

Evaluación del desempeño estudiantil mediante una herramienta computacional y guía teórico-práctica en la operación unitaria lixiviación

Assessment of student performance using a computational tool and theoretical-practical guide in the leaching unitary operation

Gian Franco RONCALLO Bolívar [1](#); Kelly Johanna BARRIOS Barrios [2](#); Guillermo Eliecer VALENCIA Ochoa [3](#); Luis Guillermo OBREGON Quiñones [4](#)

Recibido: 22/06/2017 • Aprobado: 19/07/2017

Contenido

- [1. Introducción](#)
 - [2. Metodología](#)
 - [3. Resultados y discusiones](#)
 - [4. Conclusiones](#)
- [Referencias bibliográficas](#)
[Agradecimientos](#)

RESUMEN:

Con el objetivo de mejorar el proceso de aprendizaje de la operación unitaria de Lixiviación, se presenta en este trabajo la aplicación de una guía teórico-práctica para evaluar y promover la apropiación del conocimiento en estudiantes de pregrado en ingeniería química basada en una GUI en Matlab®. El desempeño estudiantil promedio durante seis semestres académicos fue del 71% en cuanto al indicador de claridad, 90% para la precisión y 82% para la pertinencia, lo cual permite afirmar que el software LeachING con la guía teórico-práctica son una buena herramienta educativa para el estudio de los balances de materia en este proceso.

Palabras clave Lixiviación, interfaz gráfica de usuario, educación en ingeniería.

ABSTRACT:

Aiming to improve the learning process of leaching unitary operation, in this work is presented the application of a theoretical-practical guide to evaluate and promote the knowledge acquisition in undergraduate chemical engineering students based in a Matlab® GUI. The average student performance during six academic semesters was 71% for the clarity indicator, 90% for accuracy and 82% for relevance, which makes it possible to state that the LeachING software with theoretical and practical guidance is a good educational tool for the study of material balances in this process.

Keywords Leaching, graphical user interface, engineering education.

1. Introducción

La simulación de procesos usando software de ingeniería se ha convertido en un instrumento universal e indispensable para la ingeniería química (Stephanopoulos & Reklaitis, 2011). Así, la importancia de la simulación de operaciones unitarias y de las habilidades de computación necesarias para la práctica profesional de la ingeniería química ha sido reportada ampliamente (Grant & Dickson, 2006) (Lewin, Seider, & Seader, 2002) (Ng & Chong, 2013). De acuerdo con esto, el rol indispensable de la simulación de operaciones unitarias en la ingeniería química también ha sido reconocido (Dahm, Hesketh, & Savelski, 2002) (Silverstein, 2004).

Las operaciones unitarias son los procesos básicos involucrados en las transformaciones físicas y químicas para la preparación de reactivos, purificación y separación de productos, incluyendo destilación, lixiviación, absorción, adsorción, evaporación, secado, cristalización, entre otras, que son implementadas de acuerdo a la naturaleza de las sustancias involucradas (Ocon Garcia & Tojo Barreiro, 1971).

Lixiviación, la cual es una de las operaciones unitarias más usadas por tratarse de la extracción sólido-líquido (Treybal, 1980), tiene un alto grado de complicación al aplicar la metodología gráfica de multietapas en contracorriente y flujo cruzado. Algunas simulaciones por computadora se han desarrollado para el proceso de lixiviación, considerando el modelo matemático y los estudios paramétricos como una herramienta poderosa para estimar la cantidad de sustancia extraída del sólido al disolverlo en un líquido. Por décadas, se han programado diferentes paquetes de lixiviación para computadora como LEACHN, que es la versión de nitratos del "*Leaching Estimation and Chemistry Model*" LEACHM (Hutson & Wagenet, 1989), y el "*Nitrate Leaching and Economic Analysis Package*" NLEAP (Shaffer, Halvorson, & Pierce, 1991) (Follet, 1995).

Las pérdidas de nitrógeno por lixiviación al suelo fueron investigadas usando el modelo HYDRUS-2D, donde el algoritmo fue ajustado y validado sobre datos experimentales para predecir pérdidas de nitrógeno inorgánico en suelo modificado con abono bajo riego con surcos (Iqbal, Guber, & Khan, Abril 2016). En el área de agricultura intensiva, se compiló como una aplicación independiente de Windows una interfaz gráfica de usuario simple llamada SVMLEACH – NK POTATO, que permitió simular la co-lixiviación de nitrato y potasio bajo cultivo de papa, considerando tanto una cantidad mínima de datos de ingreso como los ficheros de MATLAB requeridos para correr los sub-modelos compilados por el componente de ejecución de MATLAB, permitiendo ejecutar la aplicación en computadores que no tengan MATLAB instalado (Fortin, Morais, Anctil, & Parent, 2015).

La lixiviación tiene una gran importancia en la industria minera, que ha usado lodos acuosos acidificados del mineral de oro y sal de cloruro con ozono (US Patente nº 3764650 A, 1973), ha realizado lixiviación de Metales del Grupo de Platino (PGM) con cianuro, hipoclorito, y otros químicos lixiviantes (US Patente nº 4642134 A, 1987), y lodos de minerales usando peróxido de hidrógeno y corriente eléctrica variable para la lixiviación de PGM (US Patente nº 20080302671 A1, 2008). Este proceso también es relevante en la extracción de azúcar, donde se presenta una torre molida (US Patente nº 3953224 A, 1976), un método diferente de extracción de azúcar por una alteración del proceso de difusión (US Patente nº 3135631 A, 1964), y el uso de campos moderados de pulsos eléctricos (MEFP) para la lixiviación mejorada de remolacha azucarera (Jemai & Vorobiev, October 2003).

Una aplicación significativa de los procesos de lixiviación se orienta al ambiente, como es la remoción de metales pesados (plomo y cadmio) de suelos contaminados usando EDTA (Qiao, y otros, January 2017), la recuperación de zinc de baterías alcalinas usando lixiviación asistida con microondas o ultrasonido (Sadeghi, Vanpeteghem, Neto, & Soares, Available online 20 December 2016), y un proceso para reciclar estaño, bismuto y cobre de residuos electrónicos y aguas residuales usando principalmente lixiviación con amoníaco y lixiviación con ácido hidroc্লórico (Jeon, Yoo, & Diaz Alorro, May 2017). Considerando su importancia, las aplicaciones informáticas de la lixiviación pueden ser desarrolladas para promover la eficiencia

en las operaciones matemáticas involucradas, también para mejorar el suministro de información a los responsables de tomar decisiones en las compañías, y al mismo tiempo ayudar a algunos investigadores y estudiantes de ingeniería química a prestar una mayor importancia en las tecnologías de información que puedan mejorar los procesos de enseñanza aprendizaje que se dan en las distintas escuelas de formación.

Por lo anterior, el principal aporte de este trabajo es presentar los resultados de la aplicación una herramienta computacional y guía teórico-práctica en la operación unitaria lixiviación para la evaluación del desempeño estudiantil de una muestra representativa de estudiantes de ingeniería química durante seis semestres académicos en términos de los indicadores de claridad, precisión y pertinencia, como indicadores que permitieron monitorear el grado de asimilación conceptual de esta temática.

2. Metodología

En esta parte del trabajo se presenta una breve descripción tanto del software como de la guía teórico-práctica utilizada para medir el desempeño educativo de los estudiantes durante de los seis semestres académicos.

2.1. Presentación del software

El programa LeachING V1.0 (Operación de lixiviación- Universidad del Atlántico), posee una interfaz gráfica de fácil manejo, la cual está dirigida para estudiantes, docentes y profesionales de ingeniería química como herramienta de diseño para equipos de separación sólido-líquido.

LeachING se diseñó teniendo en cuenta los diferentes tipos de contacto para la separación sólido-líquido presentados en la literatura (Ocon Garcia & Tojo Barreiro, 1971) (Treybal, 1980), colocando a disposición de la herramienta técnicas matemáticas de optimización paramétrica para la determinación del mínimo número de etapas (menor tamaño) en equipos de contacto múltiple.

El programa fue desarrollado para cumplir las rutinas mencionadas y obtener un software rápido, de instalación sencilla y de apoyo para resolver problemas de ingeniería complejos (Valencia Ochoa, Escorcía Varela, & Obregón Quiñones, 2016), de contacto de un alimento sólido con un disolvente líquido, complementado con una interfaz fraterna, de fácil acceso para estudiantes de ingeniería en un curso de transferencia de masa, y posibles aplicaciones industriales.

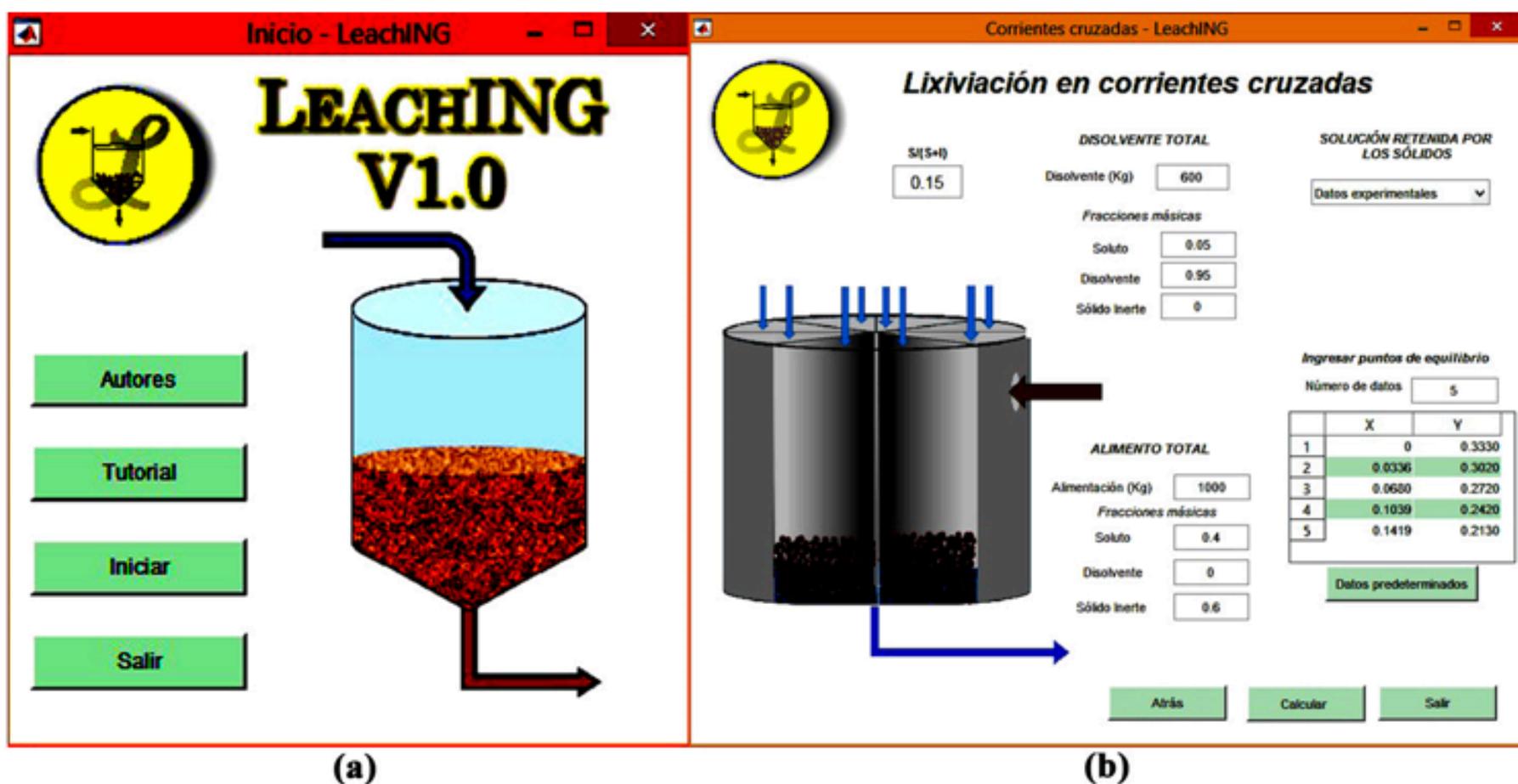
El software contiene 3 diferentes tipos de contacto, el de una etapa sencilla, múltiples etapas en corriente cruzada, y finalmente en contracorriente. Para cada tipo de contacto, LeachING es capaz de calcular las cantidades y composiciones de ambas corrientes de salida y el porcentaje de separación, y en el caso de contacto múltiple, también se puede obtener el número mínimo de etapas. Además, arroja como resultado el diagrama ternario en el que se representa la separación.

Bajo ciertas condiciones, el programa es capaz de ofrecer resultados de la frontera de operación del equipo, como son separaciones mínimas y máximas, condiciones de soluto retenido en la salida limitantes, y cantidades acotadas tanto para el alimento sólido como para el disolvente líquido.

En la Figura 1, se muestran algunas ventanas del software LeachING, siendo la imagen (a) la de bienvenida del programa, mientras que en la (b) se muestra el ingreso de datos para resolver un problema típico de lixiviación en corrientes cruzadas.

Figura 1

Ventanas iniciales de LeachING. (a) Ventana de bienvenida, (b) Entrada de datos para módulo de corrientes cruzadas



2.2. Desarrollo de la guía teórico-práctica

La guía teórico-práctica fue desarrollada por los autores como una herramienta de apoyo al software LeachING v.1.0, con el fin de propiciar el proceso de aprendizaje significativo en los estudiantes de pregrado en ingeniería química, facilitando de igual manera la obtención de los objetivos de curso y la medición del grado de apropiación conceptual de los fundamentos de las operaciones unitarias de lixiviación. La guía en la primera parte muestra todos los fundamentos teóricos y conceptos fundamentales involucrados, seguidamente se muestra la metodología de cada una de las experiencias que deben resolver los estudiantes, además de un conjunto de consideraciones a tener en cuenta para el uso del software, mientras que en la última parte se orienta al estudiante al registro de los datos y análisis de los resultados.

Se utilizó la metodología de la taxonomía de Bloom para el desarrollo de la presente guía teórico-práctica, donde el conocimiento en los grados superiores del saber se fundamenta en las habilidades cognitivas adquiridas previamente por el estudiante en el salón de clase, por lo que se espera que el estudiante además de comprender, analizar y evaluar la operación de lixiviación, llegue a la competencia de proponer mejoras en esta operación al momento de enfrentarse a un contexto industrial (Chelliah & Clarke, 2011). La guía está constituida por la introducción, marco teórico, método de cálculo y experiencia práctica, como se muestra en la Figura 2 para el caso de la introducción y la parte teórica.

Figura 2

Guía teórico-práctica: Introducción y marco teórico

CAPITULO 1. LIXIVIACION.

1.1. INTRODUCCION

La lixiviación o extracción sólido líquido es un proceso en el cual se ponen en contacto íntimo un sólido y un líquido con el fin de lograr la disolución de uno o más componentes del sólido en el fluido. Esta operación es usada en la industria minera para la extracción y concentración de minerales como el cobre, oro y plata.

1.2. MARCO TEORICO

El fenómeno de lixiviación, también conocido como extracción sólido-líquido, es un fenómeno de transferencia de masa en el que una sustancia de interés (sólido) mezclada con un líquido se desea recuperar usando un disolvente líquido [1,2]. La operación de lixiviación es muy necesaria para la industria, teniendo aplicaciones importantes en la minería para la separación del metal de la piedra usando ácidos [3], y en la industria azucarera, para la recuperación del azúcar de diversas plantas (caña de azúcar [4] y remolacha [5,6] son las más comunes) usando agua caliente.

Existen 3 métodos de extracción principales:

Contacto sencillo (una etapa): es la forma más simple de lixiviación. Se pone en contacto todo el sólido (alimentación) con todo el disolvente, para posteriormente separar la disolución formada (extracto) del sólido restante con cierta cantidad de disolución retenida (refinado) [1].

Para resolver este tipo de problemas es necesario realizar balances de materia y conocer la ecuación de equilibrio del sistema.

Contacto en corriente directa (corrientes cruzadas): este método es una sucesión de la lixiviación en una etapa, es decir, se subdivide la cantidad total de disolvente, y se mezcla una parte en cada etapa. El refinado de cada etapa se pone en contacto con nuevo disolvente en la siguiente, separando un nuevo extracto y refinado, que se pone en contacto de nuevo con más disolvente, hasta agotar todas las etapas de lixiviación [1,2].

Contacto en contracorriente: es el método de lixiviación más empleado en la práctica industrial; la mezcla sólida se va empobreciendo en soluto mientras que el disolvente se enriquece. Esto sucede gracias a que el alimento viaja en sentido contrario al disolvente a través de todo el equipo [1,2].

Se define una etapa (también llamada unidad de extracción) cuando se cumple lo siguiente:

1. Contacto entre el sólido a tratar y el disolvente, para la disolución del soluto.
2. Separación de la disolución (extracto) y el sólido restante con disolución retenida.

Esta etapa se llama ideal o teórica cuando la composición de la disolución retenida en el refinado es igual a la composición del extracto [1].

1.3. METODO DE CALCULO

Los problemas de lixiviación pueden ser resueltos mediante balances de materia y energía, en este caso particular se usan balances de materia y el concepto de etapa teórica; los procedimientos usados para la resolución de este tipo de planteamientos pueden ser gráficos o algebraicos.

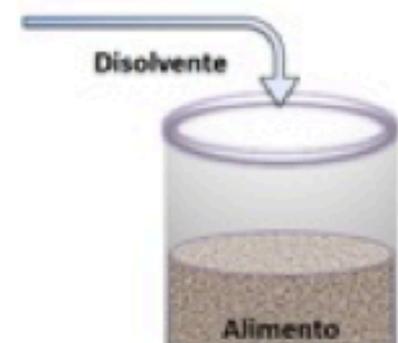


Figura 1. Carga del lixiviador.

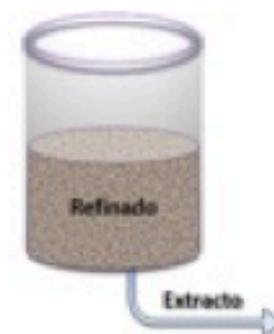


Figura 2. Descarga del lixiviador.

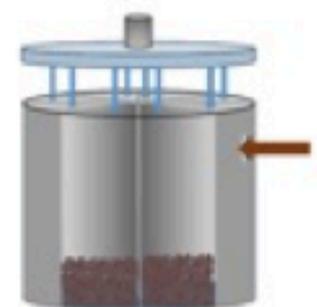


Figura 3. Lixiviador en corrientes cruzadas donde el alimento rota por los compartimentos del equipo.



Figura 4. Extractor de Kennedy para la lixiviación en contracorriente. [2,7].

un espacio donde el estudiante o profesional debe realizar el análisis y discusión de los resultados para cada una de las tres experiencias de aprendizaje. La Figura 3 muestra el componente de la guía solo para el caso particular de la experiencia práctica No.1.

Figura 3
Guía teórico-práctica: Experiencia No. 1

1.5. EXPERIENCIAS PRACTICAS

1.5.1. Experiencia 1: Determinación del comportamiento del porcentaje de separación de soluto con respecto al número de etapas de contacto.

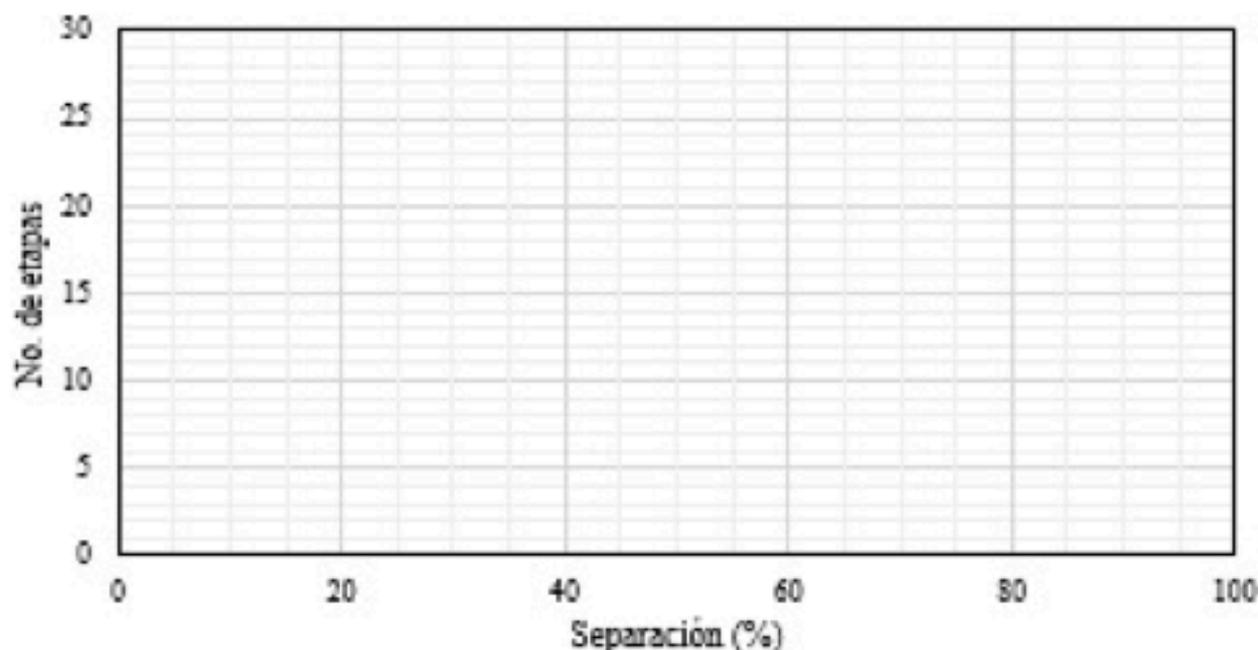
En el módulo de corriente cruzada y contracorriente de la aplicación Leaching V1.0, inicialmente se debe especificar la cantidad de alimento a tratar (F), la cual debe ser constante durante la experiencia, la composición de las especies presentes en el alimento (x_{a1}, x_{a2}, x_{a3}), la cantidad de disolvente global usado para el tratamiento del alimento (D) la cual debe ser constante, además de la composición de las especies presentes en el disolvente (x_{d1}, x_{d2}, x_{d3}), además de la relación de soluto retenido por el sólido inerte libre de disolvente, la cual se calcula como

$$\text{Valor mínimo} \leq \frac{s}{s+1} \leq \text{Valor máximo}, \quad (5)$$

donde el rango de esta relación se determina de acuerdo a los límites de convergencia del programa y representan el número de corridas realizadas, el cual debe ser mínimo de 15. Finalmente, se debe seleccionar como opción de curva de retención de líquido los datos experimentales en sus valores predeterminados.

A partir de las condiciones de operación especificadas se obtiene como resultado el número de etapas y el porcentaje de separación correspondiente, los cuales se deben graficar en el ítem 1.5.1.1, mientras que el análisis y discusión de los resultados deben realizarse en el ítem 1.5.1.2 de la guía teórico práctica.

1.5.1.1. Gráfica del porcentaje de separación en función del número de etapas.



1.5.1.2. Análisis y discusión de resultados.

A partir de la experiencia No. 1, se espera lograr que el estudiante comprenda la relación existente entre el porcentaje de separación y el número de etapas requeridos en la etapa de lixiviación en corrientes cruzadas y contracorriente.

3. Resultados y discusiones

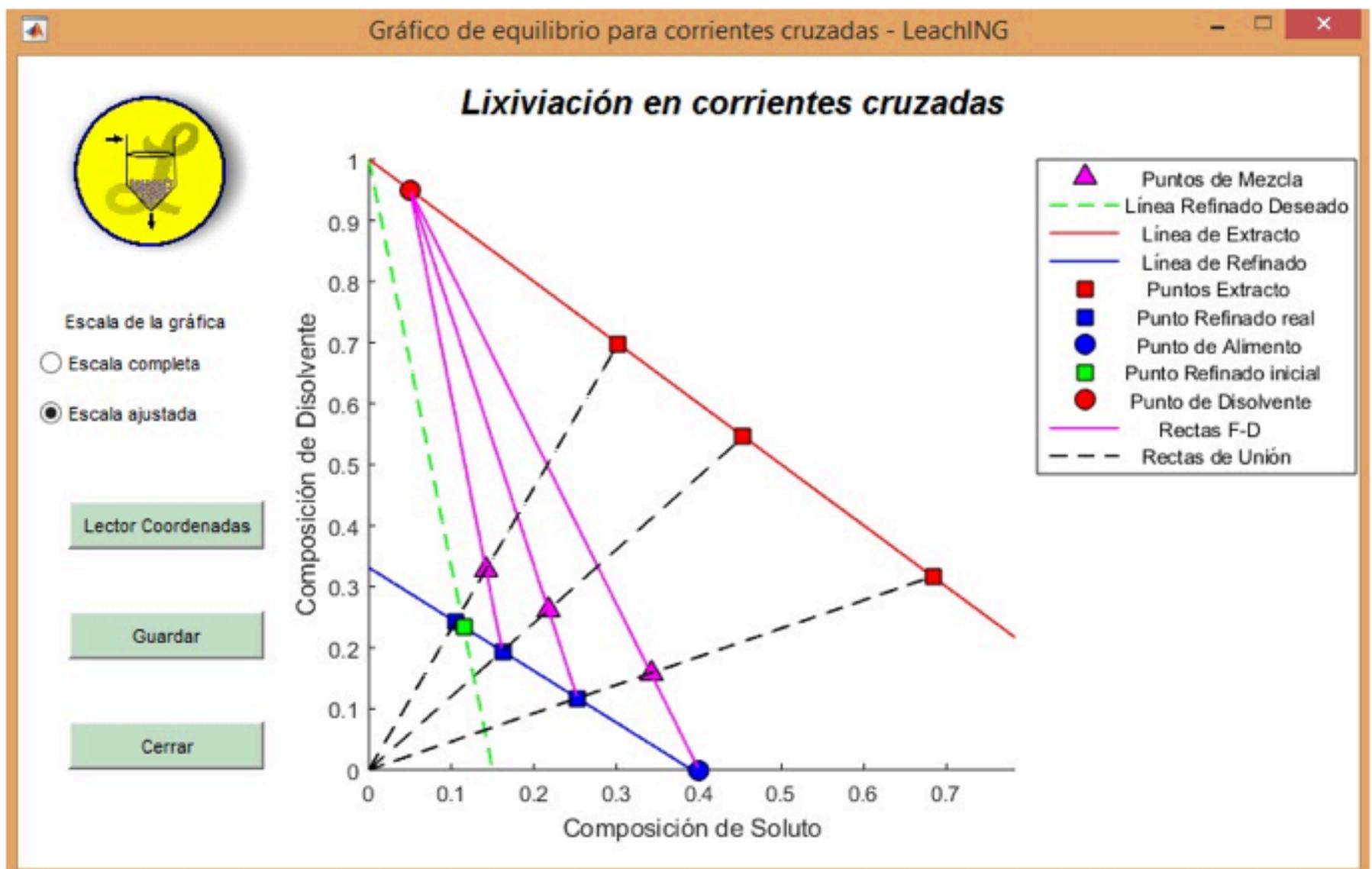
A continuación, se presentan los resultados técnicos que los estudiantes en cada uno de los seis semestres deberían haber respondido con la ayuda de la guía y el programa para el caso de lixiviación en corrientes cruzadas, además de los resultados del comportamiento de los indicadores de desempeño estudiantil durante tres semestres académicos.

3.1. Resultado de la experiencia No. 1

Con la ayuda del software LeachING, al introducir correctamente los datos de entrada en el módulo de contacto en corrientes cruzadas se debe obtener un diagrama ternario representativo de la separación como se muestra en la Figura 4 .

Figura 4

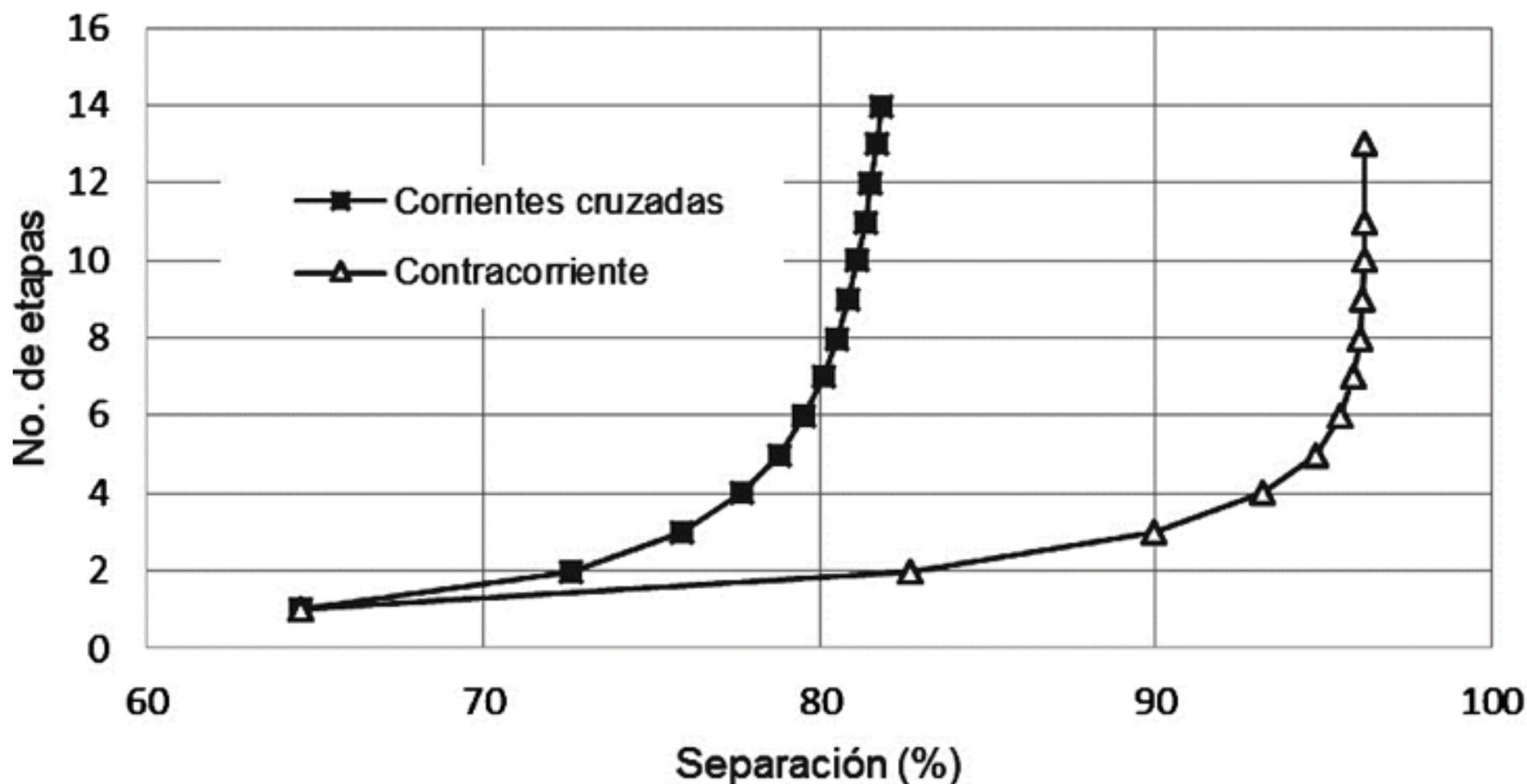
Diagrama ternario para contacto en corrientes cruzadas



Luego de obtener los datos solicitados en la experiencia No. 1, al cumplirse las iteraciones

especificadas, la respuesta entregada por parte de los estudiantes debe ser similar a la presentada en la Figura 5 , donde se evidencia la existencia de una asíntota vertical en un valor estimado como el porcentaje máximo de separación para las condiciones de alimento y disolvente especificadas, es decir, que aunque se incrementara de manera significativa el número de etapas del equipo, por ende su tamaño y costo, no se lograría separar una mayor cantidad de soluto, independientemente del tipo de contacto. Además, se logra ver claramente que el contacto en contracorriente permite una separación adicional respecto al contacto en corrientes cruzadas.

Figura 5
Resultado esperado de la experiencia No. 1



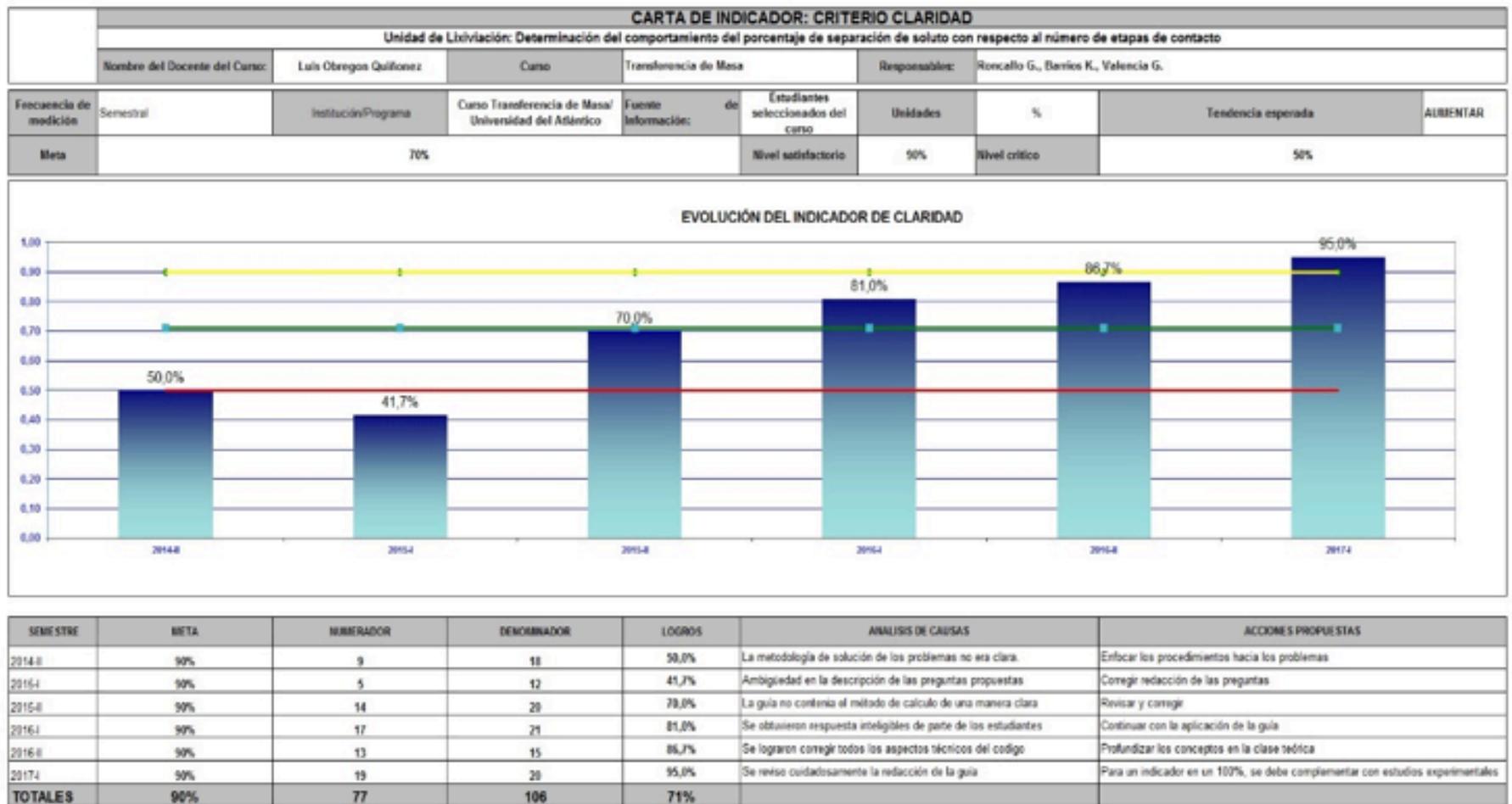
3.2. Evaluación de criterios de desempeño estudiantil para la experiencia No. 1

Los criterios seleccionados para evaluar la guía teórico-práctica fueron claridad, precisión y pertinencia, donde la claridad hace referencia a si la respuesta del estudiante es comprensible o no y si satisface lo esperado; la precisión determina si el planteamiento de la solución o análisis al problema planteado es específico y descriptivo, y la pertinencia describe la objetividad del desarrollo de la guía de acuerdo al enfoque de los problemas. Estos criterios se evalúan porcentualmente de acuerdo al número de estudiantes voluntarios que han decidido desarrollar las experiencias prácticas.

Como se muestra en la Figura 6 , los resultados del criterio claridad muestran una tendencia creciente desde la perspectiva de los estudiantes voluntarios evaluados, lo que demuestra el mejoramiento continuo de la guía teórico-práctica teniendo en cuenta la retroalimentación provista, de igual manera se destaca el análisis de causas y las acciones propuestas cada semestre para dar cumplimiento a la tendencia esperada. Se destaca que para el periodo 2015-1 se presentó una disminución del indicador de claridad del 8.3%, lo cual estuvo asociado a la ambigüedad de las preguntas propuestas en la guía teórico práctica, pero con la corrección de las preguntas propuestas como medida de acción se logró llegar a un porcentaje de cumplimiento del 95% para el periodo 2017-1, lo cual supera el nivel satisfactorio.

Figura 6

Carta de indicador para la claridad de la guía teórico-práctica

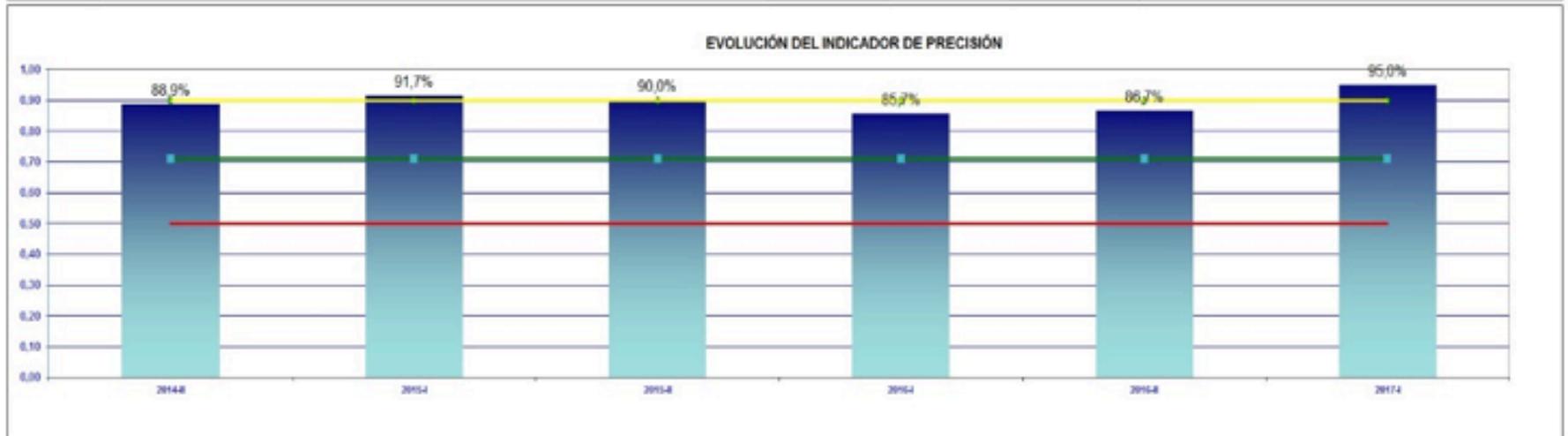


En cuanto a los resultados del criterio de precisión que se muestra en la Figura 7 , este criterio se mantiene con tendencia constante por encima del 85%, lo que demuestra una alta exactitud en las respuestas presentadas por los estudiantes a los problemas propuestos, alcanzando un 95% en el último periodo, lo que evidencia una alta comprensión del tema.

Figura 7

Carta de indicador para la precisión de la guía teórico-práctica

CARTA DE INDICADOR: CRITERIO PRECISSION										
Unidad de Lixiviaci3n: Determinaci3n del comportamiento del porcentaje de separaci3n de soluto con respecto al n3mero de etapas de contacto										
Nombre del Docente del Curso:		Luis Obregon Quiroz		Curso:		Transferencia de Masa		Responsable:		Roncallo G., Barrios K., Valencia G.
Frecuencia de medici3n	Semestral	Instituci3n/Programa	Curso Transferencia de Masa/ Universidad del Atl3ntico	Fuente informaci3n:	de	Estudiantes seleccionados del curso	Unidades	%	Tendencia esperada	AUMENTAR
Meta		70%				Nivel satisfactorio	90%	Nivel critico	50%	



SEMESTRE	META	NUMERADOR	DENOMINADOR	LOGROS	ANALISIS DE CAUSAS	ACCIONES PROPUESTAS
2014-II	90%	16	18	88,9%	Se revis3 la redacci3n de la gui3	Continuar la aplicaci3n de la gui3 te3rico-pr3ctica
2015-I	90%	11	12	91,7%	Se obtuvieron respuestas especifcas de los estudiantes	Continuar la aplicaci3n de la gui3 te3rico-pr3ctica
2015-II	90%	18	20	90,0%	Se mejor3 la bibliograf3 para tener mejor respaldo acad3mico	Continuar la aplicaci3n de la gui3 te3rico-pr3ctica
2016-I	90%	18	21	85,7%	Hubo confusi3nes en la redacci3n	Continuar la aplicaci3n de la gui3 te3rico-pr3ctica
2016-II	90%	13	15	86,7%	Se revis3 la redacci3n de la gui3	Continuar la aplicaci3n de la gui3 te3rico-pr3ctica
2017-I	90%	19	20	95,0%	Se present3 mejor compresi3n del tema	Continuar la aplicaci3n de la gui3 te3rico-pr3ctica
TOTALES	0,9	96	106	90%		

Finalmente, en la Figura 8 se muestran los resultados para el criterio de pertinencia que se mantiene alrededor del 80%, representando una alta pertinencia de las respuestas dadas por los estudiantes al objeto de la pregunta, lo cual implica que existe una gran correlaci3n con la formulaci3n del problema, la hip3tesis y el an3lisis dado por los estudiantes.

Figura 8
Carta de indicador para la pertinencia de la gui3 te3rico-pr3ctica

CARTA DE INDICADOR: CRITERIO PERTINENCIA										
Unidad de Lixiviaci3n: Determinaci3n del comportamiento del porcentaje de separaci3n de soluto con respecto al n3mero de etapas de contacto										
Nombre del Docente del Curso:		Luis Obregon Quiroz		Curso:		Transferencia de Masa		Responsable:		Roncallo G., Barrios K., Valencia G.
Frecuencia de medici3n	Semestral	Instituci3n/Programa	Curso Transferencia de Masa/ Universidad del Atl3ntico	Fuente informaci3n:	de	Estudiantes seleccionados del curso	Unidades	%	Tendencia esperada	AUMENTAR
Meta		70%				Nivel satisfactorio	90%	Nivel critico	50%	



SEMESTRE	META	NUMERADOR	DENOMINADOR	LOGROS	ANALISIS DE CAUSAS	ACCIONES PROPUESTAS
2014-II	90%	14	18	77,8%	Se revis3 la redacci3n de los temas evaluados	Continuar la aplicaci3n de la gui3 te3rico-pr3ctica
2015-I	90%	10	12	83,3%	Se revis3 la redacci3n de las preguntas	Continuar la aplicaci3n de la gui3 te3rico-pr3ctica
2015-II	90%	16	20	80,0%	Se consideraron factores alternos a los referentes al tema	Continuar la aplicaci3n de la gui3 te3rico-pr3ctica
2016-I	90%	17	21	81,0%	Se mejor3 la formulaci3n de las preguntas	Continuar la aplicaci3n de la gui3 te3rico-pr3ctica
2016-II	90%	13	15	86,7%	Se obtuvieron respuestas cercanas al objetivo	Continuar la aplicaci3n de la gui3 te3rico-pr3ctica
2017-I	90%	17	20	85,0%	Los estudiantes consideraron los aspectos especifcos del tema	Continuar la aplicaci3n de la gui3 te3rico-pr3ctica
TOTALES	0,9	87	106	82%		

Estos resultados muestran la necesidad de implementar herramientas computacionales f3ciles

de usar para asegurar un aprendizaje significativo y mejorar el pensamiento crítico de los estudiantes. Con una base teórica adecuada y la implementación de pruebas experimentales de laboratorio, el uso de una herramienta computacional potencia la adquisición de conocimiento y deja al estudiante con una preparación altísima preparado a enfrentarse con nuevos retos en la industria.

4. Conclusiones

Con el propósito de mejorar la asimilación del conocimiento de la operación de Lixiviación, se presentó la aplicación de un software de alta robustez y fácil acceso para el usuario, llamado LeachING, el cual es capaz de calcular por medio de rutinas iterativas las condiciones de salida de este proceso de separación, y mostrar su representación gráfica en un diagrama de equilibrio ternario tipo triángulo rectángulo.

Se desarrolló una guía teórico-práctica que junto al software Leaching permite potencializar los conocimientos previos de los estudiantes para proponer mejoras en la operación de lixiviación en un entorno industrial. De igual manera, la guía fue un instrumento de aprendizaje significativo, dado que la parte teórica de los conceptos fundamentales de la operación y de los objetivos de cada una de las experiencias a desarrollar, les permitió a los estudiantes resolver la experiencia de manera satisfactoria, aspecto que se evidenció en la tendencia de tres criterios de desempeño a partir del análisis de los resultados obtenidos en seis semestres académicos.

Se aplicaron las experiencias de aprendizaje a 106 estudiantes entre los años 2014 y 2017 en los que se estudiaron la tendencia de los criterios de claridad, precisión y pertinencia, indicadores que hacen parte de los estándares intelectuales de calidad que facilitan la evaluación del pensamiento crítico del estudiante, teniendo en cuenta una escala de valoración en un rango del 100 % para el máximo puntaje y 0 para el mínimo, donde se destacaron resultados promedio de 71% para claridad, 90% de precisión y 82% de pertinencia.

Finalmente, el análisis tendencial de los datos promedios en cada semestre de los indicadores en estudio, permitió comprobar el efecto positivo que tiene el uso de la herramienta computacional y la guía teórico-práctica sobre el aprendizaje del estudiante en los procesos de lixiviación, lo cual muestra que la educación en ingeniería cuando se apoya en herramientas computacionales permite mejorar de manera continua el proceso de aprendizaje significativo y desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes.

Referencias bibliográficas

Chelliah, J., & Clarke, E. (2011). Collaborative teaching and learning: overcoming the digital divide? *On the Horizon*, Vol. 19 Issue: 4, 276-285.

Dahm, K., Hesketh, R., & Savelski, M. (2002). Is process simulation used effectively in ChE courses? *Chemical Engineering Education*, 192-197.

Dietzel, W., & Matusch, S. (1976). US Patente nº 3953224 A.

Follet, R. (1995). NLEAP model simulation of climate and management effects on N leaching for corn grow on sandy soil. *Journal of contaminant hydrology*, 241-252.

Fortin, J., Morais, A., Anctil, F., & Parent, L. (2015). SVMLEACH - NK POTATO: A simple software tool to simulate nitrate and potassium co-leaching under potato crop. *Computers and Electronics in Agriculture*, 259-266.

Grant, C., & Dickson, B. (2006). Personal Skills in Chemical Engineering Graduates: The Development of Skills Within Degree Programmes to Meet the Needs of Employers. *Education for Chemical Engineers*, 23-29.

Hutson, J., & Wagenet, R. (1989). LEACHM: Leaching, Estimation and Chemistry Model : a Process-based Model of Water and Solute Movement, Transformations, Plant Uptake and Chemical Reactions in the Unsaturated Zone. New York: Department of Agronomy, Cornell

University.

- Iqbal, S., Guber, A., & Khan, H. (Abril 2016). Estimating nitrogen leaching losses after compost application in furrow irrigated soils of Pakistan using HYDRUS-2D software. *Agricultural Water Management*, 85-95.
- Jemai, A., & Vorobiev, E. (October 2003). Enhanced leaching from sugar beet cossettes by pulsed electric field. *Journal of Food Engineering*, 59(4), 405-412.
- Jeon, S.-H., Yoo, K., & Diaz Alorro, R. (May 2017). Separation of Sn, Bi, Cu from Pb-free solder paste by ammonia leaching followed by hydrochloric acid leaching. *Hydrometallurgy*, 169, 26-30.
- Lewin, D., Seider, W., & Seader, J. (2002). *Integrated process design instruction*. Computers & Chemical Engineering, 295-306.
- Lindstrom, R., & Scheiner, B. (1973). US Patente nº 3764650 A.
- Ng, D., & Chong, M. (2013). An Undergraduate Teaching Strategy for Process Simulation in Chemical Engineering. *Proceedings of the 6th International Conference on Process Systems Engineering (PSE ASIA)*, 25-27.
- Ocon Garcia, J., & Tojo Barreiro, G. (1971). *Problemas de Ingeniería Química, Operaciones Básicas*, Tomo II. Madrid: Aguilar S.A. de Ediciones.
- Pearce, D., & Pearce, M. (2008). US Patente nº 20080302671 A1.
- Qiao, J., Sun, H., Luo, X., Zhang, W., Mathews, S., & Yin, X. (January 2017). EDTA-assisted leaching of Pb and Cd from contaminated soil. *Chemosphere*, 167, 422-428.
- Sadeghi, S., Vanpeteghem, G., Neto, I., & Soares, H. (Available online 20 December 2016). Selective leaching of Zn from spent alkaline batteries using environmentally friendly approaches. *Waste Management*.
- Shaffer, M., Halvorson, A., & Pierce, F. (1991). Nitrate Leaching and Economic Analysis Package (NLEAP): Model Description and Application. En *Managing Nitrogen for Groundwater Quality and Farm Profitability*. Madison, WI: Soil Science Society of America.
- Silverstein, D. (2004). Process simulation failure as a learning tool. *Proceedings of the 2004 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*.
- Stephanopoulos, G., & Reklaitis, G. (2011). Process systems engineering: From Solvay to modern bio- and nanotechnology.: A history of development, successes and prospects for the future. *Chemical Engineering Science*, 4272-4306.
- Treybal, R. (1980). *Operaciones de Transferencia de Masa* (2 ed.). McGraw-Hill.
- Vahdettin, G. (1964). US Patente nº 3135631 A.
- Valencia Ochoa, G., Escorcía Varela, A., & Obregón Quiñones, L. (2016). Software Educativo y Guía Teórico-Práctica como Estrategia Pedagógica para promover el aprendizaje significativo de los Procesos de Acondicionamiento de Aire en Ingeniería. *Espacios*, 15.
- Van Antwerp, W., & Lincoln, P. (1987). US Patente nº 4642134 A.

Agradecimientos

Esta investigación fue soportada tanto por la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Atlántico, como por sus grupos de Investigación en Gestión eficiente de la energía – kaí, Procesos químicos y bioquímicos sostenibles (PROQUIBIOS), y Simulación y Control de Procesos.

1. Grupo de Investigación en Procesos Químicos y Bioquímicos Sostenibles. Ingeniero Químico, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. groncallo@mail.uniatlantico.edu.co

2. Grupo de Investigación en Procesos Químicos y Bioquímicos Sostenibles. Ingeniero Químico, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. kjohannabarrios@mail.uniatlantico.edu.co

3. Grupo de Investigación en Gestión Eficiente de la Energía. Profesor Asistente Programa de Ingeniería Mecánica, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. guillermoevalencia@mail.uniatlantico.edu.co

4. Grupo de Investigación en Procesos Químicos y Bioquímicos Sostenibles. Profesor Asociado Programa de Ingeniería Química, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. luisobregon@mail.uniatlantico.edu.co

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 38 (Nº 50) Año 2017

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](#)]

©2017. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados