

## Propuesta Metodológica para el Desarrollo de Proyectos Integradores en Ingeniería de Procesos Químicos

MONZALVO-LICONA, Filemón†, ARRIAGA-GÓMEZ, Ma. Juana, VÁZQUEZ-ZÚÑIGA, Rubén, ALCÁNTARA-TÉLLEZ, Ma. del Consuelo

Recibido Febrero 26 2015; Aceptado Junio 17, 2015

### Resumen

Este artículo presenta la metodología para el desarrollo de un proyecto integrador, en el área de ingeniería de procesos químicos; se toma como caso de estudio la combinación de las áreas de estudio: fisicoquímica, reactores químicos, procesos de separación, simulación de procesos y optimización de procesos químicos. La metodología está conformada por un conjunto de etapas como son: definición del problema a resolver, aportación de cada asignatura al perfil de egreso, identificación de las acciones teórico-prácticas a realizar y evidencias esperadas de cada asignatura, así como la evaluación de cada etapa. Los resultados obtenidos son la selección de la ecuación de estado, el desarrollo del modelo de velocidad de reacción con las condiciones de operación adecuadas, el diseño del sistema de reacción con sus requerimientos energéticos, el diseño del sistema de separación adecuado, incluyendo los requerimientos energéticos y la aplicación de las herramientas de optimización para obtener el sistema reacción-separación óptimo.

**Procesos químicos, proyecto integrador, reacción-separación**

### Abstract

In this article, it is presented the methodology used to develop an integrator project, in the chemical processes engineering area; it is taken, as a study case the combination of the following areas, physical chemistry, chemical reactors, separation processes and optimization of chemical processes. The methodology is formed by a set of stages as: definition of the problem to be solved, the contribution of each subject to the exit profile, identification of the theoretical-practice actions to do and the expect evidences for each subject, as well as the evaluation of each stage. The obtained results are the selection of the state equation, the development of the velocity of reaction model with the adequate operation conditions, the design of the reaction system with the energetic requirements in the operation, the design of the adequate separation system, including the energetic requirements for the operation and the application of the optimization tools to generate the optimal reaction-separation system.

**Chemical processes, integrator project, reaction-separation**

**Citación:** MONZALVO-LICONA, Filemón, ARRIAGA-GÓMEZ, Ma. Juana, VÁZQUEZ-ZÚÑIGA, Rubén, ALCÁNTARA-TÉLLEZ, Ma. del Consuelo. Propuesta Metodológica para el Desarrollo de Proyectos Integradores en Ingeniería de Procesos Químicos. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería 2015, 2-4: 303-310

Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

En la actualidad y frente a un mundo globalizado, existe el reto de mejorar la calidad de la educación, así como buscar también vincular a las instituciones de Educación Superior (ES) con el sector laboral mediante estrategias que permitan que los estudiantes fortalezcan y desarrollen las habilidades que favorezcan un mejor aprendizaje del saber conocer, saber hacer y saber ser.

Romero, *et al* (2016) establecen la problemática que presenta la educación en cuanto a la adquisición suficiente de conocimientos obtenidos pero descontextualizados para aplicarlos en la solución de problemas de la vida real, en ese sentido Burgueño, C. I. N, *et al* (2015) y Vilá, *et al* (2014), plantean la necesidad del uso de estrategias de aprendizaje como los proyectos integradores (PI), los cuales enfrentan a los alumnos a situaciones reales actuando directamente en su definición y en su resolución. Los proyectos son elementos de aprendizaje para generar competencias y fortalecer el aprendizaje significativo Hermsillo, C. A. O. (2016).

A través de los PI se obtiene un mayor desarrollo de las competencias transversales, un conocimiento más profundo de las competencias específicas y una mayor motivación de estudiantes y profesores García, *et al* (2014). Los PI permiten una formación integral de los estudiantes y fortalecen las competencias de investigación Parra, *et al* (2013), por otra parte Whima *et al* (2013) mencionan que los PI cumplen con el objetivo de formar una cultura investigativa así como desarrollar el proceso de liderazgo, trabajo en equipo e interdisciplinario. Romero, *et al* (2016) y Jiménez, *et al* (2013) centran su atención en abordar el papel dinamizador que se le otorga a los PI profesionales a favor del proceso de formación y desarrollo de habilidades en los estudiantes.

Con base en lo anterior, la definición de PI de acuerdo a Ceballos, *et al* (2016) se establece como una estrategia didáctica que se fundamenta en realizar actividades articuladas entre sí, con un inicio, un desarrollo y un final, con el propósito de identificar, interpretar, argumentar y resolver un problema del contexto, y así contribuir a formar una o varias competencias del perfil de egreso, teniendo en cuenta el abordaje de un problema significativo del contexto disciplinar investigativo, social, laboral-profesional; el cual se forma mediante la colaboración de tres o más asignaturas de un mismo curso, con la participación en algunos de los casos de un agente externo (empresa, asociación, ONG o similar) que ayuda en el diseño y la evaluación del propio proyecto, esta se realiza mediante la entrega de un informe y la presentación y defensa oral del mismo.

El PI es una actividad, que consiste en un proyecto, un problema, un caso, entre otros, donde el maestro o la academia lo diseñan para que el alumno demuestre la aplicación de lo aprendido en una o varias asignaturas durante su formación Torres *et al* (2012).

Para la aplicación de los PI, Torres *et al* (2012), proponen tres formas las cuales son: *i*) Proyectos integradores cuatrimestrales, *ii*) Proyectos integradores longitudinales, *iii*) Proyectos integradores interdisciplinarios. de León, R. M. P (2015), plantean 3 proyectos a lo largo de la carrera con aplicación y reforzamiento de conocimientos adquiridos en cada tercio del plan estudios.

En el presente artículo, y tomando en cuenta las aportaciones de los autores mencionados anteriormente, podemos definir al proyecto integrador como una estrategia didáctica del proceso formativo, en el que se realizan una serie de actividades relacionadas entre sí, para resolver un problema de contexto y su importancia radica en que su desarrollo permite incorporar conocimientos de diversas áreas, que de manera conjunta generan una importante oportunidad de aprendizaje.

Este trabajo tiene la finalidad de desarrollar un PI que contribuya en la formación integral de los estudiantes, abordando la problemática arriba mencionada, y se organiza bajo la estructura que a continuación se describe: en la siguiente sección se identifican las asignaturas involucradas en el proyecto, la aportación de cada una de éstas al perfil de egreso y su relación; se especifican las actividades a desarrollar, así como las evidencias a entregar; se presenta la descripción de dichas actividades y por último se establece la forma en la que se evaluará el desempeño alcanzado en el proyecto mediante la rúbrica diseñada exclusivamente con este propósito.

En la sección 3 se describen las características de la implementación del proyecto integrador y finalmente en la última sección las recomendaciones.

### Propuesta metodológica, estudio de caso

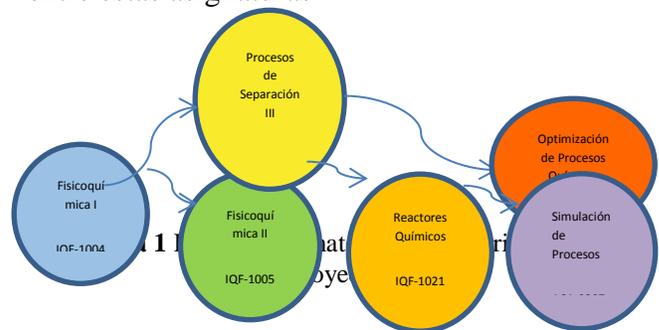
El problema que se presenta al querer estructurar un proyecto integrador de esta naturaleza se centra en: (i) identificar la aportación al perfil de egreso de cada una de las asignaturas involucradas, (ii) las actividades de tipo teórico-práctico a desarrollar, (iii) las evidencias que se deben presentar y muy importante (iv) evaluar el desarrollo de todos estos elementos.

El grupo de materias seleccionadas para el desarrollo del presente proyecto integrador constituyen la parte medular de un proceso químico, ya que involucra el diseño del reactor químico con todas sus características y el diseño completo del sistema de separación, complementados con el área de fisicoquímica, simulación de procesos y optimización de procesos químicos.

Las actividades consideradas en la conformación del PI son: la designación de las asignaturas involucradas y su contribución, las actividades y alcance de cada asignatura, así como las evidencias a entregar y la rúbrica de evaluación, las cuales se describen a continuación:

### Asignaturas involucradas en el proyecto integrador

El PI propuesto involucra a las siguientes materias: Fisicoquímica I, Fisicoquímica II, Procesos de separación III, Reactores Químicos, Simulación de Procesos y Optimización de Procesos. En la figura 1 se muestra la relación entre estas asignaturas



### Actividades a desarrollar para cada asignatura

Las actividades a desarrollar para cada una de las asignaturas, así como su alcance, se describen a continuación y se indican en la tabla 1.

*Fisicoquímica I* – i) selección de la ecuación de estado para la estimación de propiedades de las sustancias, tomando en cuenta características como: polaridad o no polaridad, fase en la que se encuentren los componentes del sistema a estudiar, etc.; ii) elaboración de diagramas de fases que ayudarán en la selección del sistema de separación.

#### *Selección de la ecuación de estado*

En esta etapa del proyecto se selecciona la ecuación de estado más adecuada para la caracterización de las sustancias involucradas en el proceso de reacción-separación, de acuerdo a la ruta de reacción especificada

#### *Construcción del diagrama de equilibrio de fases*

Como siguiente etapa se construye el diagrama de equilibrio de fases entre los componentes ligero clave y pesado clave para determinar el proceso de separación adecuado.

#### *Cálculo de propiedades de las sustancias*

Como tercera actividad se calculan las propiedades necesarias de cada una de las sustancias involucradas en el proceso, para ser empleadas para el diseño del proceso reacción-separación.

*Fisicoquímica II* – i) determinación del modelo cinético de la reacción química; ii) determinación de las condiciones de operación como apoyo para el diseño del reactor.

#### *Determinación de la expresión para la velocidad de reacción*

En esta etapa se caracteriza la cinética de la reacción, determinándose la expresión de la velocidad de reacción, necesaria para el diseño del sistema de reacción.

*Reactores Químicos* – i) selección del tipo de reactor a diseñar con base en las características del modelo cinético de la reacción y la fase de reacción; ii) diseño del reactor seleccionado; iii) determinación de los requerimientos energéticos para la operación del reactor.

#### *Selección y diseño del sistema de reacción*

Una vez realizadas las actividades anteriores se determina, primeramente, el tipo de reactor a emplear para la operación de reacción, con base en las características de la reacción y la expresión de la velocidad de reacción. Después se diseña el reactor con todas las características inherentes.

*Simulación de Procesos* – Simulación del sistema reacción-separación con variaciones en los parámetros seleccionados.

*Procesos de Separación III* - i) selección del sistema de separación a diseñar con base en los diagramas de equilibrio de fases y las características de composición y de fase de las sustancias involucradas; ii) diseño del sistema de separación seleccionado; iii) determinación de los requerimientos energéticos para la operación del sistema de separación.

#### *Selección y diseño del sistema de separación*

Como etapa preliminar al proceso de optimización, con apoyo del diagrama de fases adecuado previamente obtenido, se determina el tipo de proceso de separación a emplear, y con esto proceder a diseñar el equipo para la operación de separación, para purificar las especies químicas de interés.

#### *Simulación de Procesos* –

*Optimización de Procesos Químicos* – i) identificación de la función objetivo para optimización de acuerdo a las especificaciones solicitadas; ii) selección de la técnica de optimización apropiada para la solución de la función objetivo; iii) obtención del sistema de reacción-separación óptimo.

*Optimización del sistema de reacción-separación*

En la etapa final, previo conocimiento de las características de operación y diseño del sistema de reacción-separación, se determina la técnica de optimización adecuada, con base en el planteamiento objetivo a optimizar.

**Tabla 1** Actividades a desarrollar para cada asignatura involucrada.

No	Asignatura	Alcance de la asignatura	Actividades a desarrollar y a aplicar en el proyecto integrador
1	Fisicoquímica I	Aplicar la teoría de las soluciones para obtener las propiedades termodinámicas. Interpretar el criterio de equilibrio entre fases. Calcular propiedades de equilibrio de sistemas no ideales.	Determinar las propiedades termodinámicas de sustancias puras y de mezclas en casos ideales y no ideales para equilibrio de fases
2	Fisicoquímica II	Determinar el valor de la constante de equilibrio para predecir el valor de la conversión y calcular su valor. Aplicar la ecuación cinética para calcular el tiempo y la conversión tanto para reacciones reversibles como complejas. Deducir el mecanismo de una reacción catalítica heterogénea.	Cinética de reacciones homogéneas y heterogéneas, simples y complejas
3	Reactores Químicos	Diseñar reactores homogéneos y continuos y discontinuos, isotérmicos y no isotérmicos,	Cálculo de conversión y concentraciones de salida de reactores

		adiabáticos y no adiabáticos. Calcular la conversión en reactores químicos mediante la distribución de tiempos de residencia y diferentes modelos.	Diseño de reactores homogéneos
4	Procesos de Separación III	Diseñar, seleccionar y operar equipos de procesos de separación como: destilación, absorción, extracción y adsorción aplicando los conceptos de transferencia de calor y masa, equilibrio de fases y procedimientos de cálculo necesarios para su dimensionamiento.	Diseño de sistemas de destilación.
5	Simulación de Procesos	Utilizar un software comercial para el análisis y simulación de procesos químicos.	Simulación del sistema reacción-separación para diversas condiciones de diseño y de operación.
6	Optimización de Procesos	Optimizar un equipo o proceso químico mediante el análisis operativo, la formulación del modelo y la aplicación de técnicas de solución.	Aplicar técnicas numéricas de optimización en la solución de problemas en Ingeniería Química.

En la tabla 2 se indican las evidencias a presentar para cada una de las actividades consideradas; estas evidencias se evalúan conforme a la rúbrica desarrollada en el proyecto.

**Tabla 2** Evidencias a presentar en cada asignatura

Asignatura	Evidencia etapa 1	Evidencia etapa 2	Evidencia etapa 3
Fisicoquímica I	Selección de la ecuación de estado	Construcción de diagramas de equilibrio de fases	Cálculo de propiedades de las sustancias

Fisicoquímica II	Desarrollo de modelos de velocidad de reacciones homogéneas	Determinación de las condiciones de espontaneidad termodinámica de la reacción	Determinación de las condiciones operacionales óptimas para el reactor
Reactores Químicos	Diseño del reactor	Dimensionamiento del reactor	Determinación de los requerimientos energéticos para la operación del reactor
Procesos de Separación III	Diseño del sistema de separación adecuado	Dimensionamiento del sistema de separación	Determinación de los requerimientos energéticos para la operación del sistema de separación
Simulación de Procesos	Especificación del tipo de reactor	Simulación bajo condiciones base	Simulación bajo condiciones de variación en los parámetros
Optimización de Procesos	Identificación de la función de optimización	Selección de la técnica de optimización adecuada	Optimización del sistema reacción-separación adecuado

## Descripción de las actividades

Es importante describir las actividades a desarrollar en las seis asignaturas que conforman el proyecto integrador; no hacer una buena descripción de actividades puede ser la diferencia entre el éxito o el fracaso del proyecto integrador. Las actividades son:

### *Selección de la ecuación de estado*

En esta etapa del proyecto se selecciona la ecuación de estado más adecuada para la caracterización de las sustancias involucradas en el proceso de reacción-separación, de acuerdo a la ruta de reacción especificada

### *Construcción del diagrama de equilibrio de fases*

Como siguiente etapa se construye el diagrama de equilibrio de fases entre los componentes ligero clave y pesado clave para determinar el proceso de separación adecuado.

### *Cálculo de propiedades de las sustancias*

Como tercera actividad se calculan las propiedades necesarias de cada una de las sustancias involucradas en el proceso, para ser empleadas para el diseño del proceso reacción-separación.

### *Determinación de la expresión para la velocidad de reacción*

En esta etapa se caracteriza la cinética de la reacción, determinándose la expresión de la velocidad de reacción, necesaria para el diseño del sistema de reacción.

### *Selección y diseño del sistema de reacción*

Una vez realizadas las actividades anteriores se determina, primeramente, el tipo de reactor a emplear para la operación de reacción, con base en las características de la reacción y la expresión de la velocidad de reacción. Después se diseña el reactor con todas las características inherentes.

### *Selección y diseño del sistema de separación*

Como etapa preliminar al proceso de optimización, con apoyo del diagrama de fases adecuado previamente obtenido, se determina el tipo de proceso de separación a emplear, y con esto proceder a diseñar el equipo para la operación de separación, para purificar las especies químicas de interés.

#### *Optimización del sistema de reacción-separación*

En la etapa final, previo conocimiento de las características de operación y diseño del sistema de reacción-separación, se determina la técnica de optimización adecuada, con base en el planteamiento objetivo a optimizar.

#### **Rúbrica para evaluación de las actividades**

Para evaluar el desarrollo de las actividades de las asignaturas involucradas en el proyecto integrador se emplea la rúbrica que se presenta en el anexo.

#### **Propuesta para la implementación del proyecto integrador**

Dada la naturaleza del proyecto, ya que los estudiantes deben haber cursado las asignaturas contempladas en el mismo y haber adquirido los conocimientos necesarios para su desarrollo, se considera la implementación del mismo en el último semestre de la carrera. El proyecto se propone ejecutar en la materia de seminario de investigación de la carrera de Ingeniería Química, o en la residencia profesional, pudiéndose emplear como opción de titulación. Considerando las actividades de la propuesta metodológica para el desarrollo del proyecto integrador plasmadas en el presente artículo se implementa el cronograma mostrado en la tabla 3, en donde se contemplan 16 semanas, iniciando con la puesta en marcha y concluyendo con la evaluación del mismo.

**Tabla 3** Cronograma de actividades

Actividades		S e m a n a s															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Puesta en marcha del PI	P																
	R																
Selección de la ecuación de estado	P																
	R																
Construcción de los diagrama de equilibrio de fases	P																
	R																
Cálculo de propiedades de las sustancias	P																
	R																
Determinación de la expresión para la velocidad de reacción	P																
	R																
Selección y diseño del sistema de reacción	P																
	R																
Selección y diseño del sistema de separación	P																
	R																
Optimización del sistema de reacción-separación	P																
	R																
Escritura del reporte	P																
	R																
Evaluación del proyecto	P																
	R																

#### **Conclusiones**

La aplicación de esta metodología permitirá observar claramente la aportación de cada una de las fases que conforman el proyecto integrador a la formación de los estudiantes, favoreciendo el desarrollo de habilidades de investigación documental, uso de modelos termodinámicos, cinéticos, de transporte y de separación, así como el desarrollo de habilidades de comunicación oral y escrita.

La aportación de la metodología propuesta permite que los estudiantes trabajen de forma colaborativa, diferenciándola de otras al involucrar de forma dinámica a un grupo de materias con la intención de contextualizar el conocimiento adquirido, enfatizando el empleo de la misma como residencia profesional y opción de titulación.

## Referencias

- Cevallos, G., Alcívar E., Rey, C., & Rosa, M. (2016). Proyectos integradores de saberes como estrategia didáctica de aprendizaje en los estudiantes del Instituto Tecnológico Superior Julio Moreno Espinosa. *Revista Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo*.
- de la Peña, J. R., Borrero, L. L., García, M. R. C., & Expósito, F. R. (2012). El proyecto integrador como experiencia didáctica en la formación del ingeniero informático: Universidad de Holguín, Cuba (UHOLM). *Escenarios*, 10(1), 106-115.
- de León, R. M. P., & Quero, J. E. C. (2015). Actividades para el aprendizaje experiencial y situado, estrategias para la formación integral de estudiantes de ingeniería. *ANFEI Digital*, (1).
- Hermosillo, C. A. O. (2016). Proyectos, un aprendizaje para generar competencias. *ANFEI Digital*, (2).
- Jiménez, R. B., Albert, J. S. C., Jiménez, A. D. B., & González, M. G. (2013). Los proyectos integradores profesionales como elementos dinamizadores del proceso de formación y desarrollo de habilidades profesionales del ingeniero informático. *Avances en supervisión educativa*, (18).
- Burgueño, C. I. N., González, C. L. G., & González, W. J. G. (2016). Diseño de invernadero como laboratorio vivo (living lab) a través de un proyecto integrador multidisciplinario. *ANFEI Digital*, (2).
- Parra, B. J. (2013, August). Proyecto integrador como estrategia formativa para el fortalecimiento de competencias específicas y transversales en la facultad de ingeniería. In *WEEF 2013 Cartagena*.
- Sierra, J. A. R., Arellano, M. A., & Ramírez, J. O. (2016). Enseñanza de las ciencias básicas a través de problemas integradores. *ANFEI Digital*, (4).
- Torres, A., Barba, C., López, F. & Márquez, J. (2012). Proyectos integradores: estrategia didáctica para el desarrollo de competencias en la Universidad Tecnológica de Chihuahua. Estudio de caso. Primer Congreso Internacional de Educación Construyendo inéditos viables.
- García, M. J. G., Otero, J. J. E., & López, M. C. G. (2014). Experiencia de aplicación de ABP al Grado de Ingeniería Informática. *Actas de las XX JENUI. Oviedo*, 9(11).
- Vilà, R., Rubio, M., M. José Rubio Hurtado Berlanga Silvente. (2014). La investigación formativa a través del aprendizaje Orientado a proyectos: una propuesta de innovación en el grado de pedagogía. *Innovación educativa en el grado de pedagogía. Innovación Educativa*, No. 24, pp. 241-258.
- Whima, X. C., Echeverry, L. M. J., Torres, M., & Aristizabal, C. A. (2013, september). Proyecto integrador como factor diferenciador en la formación de ingenieros. In *wef 2013 Cartagena*.