

Ideas sobre el uso de la computadora para la enseñanza.

## Ejemplo para el uso de un simulador en los estudios de ingeniería química

Lourdes Zumalacárregui de Cárdenas,<sup>1</sup> José Luis Valverde Palomino<sup>2</sup>

### Resumen

En el presente trabajo se presenta un ejemplo para la aplicación de las estrategias de simulación, haciendo uso de un simulador profesional. Se explica la concepción del ejercicio a desarrollar por el colectivo de estudiantes y se ejemplifican los resultados. El ejemplo desarrollado permite la aplicación de los elementos de simulación a la vez que los alumnos ejercitan habilidades como la búsqueda de información para el autoaprendizaje, la aplicación de las consideraciones para el cuidado del medio ambiente que se exigen en los procesos de generación de energía, el trabajo en equipo, la modelación de los resultados, y otros.

### Abstract

In this paper is presented an example for the application of the simulation strategies, making use of a professional simulation program. The conception of the exercise is explained and results are exemplified. The developed example allows the application of the simulation elements at the same time that the students exercise abilities like the search of information by themselves, the applications of the principles for the care of the environment that are demanded in the processes of energy generation, to work being part of a team, modeling of the results, and others.

### Introducción

En los últimos tiempos la ingeniería química se ha visto influenciada por el desarrollo de otros campos entre los que se destacan: los avances de la electrónica y su influencia en los medios de medición y control de procesos, el desarrollo de los medios de computación y en particular de los simuladores de proceso, las bases de datos y los sistemas automatizados de diseño, el impacto de las nuevas tecnologías de la informatización, el desarrollo de la biología y la biotecnología, el desarrollo de nuevos materiales, el surgimiento de nuevas técnicas de separación, la tendencia hacia la versatilidad del

equipamiento y la combinación de tecnologías y el impacto de las regulaciones internacionales. La importancia de la simulación de procesos ha sido reconocida por la industria como uno de los aspectos que debe reforzarse en la preparación del profesional, junto a la biotecnología, el control ecológico, el análisis de costos y evaluación de proyecto, el control de procesos, la instrumentación, la química orgánica y la cinética (Garritz, 1989).

En el presente trabajo se presentará un ejemplo de aplicación para el uso de la simulación en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Keating (1985) recomendó el uso de la simulación cuando:

- El costo de la experimentación con el sistema físico es muy elevado.
- Las condiciones de riesgo de operación son altas.
- Se requieren estudios de estabilidad y sensibilidad ante cambios de parámetros.
- Se realizan diseños de nuevos sistemas.
- Se desea verificar cambios de escala de un proceso.
- Se requiere la evaluación de un conjunto de alternativas posibles para la selección de la mejor, según una función objetivo dada.
- Se necesita capacitación para operadores y directivos.
- Las soluciones analíticas son altamente complejas.
- Los cambios en el sistema ocurren a velocidades muy altas o muy bajas.

Shannon (1976) ofreció también razones para realizar experimentos mediante simulación que manejan los términos: evaluar el desempeño, comparar sistemas, predecir funcionamiento, analizar sensibilidad y efecto de cambios y optimar la operación de un sistema.

Díaz y Zumalacárregui (1992) explicaban el uso de la modelación y simulación de los balances de masa en sistemas complejos en el tercer año de ingeniería química como un medio de enseñanza, al poder estudiar sistemas que en otras condiciones serían muy difíciles de analizar.

Estas razones continúan siendo válidas en el presente y Arce (1995) aborda la simulación como una herramienta de desarrollo en la Ingeniería Química. En su trabajo enuncia ejemplos para procesos en continuo con operaciones en estado estacionario (columna de destilación primaria del petróleo) y en estado dinámico (planta recuperadora de fluidos de pozos de mar) así como para procesos intermiten-

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Cuba. Calle 127 s/n Marianao CP 19390 Habana, Cuba.

Correo electrónico: lourdes@química.ispjae.edu.co

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química, Universidad de Castilla La Mancha, España.

Correo electrónico: jlvalver@inqu-cr.uclm.es

tes (planta de producción de medicamentos). Concluye que “la realización de un proyecto de simulación sigue un proceso progresivo que empieza en el planteamiento del problema y los objetivos. Después se hace el acopio de datos, la elección, la construcción y la validación de los modelos. Luego se pasa a una etapa intensa de experimentación en la computadora de situaciones que alternan aciertos y errores hasta llegar al logro de los objetivos”. Enfatiza que el desarrollo actual de la capacidad de memoria y velocidad de las microcomputadoras y la existencia de aplicaciones profesionales de alto desarrollo permiten considerar, como una posibilidad del trabajo, la incorporación de simuladores.

Por otra parte, si es la simulación una realidad para el estudio de procesos industriales, resulta obligatoria su incorporación en la enseñanza para los graduados de carreras técnicas, en las que el trabajo con simuladores podrá ser común al finalizar sus estudios de pregrado.

Por tal motivo, cada día más universidades incorporan en sus planes de estudio asignaturas de simulación de procesos en las que se enseña la estrategia del uso de simuladores para el trabajo profesional (Planes de estudio Ingeniería Química, Universidad de Castilla La Mancha, 1999, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría, 1999). El no disponer de simuladores profesionales ha limitado a algunas universidades de países subdesarrollados en su incorporación.

No obstante, no es sólo el que los alumnos adquieran la habilidad de operar un simulador lo que debe preocupar a la universidad, sino también el enfoque del uso de éstos como herramientas para el aprendizaje.

Las computadoras pueden facilitar el aprendizaje de conceptos, ayudar a resolver problemas, auxiliar en la representación y análisis de diferentes fenómenos y contribuir al desarrollo de habilidades cognitivas, pero para ellos es necesario crear situaciones de aprendizaje y enseñanza nuevas.

Se valora actualmente que el desarrollo de un simulador docente requiere que se pase de un diseño centrado en la tecnología a un diseño centrado en el usuario y que las interfaces usuario-máquina sean cada vez más amigables, con diálogos guiados por el lenguaje natural (Laurel, 1990).

No están disponibles simuladores en ingeniería química dedicados específicamente para el aprendizaje y con la incorporación de modelos psicopedagógicos que tengan como centro de atención al estudiante, aunque sí se dispone de potentes simuladores profesionales de uso general como HYSYS, ASPEN PLUS, CHEMCAD (Seider y colaboradores, 1999), y otros específicos desarrollados para procesos particulares como TERMOAZUCAR (Gozá, 1996).

Por lo anterior, resulta una necesidad inmediata para la educación de los profesionales de ingeniería química, la in-

corporación en los planes de estudios, de los simuladores profesionales existentes, para lo cual deberán concebirse actividades que propicien el aprendizaje a través del uso del simulador.

Al plan de estudio vigente desde 1999 en el ISPJAE, el paradigma le impuso: la explotación eficiente de las redes de computación, la incorporación de las comunicaciones electrónicas a distancia y la incorporación de las nuevas tecnologías de la información. Las aplicaciones informáticas más generalizadas son: uso de programas tutoriales, resolución de problemas, simulaciones (cuando el experimento real sea difícil de observar, peligroso o costoso) y realización de laboratorios virtuales. Las simulaciones constituyen enfoques creativos e interesantes de la enseñanza asistida por computadoras y permite mayor independencia al alumno.

#### Herramientas de simulación utilizadas

En el desarrollo del ejemplo se utilizó un simulador de uso general HYSYS, que permite la operación en estados estacionario y dinámico (Hyprotech Ltd, 1999)

El simulador cuenta con un amplio conjunto de módulos para simular las operaciones unitarias, además de una amplia base de datos que permite el cálculo de propiedades termodinámicas y cinéticas de compuestos reales e hipotéticos.

Para el inicio de un caso en estudio, se seleccionan los paquetes de propiedades a utilizar, así como los componentes de la base de datos o se crean los hipotéticos.

El diagrama de flujo de información se construye en la pantalla, instalando las figuras que representan los módulos de los equipos u operaciones necesarias, y las corrientes de entrada y salida de cada uno.

#### Ejemplo de aplicación

A continuación se desarrolla un ejemplo de aplicación que llamaremos Central Térmica de Gasificación Integrada con Ciclo Combinado (GICC). El ejemplo puede desarrollarse como una actividad dentro de la asignatura de Simulación de Procesos o como una actividad de proyecto independiente. Los datos para la realización del trabajo se toman de la planta ubicada en Puertollano, España, la que consta básicamente de tres secciones: Gasificación y tratamiento de gases, Ciclo combinado y Unidad de separación de aire. La planta procesa un combustible formado por 50% de carbón, de alto contenido de ceniza (47.1%) y 50% de coque de petróleo, de alto contenido de azufre (5.4%), aunque está preparada para manejar otros combustibles. El objetivo es producir 300 MW con un rendimiento de 49.3% y mantener los niveles de  $\text{SO}_2$  25 mg/Nm<sup>3</sup>,  $\text{NO}_x$  150 mg/Nm<sup>3</sup> y polvo 7.5 mg/Nm<sup>3</sup>.

La sección de Gasificación y Tratamiento de Gases está integrada por cuatro subsecciones: preparación del carbón,

gasificación y recuperación de calor, limpieza de gases (ceniza y azufre) y recuperación de azufre (planta Claus).

En la sección de Ciclo Combinado se recibe gas limpio y vapor de agua saturado producidos en la gasificación y se produce electricidad mediante la combinación de una turbina de gas y una de vapor.

En la sección de Separación de Aire se produce el oxígeno necesario para el proceso de gasificación del carbón, con una pureza de 85%, a la vez que se produce nitrógeno de 99% de pureza.

Requisitos previos: Conocimientos de Termodinámica Técnica (ciclos de vapor y gas), Operaciones Unitarias (transferencia de calor, transferencia de masa y reactores), Química Física (ecuaciones de estado, cálculo de propiedades termodinámica, cinética química) y Principios de Balance de Masa y Energía.

Forma de organización: trabajo en equipo (tres alumnos)

#### Enunciado general

“La Central térmica de gasificación integrada con ciclo combinado (GICC) representa un esfuerzo de innovación en el aprovechamiento del carbón compatible con los criterios medioambientales más exigentes. Una descripción de una planta de este tipo puede encontrarla en: *Ingeniería Química*, marzo, 1995, p. 67-73 y en *Potencia*, 6 [1] enero-febrero 2000 p. 15-18.

A partir de la información suministrada, realice la simulación de la sección asignada, con el objetivo de encontrar el esquema de simulación más adecuado en relación con los parámetros del proceso y evalúe el efecto de las variables de operación sobre el rendimiento de la sección”.

En el ejemplo que se presenta se trabajará la subsección de recuperación de azufre, aunque ejemplos como el que se presenta se pueden preparar para cada uno de los procesos.

Para la recuperación del azufre se utiliza esencialmente el proceso Claus. La planta Claus transforma el  $H_2S$  en azufre elemental y los compuestos nitrogenados como el  $NH_3$  y el  $HCN$  en  $N_2$  en dos hornos catalíticos, en los que se lleva a cabo la combustión a temperatura de aproximadamente  $1000^\circ C$ , por medio de aire y  $O_2$ . En esta planta se produce  $S$  sólido por una parte y cierta cantidad de vapor de agua de baja presión por recuperación de calor. Los gases de cola, que contienen algo de azufre no convertido se recirculan al inicio de la etapa.

Una descripción del proceso a simular se resume en: El gas proveniente de los desorbedores (gas “sour”) se mezcla con el gas Claus y esta mezcla se alimenta a un horno Claus en el que se produce la combustión con aire comprimido enriquecido, para la formación de  $S$  líquido y la descomposición de los compuestos de nitrógeno. El calor sensible de los gases del proceso de combustión (gas de

proceso) se usa para producir vapor de baja presión en una caldera recuperadora ( $0.7MPa$ ). El gas de proceso, después de ser enfriado, y habiéndosele extraído el azufre líquido producido en esa etapa, pasa a la primera etapa del reactor Claus, la salida de esta etapa pasa al intercambiador de calor, donde calienta la entrada del gas a la segunda etapa del reactor Claus. El gas de proceso enfriado en la primera etapa y el que sale de la segunda etapa del reactor Claus se usa para producir vapor de baja presión ( $0.3MPa$ ) en condensadores de azufre. Después de enfriado el azufre líquido, es extraído en los separadores de azufre y descargado a los receptores de azufre. El gas de proceso que sale del primer separador pasa al intercambiador de calor y después a la segunda etapa del reactor Claus. El producto que sale del segundo separador sale como gas de cola pasando al sistema de hidrogenación para que los compuestos de azufre remanente se transformen en  $H_2S$  en el reactor de hidrogenación.

#### Pasos a ejecutar por el colectivo de estudiantes

Para el desarrollo de la actividad, el colectivo deberá buscar de modo independiente información acerca del proceso Claus.

El colectivo deberá encontrar respuesta a:

- Por qué hay que desulfurar el gas y niveles de aceptación de los contaminantes.
- Qué etapas componen el proceso Claus y papel de cada una en la estrategia de purificación del gas.
- Qué reacciones químicas tienen lugar para la transferencia global del  $H_2S$  por oxidación hasta azufre y agua.
- Qué reacciones químicas se requieren para la transferencia del  $H_3N$  y el  $HCN$  hasta  $N_2$ .
- Cuál es el diagrama de flujo de la planta. (El diagrama de flujo simplificado será discutido con el profesor a partir de la información que acerca del proceso el profesor brindará al estudiante, quedando precisados los datos técnicos que permitirán verificar si el esquema de simulación preparado modela la sección estudiada).

Para la obtención de la información necesaria el colectivo hará uso de bibliografía actualizada, lo cual podrá encontrar de forma independiente mediante consulta de enciclopedias, revistas y sitios en Internet, además de la suministrada por el propio docente. Ejemplos de éstos son: Mc Intyre y Lyddon, 1999; Hudson, 1999; Polasik y Bullin, 1999; Faraji y colaboradores, 1999; Karan, 1999; Ullmann's Encyclopedia, 1994.

A estas alturas del trabajo el colectivo tendrá identificada la secuencia de operaciones unitarias para lograr la transformación deseada y los equipos que las representan, los parámetros físicos de las corrientes que alimentan a cada equipo (o que se obtienen en ellos según el caso) y el conjunto de

reacciones químicas que ocurren en cada reactor, a la vez que habrán adquirido conocimientos acerca de la importancia de la protección del ambiente y cómo lograrlo con esta tecnología. Podrán así iniciar el trabajo con el simulador para construir el diagrama de flujo de información. Para ello aplicarán los siguientes conocimientos previos:

- Selección de la ecuación de estado que permitirá el cálculo de las propiedades termodinámicas necesarias. Para ello hará uso del manual del simulador, en el que se explican cada una de las ecuaciones de estado que constituyen las bases de datos del simulador, así como las recomendaciones para su uso. Para este ejemplo se utiliza la ecuación de Peng-Robinson.
- Identificación de los parámetros a fijar en cada corriente para su total definición, en función de los grados de libertad. El alumno dispondrá de los valores de flujo, temperatura, presión y composición de las corrientes de proceso: gas Claus, gas "sour", aire, oxígeno, agua de alimentación a la caldera recuperadora y a la planta de hidrogenación; temperatura de trabajo en el horno, temperatura a la entrada de la primera etapa del reactor Claus, temperatura a la entrada de la segunda etapa del reactor Claus, temperatura de entrada y salida y presión en el reactor de hidrogenación, así como de los valores deseados de flujo y temperatura del azufre producido y composición del gas producido en el reactor de hidrogenación.
- Selección de los módulos necesarios para la representación del proceso. Para ello el alumno deberá haber identificado los módulos de que dispone el simulador y su correspondencia con las operaciones de reacción, intercambio de calor, compresión, separación de fases, así como los módulos que permiten mezclar y separar corrientes.

Siguiendo el diagrama de flujo, el alumno podrá ubicar ordenadamente cada uno de los módulos requeridos para representar el proceso.

- Determinación de las formas alotrópicas del azufre en cada uno de los equipos en dependencia de la temperatura de operación.

Al seleccionar los módulos el colectivo encontrará la dificultad de la existencia de varios módulos para una misma operación. Este es el caso de los reactores e intercambiadores de calor, debiendo tomar decisiones, que en unos casos implicarán la selección directa y en otros la apertura de nuevas variantes para la solución del problema. En particular, éste es el caso de los reactores, debiendo el colectivo probar las variantes de utilización de:

- Reactores de equilibrio, para los que se requieren valores de la constante de equilibrio.
- Reactores de conversión, para los que se requiere de estimados del porcentaje de conversión alcanzado.
- Reactores de Gibbs, para los que se requiere sólo el conjunto de especies químicas que están presentes en el reactor.

En la combinación de estas variantes, el análisis adecuado de la información obtenida en la literatura será de gran utilidad, evitando combinaciones poco probables.

El esquema de una de las variantes de diagrama de flujo de información se presenta en la figura 1. Como se aprecia el sistema estudiado comprende el uso de los módulos siguientes: reactores, (ERV, CRV, GBR en dependencia si son de equilibrio, de conversión o de Gibbs) compresor de aire (K) mezcladores de corrientes (MIX) separadores de corrien-

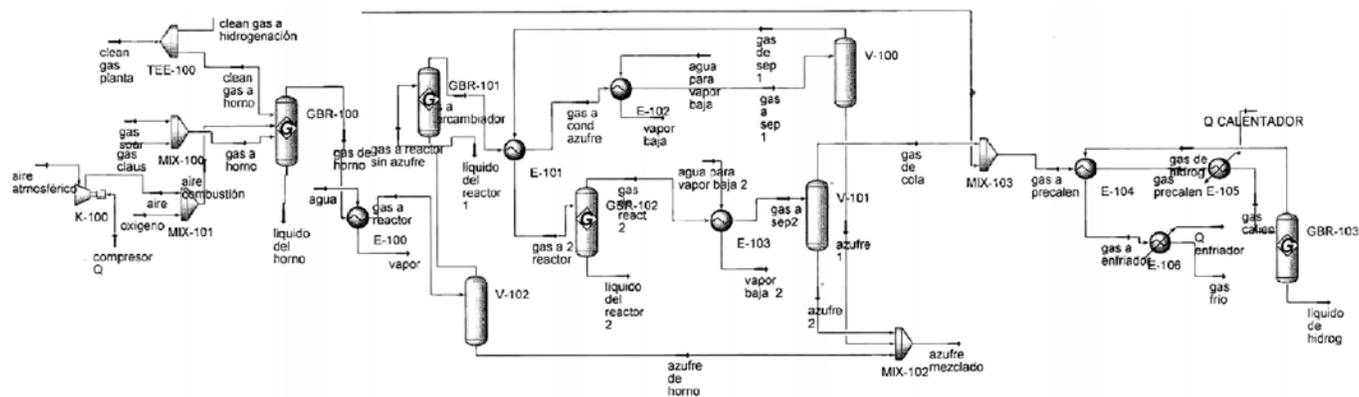


Figura 1. Diagrama de flujo de información del proceso Claus.

**Tabla 1.** Resultados que demuestran la influencia de flujo de aire en el proceso.

Flujo de aire (m <sup>3</sup> /h)	T horno °C	H <sub>2</sub> S × 10 <sup>5</sup> en el gas de cola (kg/h)	SO <sub>2</sub> × 10 <sup>5</sup> en el gas de cola (kg/h)	H <sub>2</sub> S/SO <sub>2</sub> en el gas de cola	Azufre final producido (kg/h)
3,500	949	4,900	20	245.0	2,558
4,000	983	2,300	100	23.0	2,879
4,435	1,010	860	680	1.26	2,960
5,000	1,043	480	1,920	2.5	2,825
6,000	1,096	300	4,000	0.08	2,494

tes (TEE), intercambiadores de calor (E) y equipos de separación de fases. (V). En el anexo 1 se presenta la explicación del diagrama de flujo de información mostrado, en el que los reactores se consideraron de Gibbs.

La selección del mejor esquema implicará la comparación con los datos de operación o diseño facilitados por el profesor o encontrados en la literatura, de modo que el resultado de la simulación satisfaga los valores de dichas variables (flujos, composiciones, temperaturas suministradas).

Una posibilidad se abre en relación con la verificación de los resultados en la industria, de estarse simulando un proceso que pueda ser visitado por los estudiantes, obteniendo ellos los registros de datos de operación de varios días, que permitan la aplicación de técnicas de tratamiento estadístico de datos para reportar variables de operación y comparar éstas con los predichos por el simulador. En Cuba, estas tareas se posibilitan durante las prácticas industriales que cada año realizan los estudiantes bajo la guía de un profesor.

Una vez obtenido un esquema de simulación que se adecue a las características de operación y/o diseño, el colectivo deberá analizar el efecto que ocasiona el cambio de variables de operación sobre diferentes parámetros relacionados con la producción de azufre y el grado de depuración de los contaminantes. Algunos resultados que demuestran esta posibilidad de análisis se presentan en las tablas 1 y 2 y la figura 2.

De ellas se aprecia cómo para un flujo de gas Claus dado:

- Existe un valor óptimo de flujo de aire que arroja la máxima producción de azufre.
- La temperatura varía linealmente con el flujo de aire.
- Existe una relación logarítmica entre la relación H<sub>2</sub>S/SO<sub>2</sub> y el flujo de aire recomendándose en la literatura una relación de 2.

**Tabla 2.** Composición del gas de cola en función del flujo de aire.

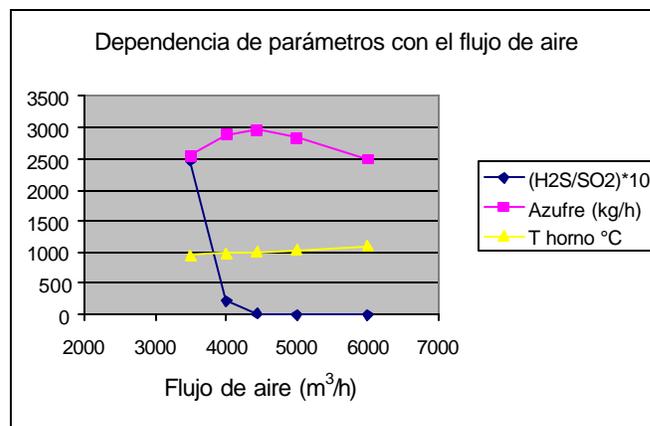
Flujo de aire (m <sup>3</sup> /h)	3,500	4,000	4,435	5,000	6,000
Composición del gas de cola					
CO	1.56	1.86	2.11	2.39	2.8
H <sub>2</sub>	0.85	0.97	1.08	1.19	1.38
N <sub>2</sub>	31.8	34.6	36.76	39.0	42.5
CO <sub>2</sub>	27.9	26.4	24.98	23.1	20.1
H <sub>2</sub> S	4.9	2.3	0.86	0.48	0.3
H <sub>2</sub> O	32.9	33.9	33.52	31.8	28.7
SO <sub>2</sub>	0.02	0.1	0.68	1.98	4.0
S	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

*Forma de evaluación*

Para evaluar el trabajo realizado se recomienda la realización de una sesión de debate en la que cada equipo presente:

- La descripción de su sección.
- La simulación realizada.
- El efecto de las principales variables sobre la variable de interés de la sección.

Previo a la sesión de debate, el profesor deberá haber revisado el resultado de la simulación realizada. El intercambio del profesor con el colectivo de estudiantes durante la etapa de realización del proyecto permitirá la orientación adecuada y la corrección de posibles errores.



**Figura 2.** Dependencia de algunos parámetros con el flujo de aire.

De igual forma, se podrá apreciar el desarrollo de cualidades como responsabilidad, creatividad, independencia, disposición a integrar equipos de trabajo, ejercicio correcto de la crítica y habilidad de expresión oral y escrita, cualidades éstas necesarias para el profesional actual (Zumalacárregui, 1999), y que deberán tenerse en cuenta en la calificación.

### Otras posibilidades

De realizarse el proyecto al concluir el estudio de la asignatura Control de Procesos es posible incorporar a éste la realización de la simulación dinámica, teniendo presente el docente el incremento en complejidad y tiempo que se adicionaría.

### Conclusiones

La utilización de simuladores de procesos en la enseñanza de la ingeniería química es una necesidad del presente.

A partir de conocimientos básicos de simulación es posible desarrollar proyectos para los que su solución requiera del uso de un simulador. La ubicación estará en dependencia de las operaciones unitarias que el proceso a simular incluya.

Con el ejemplo que se presenta, el alumno, además de ejecutar las habilidades asociadas directamente con la simulación de procesos, refuerza la necesidad del cuidado del medio ambiente y el papel que el ingeniero químico debe jugar para su preservación, reduciendo los contaminantes atmosféricos. Por otra parte, profundiza en la utilización de los ciclos combinados para el incremento de la eficiencia de los procesos de generación de energía en centrales térmicas.

La búsqueda independiente de información, el análisis de los posibles esquemas de simulación y la determinación de la influencia de las variables de operación sobre una considerada como objetivo, son las etapas que caracterizan la realización del proyecto y permiten el desarrollo de valores como la independencia, creatividad y la capacidad de análisis y síntesis.

La realización del trabajo en equipo, el debate de lo realizado con el profesor y la discusión final del trabajo frente al grupo permiten reforzar cualidades de la personalidad del egresado como la responsabilidad, disposición para el trabajo en equipos, ejercicio correcto de la crítica y la autocrítica, así como la habilidad de la comunicación oral. ■

### Bibliografía

Arce, E: La simulación como herramienta de desarrollo en la ingeniería genética, *Educación química*, **6** [3] 174-178, (1995).

Díaz, J; L Zumalacárregui: Aplicación de las técnicas de computación en las asignaturas de la disciplina Principios de Ingeniería Química, *Educación química*, **3**[4] 280-283 (1992).

Faraji, O *et al.*: Conversión of H<sub>2</sub>S to H<sub>2</sub> + Sulfur Part 2. The Thermal decomposition of COS, *Canadian J. of Chem Eng.*, **77**, 79-84 (1999).

Garriz, A: Perfil del ingeniero químico en el siglo XXI, *Educación química*, **1** [0] 14-19 (1989).

Gozá, O: *Eficiencia energética en la industria azucarera*. Tesis de Doctorado. Cuba, 1996.

Hudson, H: *Modified Claus Process*, Ortoff Engineers Ltd, Midland Texas, [www.elcor.com/ortloff/sulfur/html/clus.htm](http://www.elcor.com/ortloff/sulfur/html/clus.htm) (1999).

Hyprotech Ltd: *Manual de HYSYS, Plant Version 2.0*, Canada, 1999.

Karat, K *et al.*: Use of New Reaction Kinetics for COS Formation to Achieve Reduced Sulfur Emissions from Claus Plant, *Canadian J of Chem. Eng.*, **77**, 392-398 (1999).

Keating B: Simulations: Put the real world in your computer. *Creative computing*, November, 56-64 (1985).

Laurel, B (ed): *The art of human interface design*. Addison Wesley, 1990.

Mc Intyre, G; L. Lyddon: *Claus Sulphur Recovery Options*. Bryan Research and Eng Inc, Bryon Texas, [www.bre.com/papers/clus-process.htm](http://www.bre.com/papers/clus-process.htm), 1999.

*Plan de estudio de Ingeniería Química*: Universidad de Castilla la Mancha, España 1999.

*Plan de Estudios de Ingeniería Química*, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría". Cuba, 1999

Polasik, J; J Bullin: Design and optimisation of an integrated unit for amine sweetening, Claus sulfur and tail gas. Bryon Research and Eng. Inc. Bryon Texas, [www.bre.com/paper/clus-process.htm](http://www.bre.com/paper/clus-process.htm), 1999.

Seider, W; J Seader, D Lewin: *Process Design Principles: Synthesis Analysis and Evaluation*, John Wiley and Sons, USA, 1999.

Sendin, U: El proyecto GICC de Puertollano, *Ingeniería Química*, marzo, 67-73 (1995).

Shannon, R.E.: *Simulation modeling and methodology*. Winter Simulation Conference, December 1976, p. 9-15.

Treviño, M: Gasificación del carbón para generación eléctrica. *Potencia*, **6** [1] 15-18 (2000).

*Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Ed. B. Elvers, S. Hawkins, W. Russey, 1994.

Zumalacárregui, L: *Formación de valores en la carrera de Ingeniería Química*. Documento aprobado por el Colectivo de carrera de la Facultad de Ingeniería Química del ISPJAE, Cuba. Octubre, 1999.