención de cambiar de estrategia, incorporando HYSYS en asignaturas de Operaciones Unitarias.

PALABRAS CLAVES: simulación de procesos, Aspen HYSYS, innovación docente, Ingeniería Química.

1. INTRODUCCIÓN

La incorporación de simuladores de procesos en los cursos de pregrado como parte de los planes de estudios de las carreras de Ingeniería Química es cada vez más frecuente (Shacham et al., 2009 y Dahm et al., 2002). De igual forma, a nivel industrial, los simuladores de procesos químicos son ampliamente usados por la industria. Un ejemplo de estos simuladores es Aspen HYSYS (Fernandes, 2002 y Rockstraw, 2005), el cual es un simulador de procesos principalmente utilizado por la industria del petróleo & gas, debido a su amplia gama de paquetes termodinámicos. Además, otras industrias del rubro como química, energía, alimentos entre otras, también lo utilizan (Rockstraw, 2005). HYSYS permite simular procesos industriales tanto en estado estacionario como en estado dinámico, implementar lazos de control, optimizar procesos, dimensionar operaciones unitarias y estimar los costos de equipos entre otras ventajas.

Sin embargo, HYSYS no es un software de fácil manejo, requiere de conocimientos específicos de ingeniería química. Según Fernandes (2002), el auto-aprendizaje por partes de los alumnos no es un buen método, y establece que el primer contacto puede ser muy frustrante sin una supervisión. Por lo que es importante establecer en dónde incorporar el uso de HYSYS dentro del plan de estudios de la carrera de pregrado, de tal forma que el estudiante adquiera la capacidad y las competencias ingenieriles de utilizarlo, y, que al egresar su nivel de usuario sea el más avanzado posible.

En esta misma línea, hay que destacar que la industria se adapta muy lentamente a los avances tecnológicos. Por el contrario, los simuladores de procesos comerciales se adaptan rápidamente a las necesidades de la industria. En otras palabras, la evolución de los simuladores de procesos como HYSYS tiene una dinámica más rápida, principalmente por la incorporación de nuevas herramientas específicas como optimización, costos, control, entre otras. Como ya se estableció, es importante que los egresados manejen adecuadamente

simuladores como HYSYS, pero además, que egresen conociendo las nuevas herramientas que son incorporados en sus nuevas versiones.

Rockstraw (2005) establece que la industria de procesos en Norte América, considera el nivel de conocimiento (nivel de usuario) de HYSYS para la selección de sus nuevos ingenieros. En la Patagonia Argentina y Chilena, las principales industrias están relacionadas con el petróleo & gas y, es un requisito tener un alto nivel de usuario de HYSYS para los ingenieros que desean postular a trabajos en estas industrias. Todo esto nos conlleva a plantear este trabajo, cuyo objetivo es analizar las posibles estrategias de incorporación de HYSYS dentro del plan de estudios (objetivo también aplicable para otros simuladores de procesos) de la carrera de pregrado de Ingeniería Civil Química del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Magallanes, con la finalidad de lograr que los egresados adquieran el mayor nivel de usuario (básico, intermedio, avanzado y experto). Y, por lo tanto, tengan mayores competencias a nivel industrial.

1.1 ASPEN HYSYS

El simulador comercial Aspen HYSYS, actualmente pertenece al paquete aspenONE de empresa canadiense Aspentech. Está posicionado como un simulador de procesos industriales líder en el mercado mundial, por más de veinticinco años, utilizado principalmente en la industria del petróleo & gas, refinerías y compañías ingenieriles de optimización de procesos en el diseño y operatividad. Además, cuenta con una serie de aplicaciones de complementos opcionales, tales como;

- *Aspen HYSYS Acid Gas Cleaning:* Simula y optimiza procesos de endulzamiento de gas que involucra solventes como aminas o similares.
- *Aspen HYSYS Upstream:* Entrega soluciones específicas de exploración y producción de crudo de petróleo, a través de ingreso de datos de campo en un ambiente de fácil uso para crear modelos de pozos.
- *Aspen HYSYS Crude:* Permite la simulación de ensayos y columnas de crudos de petróleo.
- *Aspen HYSYS Dynamics:* Permite el estudio de control y seguridad, análisis de alivio de presión, optimización de políticas de puesta en marcha y apagado de plantas.
- *Activated Energy Analysis:* Permite analizar modelos de servicios de enfriamiento y calentamiento junto con los costos de emisiones de gases de efecto invernadero, y proponer diseños de mejora de minimización de energía.
- *Activated Economic Analysis:* Permite estimar los costos de las operaciones unitarias asociadas, entregando costos de equipo, material, horas hombres y de instalación. Además, permite el realizar estudios de análisis de pre factibilidad económica agregando los indicadores económicos como la tasa de retorno interna.

En la figura 1 se muestra como ejemplo una pantalla del Aspen HYSYS con activación económica, energética y de modelamiento de intercambiadores de calor, con la finalidad de destacar las ventajas y cualidades del software.

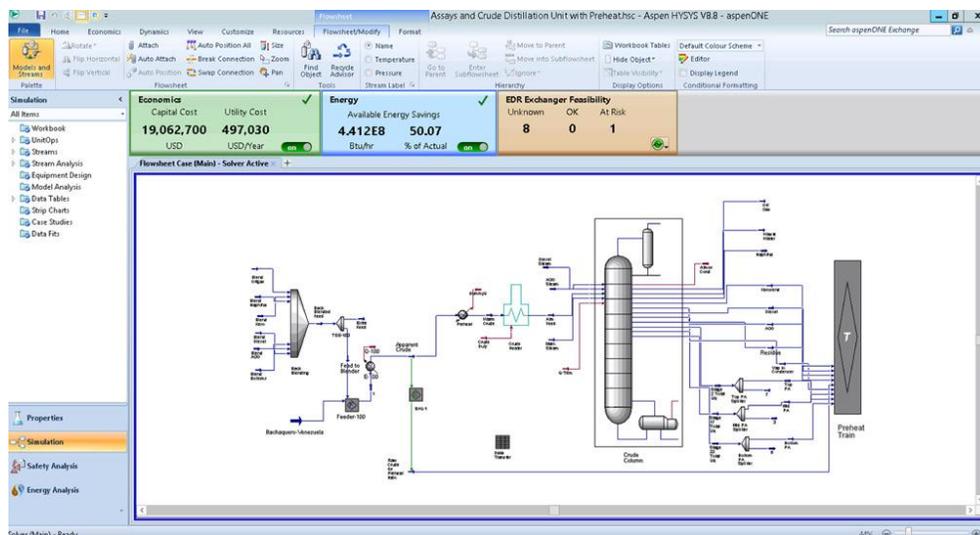


Figura N° 1. Vista general del software HYSYS.

HYSYS por ser un software de simulación de procesos, cuenta con varios equipos de operaciones unitarias tales como: segmento de tuberías, válvulas, bombas, intercambiadores de calor, reactores, columnas de destilación, entre otros. Permite establecer balances de masa y energía, entre otras operaciones. Además, HYSYS puede caracterizar los fluidos puros a través del ambiente de *Properties*, como también crear componentes hipotéticos u sólidos. También, puede caracterizar crudos de petróleo, ingresar reacciones con diferentes tipos de cinéticas, incluso, permite agregar propiedades de usuario que no tenga HYSYS predeterminado. Una de las grandes cualidades de HYSYS, es que cuenta con diferentes paquetes termodinámicos que permite representar adecuadamente el comportamiento de un fluido o mezcla de diferentes procesos.

Los ambientes de simulación de HYSYS son muy amigables y permite construir diagramas de procesos junto con corrientes de materias y energía con facilidad, ya que solo basta seleccionar el equipo y/o la corriente. La simulación puede ser en estado estacionario y luego pasar a estado dinámico, de manera de incorporar lazos de control de diferentes lógicas. También, permite analizar las corrientes en diferentes aplicaciones como el punto de burbuja, punto de rocío, caída de presión por longitud de tubería, formación de hidratos en la línea, entre otros.

Aspentech ha incorporado aplicaciones de los diferentes simuladores económicos y de diseño específicos en un solo simulador de procesos como HYSYS o Aspen Plus. A partir de la versión 8.0 del paquete Aspen ONE, HYSYS cuenta con activación de análisis económico, de integración energética y diseño de intercambiadores de calor sin necesidad de abrir los simuladores de Aspen Capital Cost Estimator, Aspen Energy Analyzer o Aspen Exchanger Design and Rating; respectivamente (Aspentech, 2016).

2. ESTRATEGIAS DE INCORPORACIÓN DE ASPEN HYSYS EN EL PLAN DE ESTUDIOS

Con la finalidad de analizar las posibles estrategias de incorporación de HYSYS en el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Civil Química, es importante establecer las materias o asignaturas donde se puede aplicar estos simuladores. Dahm y et al. (2002) sugiere varias materias donde se pueden incorporar el uso de software de simulación. Shacham et al. (2009) establecen las asignaturas dónde se puede incorporar software de simulación y además el tipo de software. Tanto Dixon et al. (2008) como Rockstraw (2005) implementan el uso de COMSOL y HYSYS, respectivamente, en la asignatura de modelamiento y simulación de procesos. Adair et al. (2014) incorporan en el nivel intermedio del plan de estudios de Ingeniería Química un simulador de fluidodinámica (CFD).

De acuerdo a la experiencia del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Magallanes y los estudios antes mencionados, se puede concluir que, las asignaturas donde se podría incorporar HYSYS son:

- Balance de Materia y Energía (primeros años del plan de estudios)
- Termodinámica (primeros años del plan de estudios)
- Operaciones unitarias (fase intermedia en el plan de estudios)
- Diseño de reactores (fase intermedia en el plan de estudios)
- Laboratorios de procesos (últimos años del plan de estudios)
- Modelamiento y simulación de procesos (últimos años del plan de estudios)
- Modelamiento y control de procesos (últimos años del plan de estudios)
- Diseño de plantas (últimos años del plan de estudios)

Pero de igual forma, de acuerdo a la experiencia de enseñanza de HYSYS y lo establecido por Fernandes (2002), las asignaturas de los primeros años no son recomendables para la implementación de este tipo de simulador, principalmente porque el alumno no cuenta con las herramientas básicas de ingeniería y las competencias de plantear y desarrollar problemas de ingeniería. Mientras que, en las asignaturas de fase intermedia como *Operaciones Unitarias*, el alumno adquiere habilidades ingenieriles de diseño obteniendo mayores competencias para plantear y desarrollar problemas. Por lo que se considera que, los cursos intermedios y en especial los de los últimos años son los más adecuados para la implementación de HYSYS.

Hay que destacar que el curso de *Modelamiento y Simulación de Procesos* u otro nombre (de acuerdo al plan de estudios de cada Universidad) juega un papel importante en la implementación de HYSYS, ya que permite iniciar a los alumnos en este tipo de software y/o entregar el máximo de conocimiento de éste. Otra asignatura importante es *Diseño de Plantas* u otro nombre, la cual básicamente permite la aplicación de HYSYS, como también permite entregar y aplicar las clásicas y nuevas herramientas complementarias de HYSYS en el diseño de plantas químicas como proyectos de ingeniería básica.

Por otro lado, se considera para este trabajo el uso HYSYS en el programa de la asignatura de *Modelamiento y Control de Proceso*. Debido a la característica del curso, solo inicia a los alumnos básicamente en temas específicos como la simulación dinámica y la aplicación de los lazos de control.

Finalmente, para establecer las estrategias de incorporación de HYSYS, se estable los siguientes niveles de usuario junto con la descripción de cada nivel;

- Nivel Básico. Simulación de modelos simples.
- Nivel Intermedio. Manejo de HYSYS de procesos grandes nivel planta química (estado estacionario).
- Nivel Avanzado. Buen Manejo de HYSYS de procesos grandes junto con herramientas de análisis (estado estacionario y dinámico).
- Nivel Experto. Buen manejo de HYSYS que incluye el manejo de las clásicas y nuevas herramientas complementarias como Oil Manager para caracterización de crudos de petróleos, entre otros.

2.1. ESTRATEGIA DE INCORPORACIÓN TRANSVERSAL.

Esta estrategia considera incorporar el uso de HYSYS desde las asignaturas de *Operaciones Unitarias* y *Diseño de Reactores* hasta finalizar con la asignatura de *Diseño de Plantas*. HYSYS al contar con herramientas de mecánica de fluidos, transferencia de calor y masa, diferentes tipos de cinética y de reactores, permite realizar varios ejemplos para lograr este objetivo (Rockstraw, 2005 y Shacham et al., 2009).

La aplicación de esta estrategia, permitiría que el estudiante al llegar a la asignatura *Diseño de Plantas* esté totalmente familiarizado con el software (nivel avanzado) lo que permite obtener mayor conocimiento del simulador, aumentando el nivel de usuario de avanzado a experto.

La implementación de esta estrategia, exige que los docentes de dichos cursos conozcan el software. Además, los docentes deben considerar una metodología adecuada, ya que los simuladores de este tipo, actúan como cajas negras, esto quiere decir que puede ser inadecuado para estos ramos, ya que los alumnos están formando su destreza de cálculo.

La ventaja de esta estrategia, es que el alumno al cursar la primera etapa la asignatura de *Diseño de Plantas*, no pierda el objetivo final del curso, el cual es desarrollar ingeniería básica de una planta desde su concepción hasta el diseño y especificación preliminar, por aplicar HYSYS al ser un usuario avanzado del software. Por otro lado, en la segunda etapa de la asignatura, cuando el alumno tiene avanzado su proyecto de diseño puede aplicar herramienta de complemento de HYSYS, como evaluación económica e integración energética para la optimización de recursos, entre otros.

2.2. ESTRATEGIA DE INCORPORACIÓN EN LAS ASIGNATURAS FINALES

En esta estrategia, se incorpora el uso de HYSYS en las asignaturas de *Modelamiento y Simulación de Procesos* y de *Diseño de Plantas* (Shacham et al., 2010 y Shacham 2011). En este caso, la asignatura de *Modelamiento y Simulación de Procesos* cumple la función de iniciar al alumno desde un nivel básico terminando en un nivel intermedio, en una sola asignatura, aplicando todos los conceptos básicos de ingeniería como mecánica de fluidos, transferencia de calor y masa y diseño de reactores.

Para implementar esta estrategia, es importante que el programa de la asignatura esté adaptado para el uso de HYSYS. En la figura 2, se esquematiza la metodología sugerida para incorporación de estrategia del manejo de HYSYS en las asignaturas claves de los dos últimos años de la carrera, de acuerdo al plan de estudios de la carrera de pregrado de Ingeniería Civil Química de la Universidad de Magallanes.

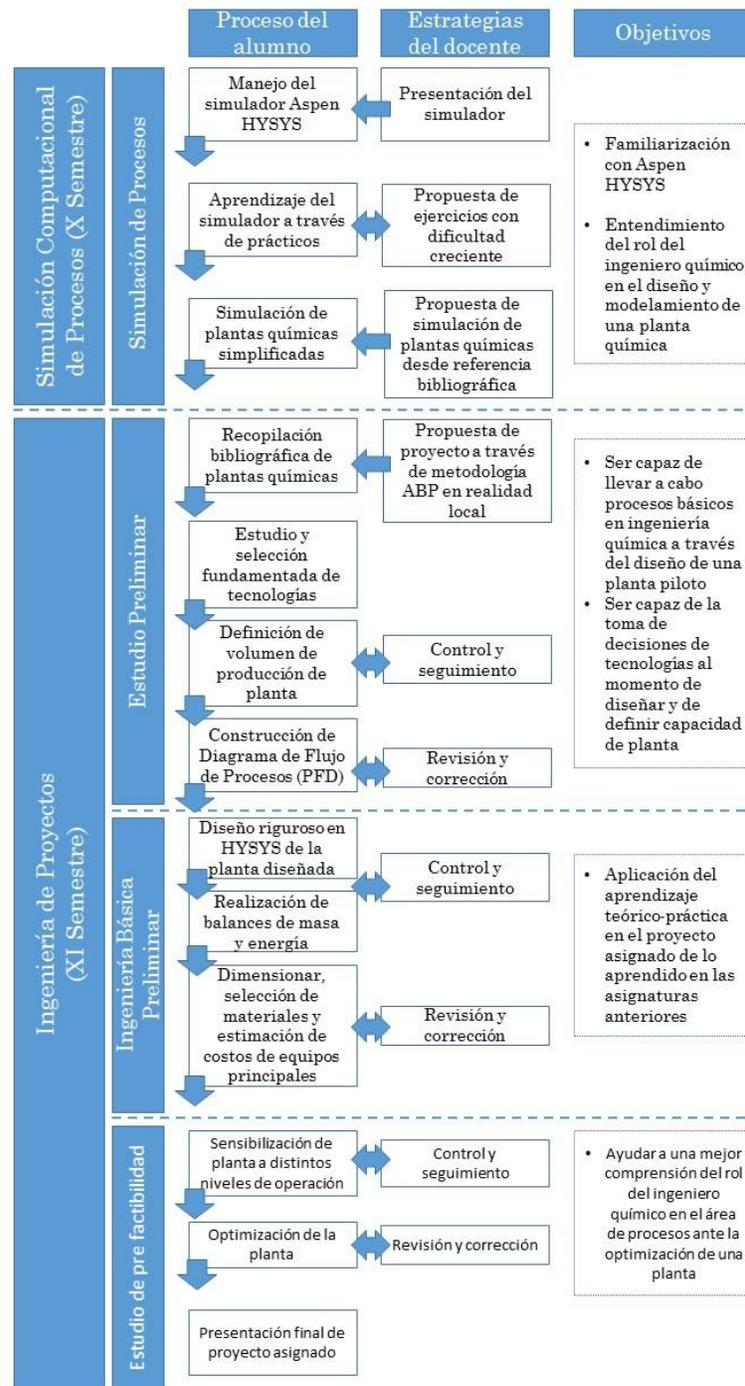


Figura N° 2. Esquema resumen de la metodología sugerida en las asignaturas claves con la incorporación del software HYSYS.

Al implementar esta estrategia, el alumno al cursar la asignatura de *Diseño de Plantas* posee un nivel de usuario intermedio y, por lo tanto, no tiene experiencia para simular casos que generen problemas en la simulación como, por ejemplo; plantas químicas con reciclo u otros sistemas que hacen que el programa sea inestable generando resultados utópicos a la realidad. Esto puede ocasionar que el alumno pierda el objetivo del curso, en la primera etapa de la

asignatura. La segunda etapa de la asignatura el alumno solo es capaz usar y aplicar herramientas de análisis de HYSYS, lo que lo conlleva a que el alumno solo alcance el nivel de usuario avanzado.

2.3. ESTRATEGIA DE INCORPORACIÓN EN LAS ASIGNATURAS DE LABORATORIOS.

Otra estrategia de incorporar el uso de HYSYS es en las asignaturas de *Laboratorios de Procesos* hasta finalizar con la asignatura de *Diseño de Plantas*. A diferencia de la primera estrategia, aquí HYSYS se puede usar como un laboratorio virtual o remoto, permitiendo al alumno verificar los resultados de cálculos a través del manejo del simulador (Cuevas et al., 2010; Cuevas et al., 2014 y Trujillo et al., 2014).

La idea de esta estrategia es que el alumno adquiera un nivel básico en esta etapa, al ser solo usuario del software (el profesor programa los ejemplos-laboratorios), lo que permite que en la asignatura de *Modelamiento y Simulación de Procesos* se pueda avanzar más en el nivel de usuario en relación a la estrategia anterior, debido a que llegan con una base formada del manejo del software. Por lo tanto, al llegar a la asignatura de *Diseño de Plantas* esté familiarizado con el software lo que permite, aumentando el nivel de usuario de avanzado-experto.

Esta estrategia exige que el profesor de Laboratorio conozca HYSYS. La ventaja relevante de esta estrategia, es que no se alteran los programas de los cursos de *Operaciones Unitarias*, y, por otro lado, esta estrategia permite simular procesos industriales que no se encuentren físicamente en el laboratorio.

3. CASO DE ESTUDIO REAL.

El Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Magallanes, está ubicada en la ciudad de Punta Arenas, Región de Magallanes y Antártica Chilena. En esta zona, existe grandes industrias relacionadas al petróleo & gas, que por sus características manejan HYSYS para el cálculo, diseño y optimización de sus procesos. El Departamento desde los 90's incorporó el uso de HYSYS en el aula y en trabajos de título. Actualmente en su plan de estudios tiene incorporada la estrategia 2.2, a través de tres asignaturas claves: *Simulación Computacional de Procesos* (Modelamiento y Simulación de Procesos), *Modelamiento y Control de Procesos e Ingeniería de Proyectos* (Diseño de Plantas), asignaturas de los dos últimos años de la carrera de Ingeniería Civil Química.

Esta estrategia tiene varios años de implementación dando buenos resultados en el nivel de usuario (avanzado), destacándose dentro de las industrias locales siendo un referente frente a sus pares de otras universidades. Sin embargo, con el paso de los años, el manejo de estos simuladores es cada vez relevante, por lo que se considera cambiar la estrategia a la primera estrategia, sección 2.1, con la finalidad de aumentar el nivel de usuario de avanzado a experto del alumno.

El Departamento tiene como compromiso cambiar su malla curricular tradicional a una malla curricular por competencias, por lo que la estructura y enfoque de las asignaturas van a cambiar hacia una mirada de habilidades por competencias del alumno. Oportunidad que se quiere aprovechar para plantear en Consejo de Departamento la migración a la primera estrategia descrita en este trabajo. La ventaja que tiene el Departamento es que todos los docentes que dictan las operaciones unitarias manejan HYSYS, por lo que no se tiene que realizar una inversión extra en capacitaciones.

4. CONCLUSIONES.

En este trabajo se plantean tres estrategias para implementar el uso del simulador de procesos HYSYS en el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Civil Química, con el objetivo de aumentar el nivel de usuario del software. En la actualidad existe referencias que la estrategia de incorporación transversal y la estrategia de incorporación en las asignaturas finales son

aplicadas en diferentes universidades. La primera estrategia de implementación se considera la más adecuada, pero su implementación puede generar complicaciones en los cursos de la fase intermedia de la carrera donde el alumno solo tiene nociones básicas del diseño ingenieril, además, los profesores deben tener un nivel de usuario avanzado, entre otros. Se concluye, que la implementación de la estrategia seleccionada dependerá del nivel de usuario que se desea obtener del alumno al egresar. El Departamento Ingeniería Química de la Universidad de Magallanes tiene implementado la segunda estrategia dentro en su plan de estudios, destacando el impacto positivo generado hacia nuestros alumnos y titulados al momento de desempeñarse en el ámbito laboral, sin embargo, debido al cambio futuro de malla curricular de tradicional a competencias, se propone cambiar a la primera estrategia analizada en este trabajo.

5. REFERENCIAS

- Adair, D.; Bakenov, Z.; Jaeger, M. (2014) Building on a traditional chemical engineering curriculum using computational fluid dynamics. *Education for Chemical Engineers*. Volume 9, Issue 4, Pages e85-e93.
- Aiello, C.; Mármol, Z.; Sánchez de Puertas, A. (2012) Ingeniería Química: Historia y Evolución. *Revista Tecnocientífica URU*. Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería. N°2 Enero - Junio 2012.
- Aspentech (2015) Aspen HYSYS® “A process modeling environment for conceptual design and operations improvement of petroleum and oil & gas processes”.
- Aspentech (2016) Aspen HYSYS®— New Feature Availability.
- Corter, J.; Esche, S.; Chassapis, C.; Ma, J.; Nickerson, J. (2011) Process and learning outcomes from remotely-operated, simulated, and hands-on student laboratories. *Computers & Education*. Volume 57, Issue 3, Pages 2054-2067.
- Cuevas, M.; Fernández, D.; Parra, M. (2014) Uso de simulaciones por ordenador para mejorar la enseñanza en el laboratorio de ingeniería química. *Modelling in Science Education and Learning*, Volume 7.
- Cuevas, M.; Valdivia, D.; Mateo, S.; Parra, M. (2010) Simulación de prácticas de laboratorio de la asignatura “Experimentación en Ingeniería Química” mediante el uso del simulador de procesos Hysys.Plant. *Iniciación a la Investigación*, Revista Electrónica, Universidad de Jaén.
- Cutlip, M.; Hwalek, J.; Nuttall, H.; Shacham, M.; Brule, J.; Widmann, J.; Han, T.; Finlayson, B.; Rosen, E.; Taylor, R. (1998) A Collection of 10 Numerical Problems in Chemical Engineering Solved by Various Mathematical Software Packages. *Computer Applications in Engineering Education*. Volume 6, Issue 3, pages 169–180.
- Dahm, K.; Hesketh, R.; Savelski, M. (2002) Is Process Simulation Used Effectively in ChE Courses? *Chemical Engineering Education*. Pages 192-198.
- Dixon, A.; Dibiasio, D. (2008). Integrating COMSOL into a Mathematical Modelling Course for Chemical Engineers. Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference, 2008 Boston.
- Fabregas, E.; Farias, G.; Dormido-Canto, S.; Dormido, S.; Esquembre, F. (2011) Developing a remote laboratory for engineering education. *Computers & Education*. Volume 57, Issue 2, Pages 1686-1697.
- Favre, E.; Falk, V.; Roizard, C.; Schaer, E. (2008) Trends in chemical engineering education: Process, product and sustainable chemical engineering challenges. *Education for Chemical Engineers*. Volume 3, Issue 1, Pages e22-e27.
- Fernandes, F. (2002) Use of Process Simulators for the Unit Operations Education of Undergraduate Chemical Engineers. *Computer Applications in Engineering Education*. Vol.10, Pages 155-160.

- Muñoz, M.; Pérez, A.; Gozá, O.; Llovet de Armas, N. (2011) Aplicación de la simulación de proceso durante la práctica laboral de estudiantes de Ingeniería Química. *Revista Cubana de la Ingeniería*, 3(II), 15-23, 2011.
- Nickerson, J.; Corter, J.; Esche, S.; Chassapis, C. (2007) A model for evaluating the effectiveness of remot engineering laboratories and simulations in education. *Computers & Education*. Volume 49, Issue 3, Pages 708-725.
- Potkonjak, V.; Gardner M.; Callaghan, V.; Mattila, P.; Gueti, C.; Petrovic, V.; Jovanovic, K. (2016) Virtual laboratories for education in science, technology and engineering: A review. *Computers & Education*. Volume 95, Pages 309-327.
- Rockstraw, D. (2005) Aspen Plus® in the ChE Curriculum. *Chemical Engineering Education*. Pages 69-75.
- Savelski, M.; Dahm, K.; Hesketh, R. (2001) Is Process Simulation Effectively Utilized in Chemical Engineering Courses. Submitted to 2001 ASEE Annual Conference, Session 3513, June 27, 2001.
- Shacham, M. (2011) "Use of Advanced Educational Technologies in a Process Simulation Course", paper presented at the 21st European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE 21.
- Shacham, M.; Cutlip, M. (1999) A Comparison of Six Numerical Software Packages for Educational Use in the Chemical Engineering Curriculum. Presented in the 1998 ASEE Annual Conference Session: 2520 - Computers in Education.
- Shacham, M.; Cutlip, M. (1999) Selecting the Appropriate Numerical Software for a Chemical Engineering Course. *Computers and Chemical Engineering Supplement*, S645-S648.
- Shacham, M.; Cutlip, M. (2010) "The Process Simulation Course - the Culmination of Core Undergraduate Coursework in Chemical Engineering", paper 534b, Presented at the 10AIChE Annual Meeting, Salt Lake City, UT, Nov. 7-12, 2010.
- Shacham, M.; Cutlip, M.; Brauner, N. (2009) From numerical Problem Solving to Model-Based Experimentation – Incorporating Computer-Based Tools of Various Scales Into the ChE Curriculum. *Chemical Engineering Education*. Volume 43, No.4, Pages 315-321.
- Trujillo, L.; Carrillo, F. (2014) Diseño de una intervención docente para la enseñanza-aprendizaje de operaciones básicas de ingeniería química mediante el uso de la simulación por ordenador. *AFINIDAD LXXII*, 570.
- Varma, A.; Grossman, I. (2013) Evolving trends in chemical engineering education. *AIChE Journal*. Volume 60, Issue 11, Pages 3692–3700.
- Wankat, P. (2013) Integrating the Use of Commercial Simulators into Lecture Courses. *Journal of Engineering Education*. Volume 91, Issue 1.
- Zapata, D.; Garzón, M.; Pereira, J.; Barrientos, A. (2015) A Project-Based Learning Toolkit for Automation and Robotics Engineering Education. *Journal of Intelligence & Robotics Systems*. Volume 81, Issue 1, pp 97-116.