

## APLICACIONES DE LA SIMULACIÓN DE REACTORES EN LA ENSEÑANZA DE INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA

*José Muñoz García*

*M<sup>a</sup> Carmen Alfaro Rodríguez*

*Cristina Cabeza Fernández*

Departamento de Ingeniería Química de la  
Universidad de Sevilla. Facultad de Química

### RESUMEN

En este artículo se describe una actividad de innovación educativa en el área de Ingeniería Química, cuyo objetivo principal ha sido mejorar la formación práctica que reciben los alumnos en la disciplina de Ingeniería de la Reacción Química. Para ello se ha ofrecido a todos los alumnos matriculados un cursillo intensivo en el simulador matemático POLYMATH, haciéndose hincapié en sus aplicaciones en cinética química aplicada y diseño de reactores químicos. El simulador se ha usado con notable eficacia por los alumnos en prácticas de simulación, como apoyo a prácticas de laboratorio y en los exámenes de problemas. El éxito de esta innovación queda patente por su incorporación al plan docente de la disciplina.

### ABSTRACT

This article describes an innovative educational project in the field of Chemical Engineering, whose main goal was to improve the practical skills of students involved in an undergraduate course of Chemical Reaction Engineering (CRE). First of all, all the students were offered a quick tour through POLYMATH simulation software, emphasizing its applications in applied kinetics and chemical reactor design. This simulation package has been successfully used by students for simulation processes and as an auxiliary tool either in the laboratory or in examinations. We have drawn the main conclusion that the design of our undergraduate course of CRE must include the current use of numerical analysis programs.

### 1. INTRODUCCIÓN

Este artículo se enmarca dentro de un proyecto de innovación educativa sobre la temática de estrategias de enseñanza realizado durante el curso 1999/2000 en el Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química de la Universidad de Sevilla.

La justificación del proyecto se basa en que hoy en día los cursos modernos de Ingeniería de la Reacción Química (IRQ) necesitan sacar partido de programas de simulación para usos

docentes y profesionales. De esta forma, los alumnos adquieren un mejor conocimiento de disciplina y desarrollan habilidades que son cada vez más demandadas por la industria química y afín.

Debe tenerse en cuenta que el impacto de los ordenadores en la universidad ha sido paralelo al ejercido en las empresas y en la sociedad en general. No obstante, debe reconocerse que en la universidad se han extendido más y, consecuentemente, se han utilizado con más eficacia en el entorno de los grupos de investigación y servicios administrativos que en docencia, siendo su implementación decreciente de tercer a segundo y a primer ciclo de enseñanza. Este hecho, se podría ilustrar con un ejemplo gráfico, adaptado del ofrecido en el prólogo del libro *Computers in Chemical Engineering Education* (Carnahan, 1996): una foto de una clase de Química Técnica tomada en la primera mitad de este siglo en España, no variaría significativamente de la que se podría tomar en una amplia mayoría de clases de muchas disciplinas de la Ingeniería Química tanto en nuestro país como en muchos países del mundo desarrollado. Un profesor, tiza en mano, hace sus desarrollos en la pizarra y los alumnos toman apuntes. La infrutilización de los ordenadores en la enseñanza universitaria de distintas ingenierías no es un problema exclusivo de nuestro país, tal como se deduce del estudio realizado por Jones (1998) respecto a los Estados Unidos de Norteamérica.

Esta situación debe cambiar lo antes posible en toda la enseñanza universitaria, pero principalmente en el campo científico-tecnológico, donde la importancia de los cálculos es vital de cara a la obtención rápida y fiable de resultados numéricos y, por ende, para el diseño y la toma de decisiones. La formación académica en las diversas ingenierías debe asegurar al inicio del siglo XXI unas habilidades mínimas en el manejo de ordenadores (Rugarcía y otros, 2000).

En el campo de la Ingeniería Química, y por supuesto en el caso concreto de la Ingeniería de la Reacción Química, es un hecho ampliamente aceptado que el uso de programas de simulación y cálculo avanzado es una necesidad para conseguir una mayor eficacia en la formación académica de los estudiantes (Al-Dahhan, 1995), (Kantor y Edgar, 1996).

Los programas de simulación con aplicaciones en IRQ han evolucionado hacia una mayor facilidad de uso y rapidez. De esta forma, hoy en día se cuenta con herramientas de cálculo avanzado que no requieren un largo entrenamiento informático, ni la necesidad para el usuario de escribir programas complejos.

El proyecto de innovación educativa se ha desarrollado principalmente en el marco de las prácticas de la asignatura. La utilización de programas de simulación como complemento de las prácticas de laboratorio presenta una serie de ventajas, entre las que se pueden destacar las siguientes:

- a) Procesos que serían demasiado grandes, complejos o arriesgados para ser desarrollados en el laboratorio pueden estudiarse mediante simulación.
- b) La simulación con ordenadores es relativamente barata comparada con el coste de construcción y mantenimiento (sobre todo de consumo de reactivos químicos) de equipos experimentales complejos y plantas piloto.

- c) Consideración medio-ambiental: reducción de la cantidad de productos químicos a retirar controladamente tras la finalización de prácticas de laboratorio o de planta piloto, sobre todo en procesos en continuo.

Una de las razones que condujo a la gestación de este proyecto de innovación educativa fue el alarmante vacío detectado en este tipo de contribuciones en el área de Ingeniería Química en la Universidad de Sevilla. Entre los objetivos concretos del proyecto se debe destacar la mejora de la formación de los estudiantes de IRQ de la Universidad de Sevilla, en el sentido de familiarizarlos con el uso común de herramientas de simulación de reactores químicos. Un objetivo adicional ha sido mejorar el rendimiento de los alumnos en los exámenes de problemas. Los alumnos han contado en dichos exámenes con un ordenador personal para cada uno de ellos, dotado de los programas de cálculo y simulación disponibles en el Aula Informática de la Facultad de Química. De este modo, se les ha proporcionado herramientas para facilitar los cálculos, permitiendo que se centren en las claves conceptuales de los problemas, disminuyendo significativamente la duración de los exámenes y el riesgo de lo que se podría denominar fatiga mental. Se pretendió conseguir como logro secundario de la actividad mejorar las técnicas de comunicación de los alumnos, orientándolos en el diseño de carteles para presentación de resultados.

Los contenidos que ha desarrollado este proyecto se centran en el cálculo computacional aplicado tanto a la cinética aplicada de las reacciones químicas como al diseño de reactores químicos.

## 2. METODOLOGÍA

El proyecto se ha aplicado a los alumnos de 4º curso de la especialidad Industrial de la Licenciatura en Química matriculados en la asignatura Físicoquímica de los Procesos Industriales, que desarrolla los contenidos propios de IRQ, con 12 créditos teóricos y de problemas, además de 6 créditos para prácticas de laboratorio y simulación de reactores químicos.

El número de alumnos matriculados a inicio de curso fue de 100, siendo repéitidores de la asignatura un 50% de los mismos. No se ofrece información sobre el porcentaje de repéitidores que habían seguido el curso realmente el año académico anterior, ni tampoco sobre el número total de asignaturas en las que se habían matriculado, ni sobre las posibles asignaturas pendientes.

El programa utilizado para desarrollar las simulaciones fue POLYMATH 4.1 (Shacham and Cutlip, 1998). Se trata de un conjunto de programas para análisis numérico, capaz de resolver sistemas de ecuaciones algebraicas tanto lineales como no lineales y sistemas de ecuaciones diferenciales sin necesidad de un entrenamiento complejo. Las actividades de la innovación se iniciaron con un seminario de 21 horas por alumno, dividiendo el curso en dos grupos, sobre los fundamentos y aplicaciones de dicho programa. La licencia de este programa permite la copia del mismo para los alumnos de esta Universidad, facilitando su uso como herramienta de trabajo en los ordenadores personales que nuestros estudiantes puedan tener en casa. Estos alumnos completan su formación sobre simulación en Ingeniería Química en 5º curso, dentro de las prácticas de Química Industrial y Economía, con el simulador PROII(SIMSCI Ltd.).

El entorno físico en el que se desarrolló el proyecto fue el Aula Informática FQ de Facultad de Química de la Universidad de Sevilla. Está dotada de 39 ordenadores conectados a Internet Pentium II a 350MHZ, impresora lá

ser y de inyección con tinta a color, básica para la confección de presentaciones en forma de cartel por los alumnos. La actividad en dicha aula cuenta con el apoyo de personal auxiliar desde las 8 a las 20 horas, de lunes a viernes. El proyecto de innovación se desarrolló contando con reserva de ocupación para los alumnos de prácticas de la asignatura.

Las actividades relacionadas con el proyecto se centraron en el período de prácticas de asignatura, en el que POLYMATH 4.1 se usó:

- a) como herramienta auxiliar en el análisis de datos experimentales de laboratorio, junto con EXCEL-97 (Microsoft Corporation) y ORIGIN 6.0 (Microcal Software, Inc) y
- b) como programa principal en los estudios de simulación de reactores químicos.

A continuación se citan algunos de los procesos que se han simulado utilizando POLYMATH 4.

1. Análisis de la explosión de un reactor discontinuo por fallo del sistema de refrigeración.
2. Determinación de perfiles de concentración en un reactor discontinuo en el que se desarrollan reacciones reversibles en paralelo.
3. Simulación de baterías de reactores adiabáticos tubulares en serie para una reacción reversible exotérmica.
4. Determinación de perfiles de conversión y temperatura en un reactor tubular no isotermo y no adiabático en un proceso a densidad variable.
5. Simulación de un reactor tubular en el que se dan reacciones múltiples en serie-paralelo.
6. Evaluación de las pérdidas de carga en un reactor de lecho fijo. Perfiles de conversión y temperatura.
7. Desactivación catalítica en reactores de lecho fluidizado y circulante.
8. Simulación de reactores químicos no ideales con el modelo de mezclado máximo.

La metodología seguida en las prácticas de simulación abarcó varias fases. La primera consistió en presentar a los alumnos implicados, distribuidos en parejas, casos de estudio básicos para cuya resolución tenían que llegar a las ecuaciones de diseño adecuadas. En esta fase se decidió que la interrelación alumnos-profesor fuera mínima. Una vez resuelto el caso base, la segunda fase consistió en fomentar la iniciativa de los alumnos respecto a la determinación de los parámetros clave del diseño del reactor y, sobre todo en realizar estudios de sensibilidad paramétrica en intervalos lógicos. La clave de esta fase fue que cada alumno de la pareja de prácticas propusiera preguntas del tipo ¿Qué pasa si...?, siguiendo las estrategias propuestas por Fogler y LeBlanc (1995) para la resolución de problemas creativos. En esta fase se aumentó la interacción profesor- alumnos para reducir el número de “atascos” en los desarrollos y comprobar la idoneidad de la selección de parámetros.

En la tercera etapa los alumnos diseñaron una presentación de los resultados en forma de cartel, cuya presentación preliminar fue discutida con el profesor. Tras un análisis crítico sobre la elección del título, selección de la información más relevante y organización de la misma, estrategia del uso del color y conclusiones, procedieron a la impresión definitiva del cartel, que posteriormente fue expuesto en las dependencias del Departamento de Ingeniería Química. En esta tercera fase, se fomentó la interrelación alumnos-profesor, con énfasis en la capacidad de retroalimentación de información tras la reunión de análisis inicial del trabajo presentado.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan las evaluaciones sobre la actividad de innovación realizadas por un grupo aleatorio de alumnos participantes en la misma, por observadoras de la Facultad de Ciencias de la Educación, seleccionadas por el I.C.E. de la Universidad de Sevilla y finalmente por el profesorado.

#### 3.1. EVALUACIÓN REALIZADA POR LOS ALUMNOS

Observadoras externas, del I.C.E. de la Universidad de Sevilla, analizaron el trabajo de uno de los grupos de alumnos implicados en esta actividad, y posteriormente entrevistaron a sus doce componentes. El profesorado de la asignatura no fue informado sobre la identidad de los doce entrevistados. De las encuestas realizadas (I.C.E. de la Universidad de Sevilla. Cuestionario de valoración de actividades, 2000) se han deducido los puntos fuertes y débiles de la actividad. A continuación, e listan y cuantifican por orden de apoyo los puntos fuertes, indicando el porcentaje de alumnos que expresaron estar muy de acuerdo o de acuerdo con la frase correspondiente:

1. *“La actividad relaciona la nueva información o problema con lo que he aprendido previamente”*: 92%.
2. *“Discutimos soluciones correctas e incorrectas de un problema”*: 92%.
3. *“La actividad nos da claves para resolver problemas pero no induce la respuesta”*: 83%.
4. *“Esta actividad me hace desarrollar otras destrezas instrumentales (manejo de herramientas, búsqueda documental, uso de biblioteca) en la forma de estudiar”*: 83%.
5. *“La actividad me ayuda a explorar, construir y conectar mis ideas”*: 75%.
6. *“Uso ideas e información que conozco para entender algo nuevo”*: 75%
7. *“Esta actividad mejora mi opinión sobre el contenido de la asignatura”*: 75%
8. *“En general, pienso que este tipo de actividades denota interés por parte del profesor hacia la docencia”*: 75%.
9. *“Esta actividad me hace desarrollar otras destrezas cognitivas (análisis, síntesis, crítica..) en el estudio”*: 67%.

10. "La actividad me anima a formular cuestiones y a discutir respuestas dadas en el libro": 67%.
11. "Encuentro nueva información acerca de los tópicos y materias usando herramienta tecnológicas": 67%.
12. "La actividad permite compartir mis ideas, respuestas y visiones con mi profesor y compañeros": 67%.
13. "La actividad clarifica los contenidos difíciles de la materia para hacerlos comprender mejor": 67%.
14. "La actividad sirve para aprender de lo que otros estudiantes piensan acerca de un problema y conocer sus puntos de vista": 58%.
15. "Esta actividad me motiva más a trabajar con esta asignatura": 58%.
16. "Me siento más implicada/o en esta asignatura que si trabajase de forma más teórica": 58%.

Los ítems con un apoyo del orden del 50% no se detallan, aunque sí los asociados a los puntos débiles de la actividad, que se han asociado a las afirmaciones con un porcentaje de acuerdo inferior al 50%. A continuación se listan los puntos débiles en orden decreciente de valoración:

1. La actividad me da retroacción y facilita el seguimiento del profesor, mientras resuelvo un problema": 42%.
2. La actividad me presenta suficiente información para ayudarme a tener éxito": 33%
3. "Mis compañeros y yo sugerimos posibles problemas educativos y tareas": 33%.
4. "La actividad ha cambiado mi actitud como alumno...en la manera de afrontar los estudios": 33%.
5. "La actividad ha cambiado mi visión sobre el papel del alumno universitario": 25%
6. "La actividad, mediante esquemas, diagramas o ilustraciones de las ideas principales, clarifica los contenidos difíciles de la asignatura": 25%.

### 3.2. EVALUACIÓN DE OBSERVADORAS EXTERNAS

Del informe emitido por las evaluadoras externas se puede destacar como aportaciones más interesantes que se utilizó el ordenador como material didáctico, se fomentó el trabajo en grupo, dependiendo la buena marcha del trabajo, en régimen de colaboración, de la participación activa y coherente de sus miembros y de su capacidad de desarrollar actitudes de tolerancia y empatía. Por otro lado, hacen hincapié en que durante la realización de los trabajos la relación alumnos-profesor fue muy baja, señalando como aspecto negativo que la ayuda del profesorado no era suficientemente rápida en caso de "atasco" y como aspecto positivo, el desarrollo de la autonomía, responsabilidad y autosuficiencia de los alumnos. No obstante debe precisarse que dichas observadoras no inspeccionaron el trabajo realizado en la fase 3, a

utilizarse tutorías en horario variable dependiendo de los compromisos de los alumnos y profesorado.

### 3.3. EVALUACIÓN POR PARTE DEL PROFESORADO

La valoración del profesorado abarca la preparación del material, gestión administrativa y seguimiento del proyecto, curso de introducción a POLYMATH 4.1, uso del programa en las prácticas de laboratorio y sobre todo de simulación, y finalmente, en los exámenes de problemas. La opinión del profesorado, aún siendo subjetiva, tiene la ventaja de que tiene en cuenta la respuesta de la totalidad de los estudiantes implicados en todas las fases del proyecto y los resultados académicos conseguidos. La conclusión es que la valoración es bastante positiva, aunque se han detectado factores que influyeron negativamente en el desarrollo de la misma:

1. El número de profesores implicados en esta actividad ha sido insuficiente. Se ha echado en falta una mayor relación número de profesores/número de alumnos para lograr un apoyo más fluido a los trabajos. En consecuencia, el tiempo global dedicado por el profesorado ha sido superior al esperado.
2. El conocimiento previo de ordenadores de los alumnos ha sido muy dispar, existiendo tanto usuarios avanzados como noveles en el campo de la informática.
3. Los alumnos han considerado esta actividad como una sobrecarga, sobre todo cuando se ha realizado en fechas próximas a exámenes. De hecho, un número significativo de alumnos han invertido más tiempo del inicialmente previsto.
4. La administración ha resultado ser lenta para resolver problemas tan aparentemente simples como la baja por enfermedad de un auxiliar del aula informática, encargado entre otras funciones de la seguridad y control de las instalaciones.

Entre las ventajas que hemos comprobado respecto a las aplicaciones de POLYMATH 4.1 en un curso de Ingeniería de la Reacción Química se pueden destacar:

1. Las explicaciones del profesor han podido centrarse en los principios fundamentales de la materia sin tener que invertir un elevado tiempo en aplicar complejos métodos de cálculo. Por su parte, el alumno no se ha distraído con largos y tediosos desarrollos matemáticos de métodos numéricos.
2. Se ha facilitado al alumno una herramienta para llegar a soluciones numéricas que no podrían haberse determinado en un tiempo razonable con calculadoras convencionales. Téngase en cuenta que en Ingeniería de la Reacción Química, llegar a resultados finales cuantitativos es fundamental para conseguir un cierto sentido físico del diseño propuesto para el reactor y por tanto desarrollar un deseable sentido crítico.
3. El alumno se ha centrado en el análisis y exploración de los problemas, consiguiendo un desarrollo intuitivo del comportamiento de reacciones y reactores químicos. Se ha confirmado, también en nuestro caso, la hipótesis de Montgomery y Fogler (1996) de que el uso de programas de simulación siguiendo esta estrategia permite al alumno entender mejor los procesos bajo estudio.

4. Se han podido realizar estudios sobre la influencia de diversas condiciones de operación. Esto ha permitido, por ejemplo, acotar las condiciones de seguridad en el funcionamiento de reactores.
5. Cada caso práctico se ha podido convertir en un problema personalizado y abierto permitiendo aumentar la creatividad de los alumnos y mejorar su capacidad de modelización, factores que les serán útiles en su vida profesional.
6. Se han mejorado las habilidades de comunicación y concreción de los alumnos, que han utilizado generalmente, carteles para resumir y presentar de la forma más adecuada la información esencial de sus trabajos.
7. En general, la motivación observada en los alumnos ha sido muy satisfactoria, aunque se ha visto influida por la naturaleza del caso de estudio concreto que han debido desarrollar y por su formación tanto en los principios de la materia como en ordenadores.
8. Se cuenta con bibliografía sobre las aplicaciones del programa en IRQ (Brauner y otros, 1996), (Fogler, 1999), (Cutlip y Shacham, 1999). De esta forma, es más fácil y útil para el alumno desarrollar los métodos numéricos que si utilizara programas equivalentes o más completos, pero que sean más complicados de utilizar. Además, las aplicaciones en IRQ de algunos excelentes programas no se encuentran en libros de texto y sólo en algunas publicaciones en revista (Taylor y Atherley, 1995), (Dorgan y McKinnon, 1996), (Kofke y otros, 1996).
9. Los resultados obtenidos por los alumnos tanto en las prácticas de simulación como en los exámenes, respecto a las habilidades asociadas a las aplicaciones de la simulación de reactores químicos, han sido satisfactorios.

A continuación se presenta y analiza una tabla en la que se recogen los rendimientos académicos obtenidos por los alumnos matriculados en Físicoquímica de los Procesos Industriales en la primera convocatoria (junio) de los últimos 5 cursos. Así mismo se presentan los valores medios de los cuatro cursos anteriores al curso en que se introdujo la actividad de innovación analizada en este artículo. De esta forma se facilita el análisis comparativo de los datos (ver figura 1).

Tabla 1. Porcentaje de alumnos no presentados (NP), suspensos (SUSP), aprobados (APR), notables (NOT), sobresalientes (SOB) y matrículas de honor (MH) en Físicoquímica de los Procesos Industriales desde el curso 1995/1996 curso 1999/2000.

CURSO	MH	SOB	NOT	APR	SUSP	NP
1995/1996	1,53	4,62	4,62	20,0	13,9	55,4
1996/1997	0	4,00	13,3	20,0	4,00	58,7
1997/1998	0	4,05	5,41	18,9	14,9	56,7
1998/1999	0	0	13,1	21,4	9,52	56,0
<b>Media 95/99</b>	<b>0,385</b>	<b>3,17</b>	<b>9,12</b>	<b>20,1</b>	<b>10,6</b>	<b>56,7</b>
1999/2000	2,38	7,14	11,9	21,4	10,7	46,4



Las calificaciones alcanzadas en junio entre los cursos 95/96 y 98/99 se caracterizan por presentar una alta regularidad en el porcentaje de aprobados y en el de no presentados. El de sobresalientes es bastante regular si se descarta el atípico dato correspondiente al curso 1998/1999. Un fenómeno similar se aprecia para el porcentaje de suspensos, constituyendo la excepción esta vez el curso 1996/97. Las mayores desviaciones se han observado en el porcentaje de notables, siendo anecdótica la contribución de las matrículas de honor. La comparación de las calificaciones medias entre 1995 y 1999 con las obtenidas en el curso 1999/2000, indican que en el último curso los alumnos encontraron más motivaciones para presentarse al examen; de hecho la diferencia es de unos 10 puntos. Los porcentajes de suspensos y alumnos con una calificación de aprobado fueron prácticamente idénticos. Por el contrario, afortunadamente, las mayores diferencias en calificaciones se han observado en los notables, sobresalientes y matrículas de honor. En las tres categorías, los resultados obtenidos en el curso 1999/2000 han sido claramente mejores que los correspondientes a la media de los cuatro años anteriores. Además, el porcentaje total de actos en la asignatura subió unos 10 puntos, del 32,8 al 42,8%. Esta mejora puede ser parcialmente consecuencia del éxito de la sistematización del uso de ordenadores tanto como para simulación de reactores químicos, como una herramienta que permite abordar el estudio de la materia de una forma más abierta y mejorar el rendimiento de los alumnos en los exámenes.

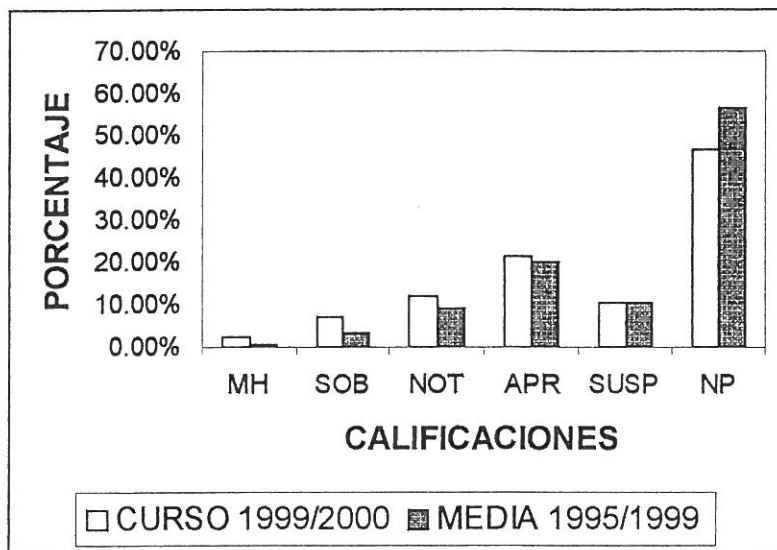


Figura 1. Porcentaje de matrículas de honor, sobresalientes, notables, aprobados, suspensos y no presentados en las primeras convocatorias (junio) de Físicoquímica de los Procesos Industriales. Comparación de las calificaciones medias entre los cursos 95/96 y 98/99 con las obtenidas en el 1999/2000.

#### 4. CONCLUSIONES

La implementación de un programa de aplicación de métodos numéricos para aplicaciones en estudios de simulación de reactores químicos ha permitido mejorar la formación práctica de los alumnos en la materia de Ingeniería de la Reacción Química. Se ha comprobado que contribuye a clarificar algunos aspectos de la materia, favoreciendo el desarrollo de habilidades de los alumnos, como su autonomía, creatividad, desarrollo de sentido crítico ante resolución de problemas personalizados y abiertos. Se han promocionado las habilidades de comunicación de los alumnos, instruyéndolos en el diseño de carteles para presentar sus trabajos. Se ha favorecido la colaboración e interacción entre los alumnos, favoreciendo actitudes de tolerancia y empatía. Se ha conseguido una mayor motivación en los alumnos y, como consecuencia, un rendimiento académico superior al encontrado en cursos anteriores. Se ha constatado también la necesidad de aumentar la relación número de profesores/número de alumnos para un desarrollo óptimo de este tipo de actividades. El éxito de esta actividad ha justificado su incorporación al plan docente de la asignatura.

#### 5. REFERENCIAS

- AL-DAHMAN, M.H. (1995). *Computing in the Undergraduate ChE Curriculum*. Chem. Eng. Ed., 29, 3, 198-203.
- BRAUNER, N., SHACHAM, M. Y CUTLIP, M.B. (1996). -*Computational Results- How Reliable are they?. A Systematic Approach to Model Validation*. Chem. Eng. Ed., 30, 1, 20-25.
- CARNAHAN, B. (1996) *Computers in Chemical Engineering Education*. Austin. CACHE Corp.
- CUTLIP, M.B. Y SHACHAM, M. (1999) *Problem Solving in Chemical Engineering with Numerical Methods*. Upper Saddle River, Prentice Hall.
- DORGAN, J. R., MCKINNON, J.T. (1996). *Mathematica in the ChE Curriculum*. Chem. Eng. Ed., 30, 2, 136-141.
- FOGLER, H.S. y LEBLANC, S.E. (1995). *Strategies for Creative Problem Solving*. Upper Saddle River, Prentice Hall.
- FOGLER, H.S. (1999) *Elements of Chemical Reaction Engineering*. Upper Saddle River, Prentice Hall.
- INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2000) *Cuestionario de valoración de las actividades de ayuda a la docencia universitaria*. Sevilla.
- JONES, J.B. (1998). *The Non-Use of computers in Undergraduate Engineering Science Courses*. J. Engr. Ed., 87, 1, 11-16.
- KANTOR, J.C. Y EDGAR, T.F.(1996). Computing skills in the Chemical Engineering curriculum, en *Computers in Chemical Engineering Education*. B. CARNAHAN (ed), Austin. CACHE Corp.

- KOFKE, D.A., GROSSO, M.R., GOLLAPUDI, S. Y LUND, C.R.F. (1996) -CESL- *The Chemical Engineering Simulation Laboratory*. Chem. Eng. Ed., 30, 2, 114-119.
- MONTGOMERY, S. Y FOGLER, H.S. (1996). *Interactive Computer-Aided Instruction, en Computers in Chemical Engineering Education*. B. CARNAHAN (ed). Austin. CACHE Corp.
- RUGARCIA, A., FELDER, R.M., WOODS, D.R. Y STICE, J.E. (2000). *The future of engineering education. Part 1. A vision for the new century*. Chem. Eng. Ed., 34, 1, 16-25.
- SHACHAM, M. y CUTLIP, M.B. (1998). *Polymath 4.1 Users' Manual*. Austin. CACHE Corporation.
- TAYLOR, R. Y ATHERLEY, K. (1995). *Chemical Engineering with MAPLE*. Chem. Eng. Ed., 29, 1, 56-61.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de D<sup>a</sup>. Pilar Trujillo Aguilera, auxiliar del Aula Informática de la Facultad de Química de la Universidad de Sevilla por su constante apoyo al profesorado y alumnos implicados en este proyecto de innovación educativa.

Asimismo, los autores desean expresar su agradecimiento al Instituto de Ciencias de la Educación (I.C.E.) de la Universidad de Sevilla por la financiación de este trabajo mediante la concesión de una ayuda en el marco del Programa de Calidad de la enseñanza: convocatoria de ayudas a la docencia universitaria para la innovación en el curso 1999/2000.