

Estudio sobre las dificultades de los estudiantes de ingeniería química en la interpretación de diagramas triangulares rectangulares

Study on the difficulties of the students in chemical engineering in the interpretation of ternary phase diagrams

Lorena Hernández-Pérez^a, Manuel César Martí-Calatayud^b y María Teresa Montañés^c

^aInstituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental, Universitat Politècnica de València, loherpre@upvnet.upv.es,  ORCID 0000-0002-9184-6639, ^bDepartamento de Ingeniería Química y Nuclear, Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental, Universitat Politècnica de València, mcmarti@iqn.upv.es,  ORCID 0000-0002-0745-1918 y ^cDepartamento de Ingeniería Química y Nuclear, Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental, Universitat Politècnica de València, tmontane@iqn.upv.es,  ORCID 0000-0002-2620-6926.

How to cite: Lorena Hernández-Pérez, Manuel César Martí-Calatayud y María Teresa Montañés. 2022. Estudio sobre las dificultades de los estudiantes de ingeniería química en la interpretación de diagramas triangulares rectangulares. En libro de actas: *VIII Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. Valencia, 6 - 8 de julio de 2022. <https://doi.org/10.4995/INRED2022.2022.15914>

Abstract

The present study has been carried out in an experimental subject of the Degree in Chemical Engineering of the Universitat Politècnica de València. The study is focused on the results of a test answered by the students about the use of ternary diagrams in one of the laboratory practice sessions. In particular, we analyzed the interpretation by the students of the ternary phase diagrams applied to the solid-liquid extraction process. From the analysis of the answer of 56 students, it can be concluded that the interpretation of binary and pure systems was successful for the major part of the students. However, the students made more mistakes in the interpretation of ternary systems.

Keywords: *ternary phase diagrams, graphs interpretation, ternary systems, chemical engineering.*

Resumen

La presente investigación se ha llevado a cabo en una asignatura experimental del Grado en Ingeniería Química de la Universitat Politècnica de València. Se han analizado los resultados de los test que han realizado los estudiantes acerca de los conceptos desarrollados en una de las prácticas de laboratorio. En particular, se ha evaluado la interpretación de diagramas triangulares rectangulares por parte de los estudiantes en su aplicación al proceso de extracción sólido-líquido. Tras analizar las respuestas de 56 estudiantes, se ha concluido que la interpretación de sistemas binarios y de un solo componente se ha llevado a cabo de forma correcta en la mayoría de casos. Sin embargo, en

la interpretación de sistemas ternarios los estudiantes han incurrido en errores en una mayor proporción.

Palabras clave: diagramas triangulares rectangulares, interpretación de gráficos, sistemas ternarios, ingeniería química.

1. Introducción

Los diagramas XY tienen infinidad de aplicaciones en campos muy diversos. Es por ello que a los estudiantes no les resulta complicado la comprensión de los mismos. Al comenzar los estudios de ingeniería todos los estudiantes están familiarizados con ellos en mayor o menor medida. Sin embargo, en ingeniería se utilizan, además de los diagramas XY, otros diagramas que son más adecuados para explicar ciertos fenómenos característicos, por ejemplo, diagramas logarítmicos o diagramas triangulares rectangulares (Martí-Calatayud, Santafé-Moros, Gozávez-Zafrilla, 2020).

Una correcta interpretación de los diagramas requiere de un dominio de los conceptos teóricos asociados a los datos representados en el gráfico, así como de habilidades visuales para su comprensión (Freedman y Shah, 2002). Es necesario resaltar la importancia de la interpretación de gráficos para los estudiantes de ingeniería, tanto durante la realización de sus estudios universitarios, como en su futuro laboral (Bowen y Roth, 1998; Bowen y Roth, 2004; Valiente y Galdeano, 2014). Esta capacidad es esencial para la resolución de problemas de ingeniería, diseño, física o matemáticas (Martín, 2010). Por ello, es importante facilitar a los alumnos las herramientas necesarias para la comprensión e interpretación de diagramas de distinto tipo.

Los diagramas triangulares rectangulares se emplean en ingeniería química para representar sistemas ternarios (es decir, sistemas formados por tres componentes). Para un sistema M formado por tres componentes, A, B y C, se puede representar su composición en un diagrama triangular rectangular (Fig. 1), en el que cada uno de los vértices representa un componente puro, en el eje vertical (eje y) se representa el porcentaje de componente A presente en el sistema M y en el eje horizontal (eje x), el porcentaje de composición de B en el sistema M; el porcentaje de componente C en el sistema M corresponde a la distancia de M hasta la hipotenusa y viene dado por $100 - \%A - \%B$.

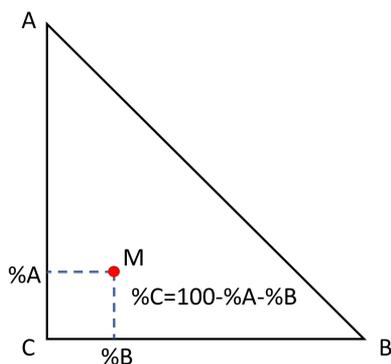


Fig. 1 Diagrama triangular rectangular

1.1. Contexto de la asignatura

La presente innovación ha sido aplicada a la asignatura de Experimentación en Ingeniería Química II impartida en el tercer curso del Grado en Ingeniería Química de la Universitat Politècnica de València. Se trata de una asignatura experimental que consta de 4.5 créditos ECTS. La asignatura se divide en prácticas de laboratorio y prácticas informáticas. Se realizan ocho sesiones experimentales y cuatro sesiones informáticas. La evaluación de la asignatura se lleva a cabo mediante los siguientes actos: una prueba escrita de respuesta abierta, con un peso de 40% sobre la nota final; ocho trabajos académicos, es decir, una memoria por cada una de las prácticas de laboratorio, con un peso total de 48%; y, cuatro test con preguntas relacionadas con las prácticas de laboratorio, con un peso sobre la nota final de 12%.

1.2. Aplicación de los diagramas triangulares rectangulares a la extracción sólido-líquido

Una de las aplicaciones en ingeniería de los diagramas triangulares rectangulares es la resolución y representación de procesos de extracción sólido-líquido. En una extracción sólido-líquido se produce la disolución de un compuesto inicialmente presente en un sólido por contacto con un disolvente líquido. En este proceso la materia prima o alimentación (F), compuesta por el inerte y el soluto, se pone en contacto con el disolvente (D), y tras un tiempo, en el cual tiene lugar la extracción, se pueden separar dos fases como producto (Fig. 2):

- Refinado (R): formado por el inerte y el soluto no extraído, que además contendrá parte del disolvente dentro de los poros del sólido.
- Extracto (E): formado, principalmente, por el disolvente y el soluto extraído.

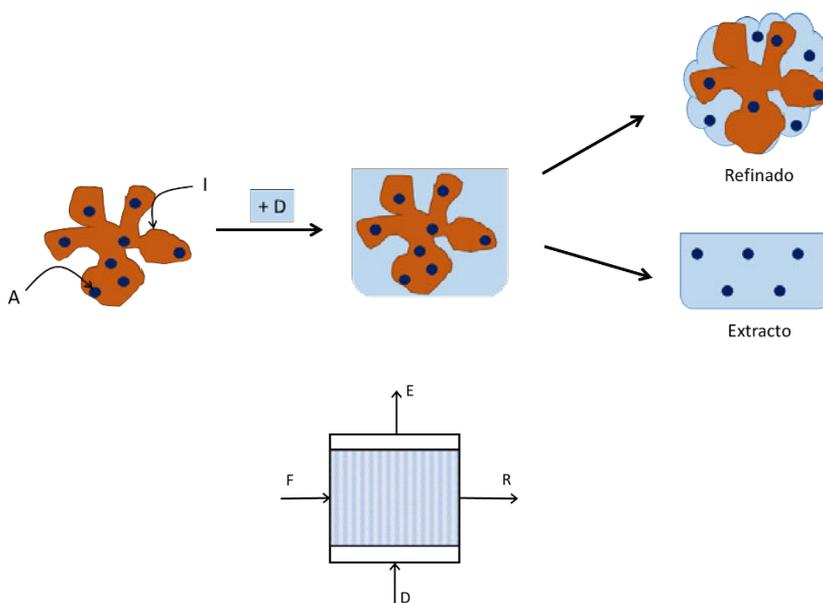


Fig. 2 Esquema del proceso de extracción sólido-líquido

En un diagrama triangular aplicado a la extracción sólido-líquido (Fig. 3), los componentes puros que se representan en los vértices del diagrama son los siguientes:

- Inerte (I): sólido insoluble.
- Disolvente (D): líquido que permite extraer el compuesto de interés.

- Sólido (A).

Los lados del diagrama reflejan las distintas composiciones del sistema formado por mezclas binarias (aquellas formadas por dos componentes). Normalmente, la composición de la alimentación (F) se encuentra en el eje horizontal, pues, en el caso de tratarse de alimentación seca (sin presencia de líquido disolvente), estará formada por sólido e inerte.

Los puntos dentro del área del triángulo se corresponden con sistemas ternarios, en los que están presentes los tres componentes, inerte, disolvente y sólido. En la Fig. 3, el punto M corresponde a la mezcla resultante de juntar el alimento F con el disolvente puro D en un proceso ideal. En el caso de llevarse a cabo un proceso de extracción ideal se asume que la etapa de separación física es perfecta y que se obtiene un extracto completamente clarificado, libre de sólidos (con un contenido nulo en el componente I). La composición del extracto (E) está sobre la hipotenusa al estar formado solo por disolvente y sólido. En cambio, el refinado (R) contiene las tres fases, por lo que se encuentra dentro del triángulo y su ubicación exacta en la curva se obtiene de forma experimental.

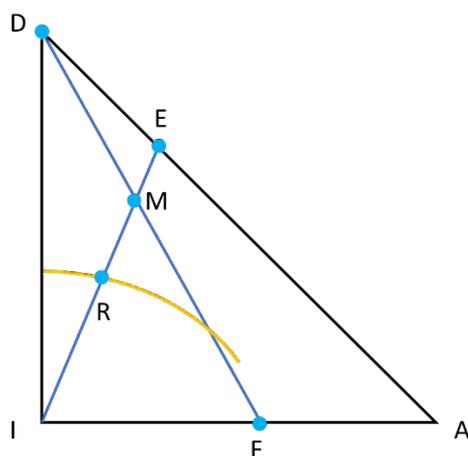


Fig. 3 Diagrama triangular rectangular aplicado a la extracción sólido-líquido

En el presente trabajo se analizan los resultados de un test realizado por alumnos de tercer grado en Ingeniería Química, donde se pretende evaluar su comprensión de los diagramas triangulares rectangulares e identificar cuáles son los errores más comunes en su interpretación. El trabajo se enfoca únicamente en la práctica de laboratorio “Extracción sólido-líquido”. El objetivo final del estudio reside en recabar *feedback* para mejorar la metodología de enseñanza-aprendizaje relacionada con la interpretación de estos diagramas para el curso siguiente, mediante un refuerzo o énfasis sobre aquellos conceptos que no han sido aprendidos por el estudiantado.

2. Objetivos

Los objetivos del estudio son los siguientes:

- Analizar las respuestas de los estudiantes en un test acerca de la interpretación de los diagramas triangulares rectangulares.
- Evaluar los errores más comunes en la interpretación de estos diagramas.

3. Desarrollo de la innovación

La investigación se ha llevado a cabo en la asignatura experimental Experimentación en Ingeniería Química II del tercer curso del Grado en Ingeniería Química. La asignatura se divide en prácticas de laboratorio y prácticas informáticas. El estudio está centrado en una de las prácticas de laboratorio: Extracción sólido-líquido.

3.1. Práctica de laboratorio: Extracción Sólido-Líquido

La práctica de laboratorio analizada tiene como objetivo el estudio de una etapa de equilibrio para un sistema sólido-líquido, en concreto, la extracción de la sacarosa procedente de algarrobas utilizando agua como disolvente. A partir de este estudio los estudiantes han de determinar la curva de equilibrio de dicho sistema, en la cual se ubican los puntos del refinado para distintas mezclas Alimento-Disolvente.

Antes de la realización de la práctica de laboratorio, el guion de dicha práctica se pone a disposición del alumnado a través de PoliformaT para que puedan leerlo previamente para una mejor comprensión y realización de la misma. El guion cuenta con una Introducción teórica donde se explica la operación de extracción sólido-líquido, haciendo hincapié en la etapa de equilibrio, los balances de materia necesarios y la determinación de las relaciones de equilibrio mediante el uso de los diagramas triangulares rectangulares. El guion también incluye los pasos a seguir en el procedimiento experimental para la determinación del tiempo de equilibrio y de la curva de refinado. Por último, en el guion se detallan los cálculos que se han de realizar y una guía para la presentación de los resultados y discusión de los mismos.

La práctica de laboratorio se divide en dos partes; en una primera parte, el profesor explica los conceptos teóricos, es decir, la introducción teórica, y posteriormente, los estudiantes se dividen en grupos para llevar a cabo los experimentos.

Tras la realización de la práctica, cada grupo ha de realizar una memoria de la misma que debe incluir los resultados obtenidos y su discusión, así como las conclusiones. En la memoria, los alumnos deben representar en un diagrama triangular rectangular los datos experimentales que han obtenido en la práctica de laboratorio.

3.2. Introducción de test en las prácticas informáticas

En la distribución de la asignatura está planteada la realización de una práctica informática tras cada dos prácticas de laboratorio. El objetivo de estas prácticas informáticas es que los estudiantes puedan trabajar en la elaboración de las memorias de las prácticas de laboratorio, junto con la tutorización del profesorado. Al llevar a cabo el tratamiento de los datos en una clase presencial con el profesor, se facilita que los alumnos puedan preguntar sus dudas de manera dinámica, fomentando así la interacción profesor-alumno.

Para que los resultados finales de las prácticas sean correctos es muy importante que los alumnos no cometan errores en la interpretación de los diagramas triangulares rectangulares. En el curso académico 2021-22, con el objetivo de reforzar los conceptos que los estudiantes han adquirido en las prácticas de laboratorio, se han introducido test evaluables en las prácticas informáticas. Los test incluyen cuestiones acerca de las dos prácticas de laboratorio anteriores. En concreto, los test constan de una cuestión relacionada con cada práctica.

4. Resultados

Los test se generan de manera aleatoria a partir de una batería de seis cuestiones relacionadas con la interpretación de diagramas triangulares rectangulares en operaciones de extracción sólido-líquido. Las preguntas y el porcentaje de alumnos que han respondido correctamente cada una de ellas se presentan en la Tabla 1. El test fue realizado por un total de 56 estudiantes. Durante la realización del test los estudiantes tenían acceso a la Fig.2 y al significado de las siglas: A (soluto), D (disolvente), I (inerte), F (*Feed* o alimentación) y M (punto de mezcla).

Las preguntas están orientadas a contrastar la capacidad adquirida por los alumnos para ubicar en los diagramas los diferentes sistemas que pueden estar presentes en una extracción sólido-líquido; estos son: componentes puros, sistemas binarios y sistemas ternarios.

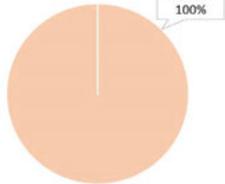
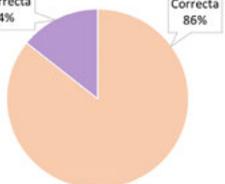
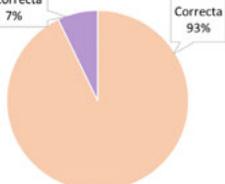
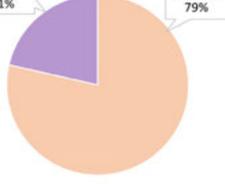
En líneas generales, las preguntas relacionadas a la localización de puntos representativos de sistemas con dos componentes o un solo componente han sido contestadas correctamente. La Pregunta 1 ha sido contestada correctamente por el 100% de alumnos que han tenido esta cuestión en su test (9); en ella se hace referencia al extracto, que es un sistema de dos componentes, pues se especifica en el enunciado que no contiene inerte. La Pregunta 2, al igual que la primera pregunta, hace referencia a un sistema de dos componentes y tiene un porcentaje de aciertos del 86%: de 7 personas que han contestado la cuestión, 6 de ellas lo han hecho de forma correcta. La Pregunta 3 ha sido respondida por 15 personas de las cuales solamente una ha contestado incorrectamente. Pese a ser una pregunta sobre un sistema ternario, el porcentaje de error es muy bajo; esto puede ser debido a que es un caso que ha sido trabajado durante la realización de la práctica de laboratorio, por lo que ha ayudado a los estudiantes a interiorizar este tipo de sistemas. Las dos siguientes preguntas (4 y 5) se refieren a la alimentación del proceso extracción sólido-líquido, es decir, la algarroba. En la Pregunta 4 se trata de una alimentación seca, por lo que el sistema tiene dos componentes, soluto e inerte; esta cuestión ha aparecido 14 veces, de las cuales 11 veces ha sido contestada de manera correcta. La Pregunta 5 hace referencia a una alimentación húmeda, es decir, un sistema ternario en el cual la algarroba presenta parte de agua (disolvente); en este caso el porcentaje de aciertos es del 60% y ha aparecido 5 veces. Por último, la cuestión con menor índice de aciertos es la Pregunta 6 (44%, con 9 respuestas). La última cuestión pregunta al estudiante dónde debe ubicarse un determinado sistema ternario; la diferencia con las anteriores reside en que se refiere al extracto obtenido, el cual se ha definido como un sistema de dos componentes (soluto y disolvente) si el proceso era ideal. En esta cuestión el estudiante ha de leer correctamente que el extracto contiene inerte, es decir, la etapa de separación no es ideal y, por tanto, el producto contiene tres componentes. La mayoría de los alumnos han elegido la opción C interpretando que el extracto contiene inerte en lugar de disolvente.

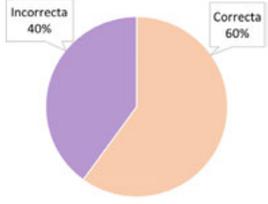
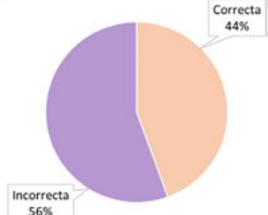
Tras analizar los resultados obtenidos en el test, se puede concluir que:

- La mayoría de los estudiantes no ha tenido problemas en ubicar sistemas de dos componentes o componentes puros.
- La interpretación de los diagramas para sistemas ternarios ha sido errónea en algunos de los estudiantes. Estos errores pueden ser debidos a dos causas:
 - Los sistemas ternarios se encuentran dentro del área del triángulo, a diferencia de los otros dos sistemas con dos y un componente que se ubican en los ejes y vértices del triángulo, respectivamente, los cuales se asemejan a los diagramas XY con los que los estudiantes están más familiarizados.

- Los estudiantes han de comprender los conceptos teóricos de la extracción sólido-líquido para poder comprender un proceso en condiciones no ideales.

Tabla 1. Preguntas y resultados del test

<p>Pregunta 1. En caso de que el extracto de una extracción sólido-líquido no contenga sólido inerte, el punto representativo de su composición en un diagrama triangular rectangular estará...</p>	
<p>A. En la hipotenusa B. Dentro del área encerrada por el triángulo C. En la base del diagrama</p>	 <p>Correcta 100%</p>
<p>Pregunta 2. En la práctica de Extracción Sólido-Líquido, si se emplea un disolvente que contiene parte de soluto, el punto representativo de su composición en un diagrama triangular rectangular estará...</p>	
<p>A. En el vértice superior B. En el vértice inferior derecho C. En la hipotenusa</p>	 <p>Incorrecta 14% Correcta 86%</p>
<p>Pregunta 3. Se realiza una Extracción Sólido-Líquido mezclando 20 g de algarroba seca y 100 ml de agua desionizada. El punto representativo de la composición promedio de la mezcla en agitación M en un diagrama triangular rectangular estará...</p>	
<p>A. En algún punto de la línea que une D y F B. En la hipotenusa C. En la base del diagrama</p>	 <p>Incorrecta 7% Correcta 93%</p>
<p>Pregunta 4. En la práctica de Extracción Sólido-Líquido, si se emplea algarroba seca (<i>Feed</i>), el punto representativo de su composición en un diagrama triangular rectangular estará...</p>	
<p>A. En la base del diagrama B. En el vértice correspondiente a A puro C. Dentro del área encerrada por el triángulo</p>	 <p>Incorrecta 21% Correcta 79%</p>

<p>Pregunta 5. En la práctica de Extracción Sólido-Líquido, si se emplea algarroba húmeda (<i>Feed</i>), el punto representativo de su composición en un diagrama triangular rectangular estará...</p> <p>A. En la base del diagrama B. En el vértice correspondiente a D puro C. Dentro del área encerrada por el triángulo</p>	 <table border="1"><thead><tr><th>Respuesta</th><th>Porcentaje</th></tr></thead><tbody><tr><td>Correcta</td><td>60%</td></tr><tr><td>Incorrecta</td><td>40%</td></tr></tbody></table>	Respuesta	Porcentaje	Correcta	60%	Incorrecta	40%
Respuesta	Porcentaje						
Correcta	60%						
Incorrecta	40%						
<p>Pregunta 6. En caso de que el extracto de una extracción sólido-líquido contenga sólido inerte, el punto representativo de su composición en un diagrama triangular rectangular estará...</p> <p>A. En la hipotenusa B. Dentro del área encerrada por el triángulo C. En la base del diagrama</p>	 <table border="1"><thead><tr><th>Respuesta</th><th>Porcentaje</th></tr></thead><tbody><tr><td>Correcta</td><td>44%</td></tr><tr><td>Incorrecta</td><td>56%</td></tr></tbody></table>	Respuesta	Porcentaje	Correcta	44%	Incorrecta	56%
Respuesta	Porcentaje						
Correcta	44%						
Incorrecta	56%						

5. Conclusiones

En primer lugar, se puede concluir que el empleo de diagramas triangulares rectangulares en una asignatura experimental fomenta el aprendizaje profundo de los conceptos relacionados con su interpretación de manera más eficaz que si solo fueran explicados durante una clase magistral en una asignatura de teoría. Además, debido a que los estudiantes emplean los diagramas en la resolución de la práctica de laboratorio, estos pueden detectar cualquier duda que les surja en la interpretación de los mismos, así como reforzar su comprensión.

En general, los estudiantes no han presentado dificultades en la interpretación de los diagramas para sistemas de dos componentes o componentes puros. Estos sistemas muestran similitudes con diagramas de dos ejes, que presentan una menor complejidad en su interpretación. En cambio, el análisis de estos diagramas para sistemas ternarios ha manifestado un mayor nivel de dificultad. Esto es debido a que es necesario comprender los conceptos teóricos inherentes al proceso de extracción para realizar una correcta interpretación de los diagramas para sistemas ternarios.

Con todo ello, se puede concluir que para los siguientes cursos académicos será necesario profundizar en los conceptos teóricos relacionados con un sistema ternario y el proceso de extracción sólido-líquido. Además, se podría tratar de forma experimental en el laboratorio un caso en el que la etapa de separación de refinado y extracto no sea perfecta y se obtenga parte de inerte en el extracto. En principio, se esperaría que los alumnos fallasen menos en la última cuestión, al haber trabajado con el sistema en el laboratorio.

6. Referencias

- Bowen, G.M. y Roth, W.M. (1998). Lecturing graphing: What features of lectures contribute to student difficulties in learning to interpret graph?. *Research in Science Education*, vol. 28, núm. 77.
- Bowen, G.M. y Roth, W.M. (2004). Data and graph interpretation practices among preservice science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 42, núm. 10, p. 1063-1088.

Freedman, E. y Shah, P. (2002). Toward a model of knowledge-based graph comprehension. International conference on theory and application of diagrams. Berlin, Heidelberg: Springer. p. 18-30

Martí-Calatayud, M.C., Santafé-Moros, A. y Gozávez-Zafrilla, J. M. (2020). ¿Interpretan los alumnos de ingeniería química los gráficos logarítmicos correctamente? Desarrollo de una herramienta para mejorar su precisión. IN-RED 2020 VI Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València. 1015-1024

Martín Gutiérrez, J. (2010, Marzo). Estudio y evaluación de contenidos didácticos en el desarrollo de las habilidades espaciales en el ámbito de la ingeniería. Vol. I. [Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de València]. RiuNet repositorio UPV. <http://hdl.handle.net/10251/7527>

Valiente Banderas, A. y Galdeano Bienzobas, C. (2014). Habilidades espaciales y competencias en Ingeniería Química. Educación Química, vol. 25, núm. 2, p. 154-158.