Study on the Prospects for Chemical Engineering in OAS Member States through 2025

Prospectiva 2025 de la Ingeniería Química en Algunos Países Miembros de la OEA

Carmen Cecilia Ramírez Pérez*, Jhon Wilder Zartha Sossa*, Bibiana Arango Alzate*, Gina Lía Orozco Mendoza*, Fabián Mauricio Vélez Salazar*, Andrés Felipe Ávalos Patiño +

*Escuela de Ingenierías. Universidad Pontificia Bolivariana. Cq 1A N° 70-01, A. A. 56006, Laureles, Medellín, Colombia.
+Centro de Desarrollo Empresarial (CDE), Universidad Pontificia Bolivariana. Cq 1A N° 70-01, A. A. 56006, Laureles, Medellín, Colombia.

Email: cecilia.ramirez@upb.edu.co, Jhon.zartha@upb.edu.co, bibiana.arango@upb.edu.co, gina.orozco@upb.edu.co, fabian.velez@upb.edu.co, andres.avalos@upb.edu.co

Abstract

Chemical engineering and its related industries, face technologically and scientifically many challenges that trigger difficulties for a chemical engineer's scope (Charpentier, 2005), therefore, the academic programs in the universities, need to maintain updated in order to obtain theoretical and practical enrichment in skills and knowledge that adapt to the new economic and technological world order.

Therefore the necessity of the universities to identify the key factors which must be considered in order to improve their academic programs, align their strategies, establish their research priorities and thus the engineering teaching methods. This project consists on creating a prospective study, trough DELPHI methodology, to identify the main subjects, technologies, and quality aspects of chemical engineering in 2025 in the Americas.

This research presents a list of priority subjects in the teaching process of chemical engineering, in the technology areas, process systems engineering, transport phenomena and unit operations, physicochemical and thermodynamics, chemical reactions engineering, as well as new tendencies and quality criteria that experts consider a priority in chemical engineering in 2025. In the first and second rounds, experts from countries such as the United States, Mexico, Guatemala, and Chile participated, and the subjects with the highest consensus percentage have been: quality criteria, process systems engineering, physicochemical and thermodynamics, transport phenomena and unit operations.

The purpose of this research is to use its results so that the chemical engineering programs in the Americas analyze and adjust their professional profiles, and the abilities that must be acquired by future chemical engineers.

Keywords: chemical engineering, Delphi, prospective.

Resumen

La Ingeniería Química y sus industrias relacionadas enfrentan, desde el punto de vista tecnológico y científico, varios desafíos; que desencadenan un reto a los campos de acción del ingeniero químico (Charpentier, 2005), por tal razón, los programas académicos en las universidades, necesitan mantenerse actualizados, con miras a obtener un enriquecimiento teórico y práctico en conocimientos y habilidades que se adapten al nuevo orden económico y tecnológico mundial.

Por lo tanto se observa la necesidad de las Universidades por identificar los factores claves que deben ser considerados para mejorar sus programas académicos, alinear sus estrategias, establecer prioridades investigativas y por ende los métodos de enseñanza de la ingeniería. Este proyecto consistió en realizar un estudio prospectivo, a través de la metodología DELPHI, para identificar los principales temas, tecnologías y aspectos de calidad de la Ingeniería Química al 2025 en los países del hemisferio Americano.

El estudio presentó una lista de temas prioritarios del proceso de enseñanza de la Ingeniería Química, en las áreas de tecnologías, ingeniería de sistemas de procesos, fenómenos de transporte y operaciones unitarias, fisicoquímica y termodinámica, ingeniería de las reacciones, así como las nuevas tendencias y los criterios de calidad que los expertos consideran como prioritarios en la Ingeniería Química al 2025. En la primera y segunda ronda participaron expertos de países como Estados Unidos, México, Guatemala, Chile, y los temas con mayor porcentaje de consenso han sido: criterios de calidad, ingeniería de sistemas de procesos, fisicoquímica y termodinámica, fenómenos de transporte y operaciones unitarias. Con los resultados del proyecto se pretende que los programas de Ingeniería Química del hemisferio americano analicen y ajusten el perfil profesional y las capacidades que deben construir los futuros ingenieros químicos.

Palabras clave: Ingeniería Química, prospectiva, Delphi.

1 Introducción

La evolución de la ingeniería química a través del tiempo, ha creado y desarrollado nuevas técnicas y herramientas para enfrentar los cambios que se presentan en las industrias, lo que conlleva a que el campo de acción de la ingeniería química se amplié cada vez más, por tal razón, los programas académicos en las universidades, necesitan mantenerse actualizados, con miras a obtener un enriquecimiento teórico y práctico en conocimientos y habilidades que se adapten al nuevo orden económico y tecnológico mundial (Garces y Zartha, 2009).

En cuanto a la organización del currículo, indican que se debe corresponder con los que ahora son los tres principios de la ingeniería química: la transformación molecular, el análisis en múltiples escalas (de tiempo y de extensión) y el análisis y síntesis de sistemas (que abarca el diseño de procesos y productos) (Charpentier, 2005).

Como los cambios en el entorno hacen que los resultados de cualquier estudio prospectivo deban ser revisados periódicamente, en el 2012, la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, propuso a la Oficina de Ciencia, Tecnología e Innovación (OCTI) del Departamento de Desarrollo Económico, Comercio y Turismo de la Organización de Estados Americanos (OEA), llevar a cabo el estudio de futuro (método Delphi) de los programas de pregrado de ingeniería química en algunos países miembros de la OEA. El presente artículo muestra los resultados de la aplicación del método Delphi en dos de las tres rondas relacionadas con nuevas tecnologías, temas, criterios de calidad para la ingeniería química al año 2025, en siete categorías: nuevas tecnologías, líneas de formación, ingeniería de sistemas de procesos, fenómenos de transporte y operaciones unitarias, fisicoquímica y termodinámica, química e ingeniería de las reacciones y criterios de calidad, buscando aportar en las respuestas a dos preguntas vitales para el liderazgo de las facultades de ingeniería química del hemisferio: ¿Cuáles son las nuevas tecnologías, temas y variables de futuro, que deben ser incorporadas en los programas de ingeniería química para el año 2025?, ¿Qué capacidades se deben construir en los futuros ingenieros químicos? Para dar respuesta a estas preguntas se aplicó el método de consulta a expertos Delphi (Cabero, 2014).

(Hsu & Sandford, 2007) definen el método Delphi como un proceso de comunicación grupal que tiene como objetivo lograr una convergencia de opinión sobre un determinado tema en el mundo real. Generalmente, las aplicaciones y ejercicios DELPHI en educación, son de carácter normativo, es decir, enfocadas hacia lo que deberá hacerse, en lugar de lo que sucederá (Balaraman, 1980). A nivel educativo, esta metodología es muy utilizada en planeación curricular y universitaria, desarrollo y evaluación de criterios de excelencia universitaria y docente, estudios de costo – beneficio, ente otros, (Cabero, 2014).

En este trabajo se diseñó y se ejecutó una consulta a expertos involucrados en los diferentes procesos y organizaciones relacionadas con el tema de la ingeniería química. El equipo primario que elaboró la encuesta fue conformado por ingenieros químicos e integrantes del grupo de investigación en Política, Gestión Tecnológica e Innovación de la Escuela de Ingenierías de la Universidad Pontificia Bolivariana. La consulta se realizó mediante la aplicación del método Delphi para identificar y priorizar nuevas tecnologías, temas, criterios y variables estratégicas de futuro para la ingeniería química al año 2025. Se realizó una consulta estructurada, anónima y reiterativa a expertos nacionales e internacionales a través de un cuestionario digital, de 328 ítems, que fueron priorizados. A la consulta fueron convocados expertos de las Universidades, gobierno, sector privado y otras organizaciones, además, se aprovechó la participación de expertos asistentes a los eventos LACCEI 2013 en México, (Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions), a la asamblea de la UPADI, (Unión Panamericana de Asociaciones de Ingeniería) y la reunión nacional de directores de ingeniería química de Colombia en el Consejo Profesional de Ingeniería Química (CPIQ), (Estos dos últimos celebrados en Medellín en 2013).

En la primera etapa se desarrolló una exploración del tema en discusión, en la cual, cada experto contribuyó eligiendo la información que consideraba pertinente en cada una de las áreas. En la segunda etapa, se presentó un cuestionario en donde se clasificaron los temas prioritarios y en discusión. En esta segunda ronda del ejercicio los expertos reconsideraron sus estimaciones o respuestas, presentaron sus respectivos argumentos, y se logró evidenciar los acuerdos y desacuerdos entre los participantes respecto al tema en discusión. Las

recomendaciones y los argumentos sirvieron de base para la ronda final del ejercicio. Esta tercera etapa está en construcción y en ella se exploran los puntos comunes y los desacuerdos y se realiza una evaluación de ellos con el fin de llevar a cabo una retroalimentación con nuevas consideraciones sobre el tema.

2 Metodología

El estudio prospectivo –consulta a expertos– se llevó a cabo a través de la metodología DELPHI en tres rondas. La finalidad del estudio fue consultar a expertos involucrados en los diferentes procesos y organizaciones relacionadas con el tema para identificar y priorizar nuevas tecnologías, temas y criterios de calidad para la ingeniería química al año 2025.

El método Delphi consiste en una serie de procesos grupales estructurados para sondear la opinión de expertos y llegar a una respuesta del grupo. Las opiniones, creencias y juicios son recopilados y organizados de manera sistemática que se centra principalmente en el consenso, pero también sobre las opiniones disidentes" (Steurer, 2011). Esta metodología se clasificó en cuatro etapas:

2.1 Primera etapa exploratoria

En esta etapa se escogió el grupo monitor, quienes analizaron el tema a estudiar, identificaron las fuentes de información, seleccionaron el grupo de expertos, elaboraron el primer cuestionario o encuesta (Orozco, 2008).

Después de realizar la búsqueda de la información de los diferentes temas del sector, se procedió con su análisis y se clasificaron en nuevas tecnologías, temas, áreas, criterios de calidad. Estas áreas fueron seleccionadas de acuerdo a las definiciones de Ingeniería Química, según el American Institute of Chemical Engineers (AIChE), y además se tuvo en cuenta algunos aspectos curriculares que permitieron dar un foco sobre el panorama de la ingeniería química del futuro.

Posteriormente se construyó el árbol temático suficientemente amplio para abarcar toda la disciplina, con un grado de especificidad tal que permitiera tomar decisiones a mediano y largo plazo, el cual se estableció como puntos principales para la elaboración del cuestionario del método Delphi, agrupados en 7 grandes categorías:

- Tecnologías
- Líneas de formación
- Ingeniería de sistemas de procesos
- Fenómenos de transporte y operaciones unitarias
- Fisicoquímica y termodinámica
- Química e ingeniería de las reacciones
- Criterios de calidad.

Los expertos seleccionados, son profesionales que se desempeñan como ingenieros químicos o de procesos, y que actúan en áreas afines y complementarias a la ingeniería química pertenecientes a los diferentes sectores productivos, de servicios o académicos, de sectores públicos o privados y con diversos niveles de formación y de experiencia, tal como se muestra en la Figura 1, representados en los siguientes porcentajes: doctores: 60.0%, magíster: 22.5%, especialistas: 7.5%, ing. químico: 5.0%, MBA: 2.5%, Mphi: 2.5%.

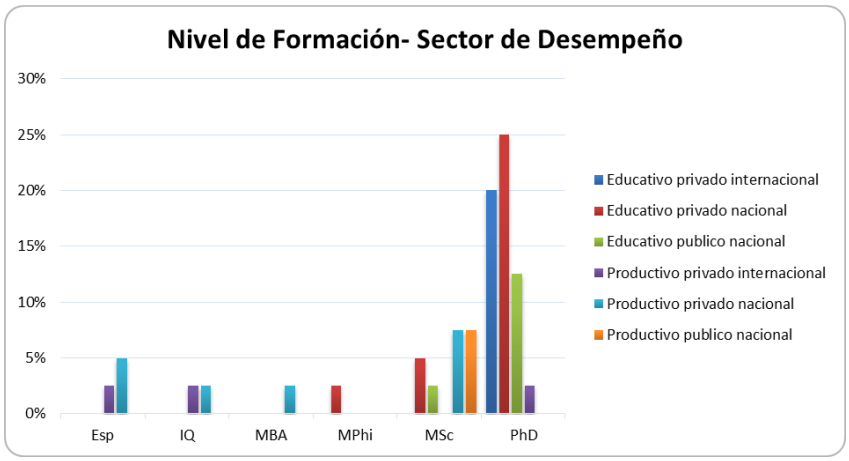

Figura 1: Formación académica expertos participantes primera ronda DELPHI/Sector de desempeño

2.2 Primera ronda Delphi

En esta etapa el panel de expertos recibió el cuestionario elaborado para la primera ronda Delphi, con el objetivo de identificar los temas que serían relevantes para la ingeniería química en el año 2025 para el fortalecimiento de las áreas antes mencionadas. Los participantes de la consulta priorizaron los 328 temas de la encuesta, clasificados tal como se ve en la Figura 2, se asignó una calificación entre 0 y 5 de acuerdo a nivel de importancia de los ítems, donde 5 y 0 representaron la máxima y la mínima prioridad respectivamente y "N" como la opción "No sabe / No responde". El valor de consenso para cada una de las áreas se obtuvo con el promedio del porcentaje de consenso de cada uno de los ítems que componen el área. Este porcentaje a su vez, estuvo definido por la división de la frecuencia modal sobre el número total de encuestados. El promedio obtenido para cada una de las áreas sirvió para la generación de los porcentajes de consenso de los temas y para la selección de los grupos prioritarios, no prioritarios y en discusión.

Se recibieron 40 encuestas de 40 expertos, todas de forma virtual, el resultado de la encuesta es la organización de los temas de cada área en tres grupos: temas prioritarios, temas en discusión y temas no prioritarios.

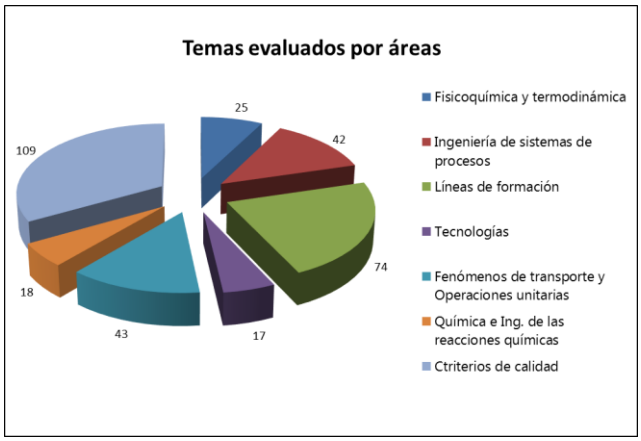

Figura 2: Temas evaluados por áreas

Se tomó como base el porcentaje de consenso promedio por grupo, un tema se consideró "prioritario"; cuando se obtuvo un valor modal igual a 4 en la calificación y cuando su porcentaje de consenso fue superior al porcentaje promedio del área. De igual forma, si el tema obtenía un valor modal igual o inferior a 3 y un porcentaje de consenso mayor al promedio del grupo, el tema se consideró "no prioritario". Los temas que no cumplieron estas condiciones fueron considerados temas en discusión.

2.3 Segunda ronda Delphi

Con base en el primer cuestionario y en los resultados arrojados del análisis de la primera ronda se construyó el segundo formulario para apoyar la segunda ronda del ejercicio Delphi. Esta encuesta contenía dos columnas,

subtemas prioritarios y subtemas en discusión, que representaban los grupos de temas que podían ser intercambiados. A los expertos se les solicitó evaluar la posibilidad de intercambiar, si ellos lo consideran pertinente, temas entre los dos grupos, con la exposición de las respectivas justificaciones de los intercambios.

Si los expertos realizaron un cambio de la columna "prioritario" a la columna "en discusión" también debían cambiar un tema de la columna "en discusión" a la columna "prioritario" con el aporte de la respectiva justificación del cambio. La información se analizó basada en los conceptos de los expertos. De los 40 expertos que respondieron la primera ronda, 28 resolvieron el segundo cuestionario.

2.4 Tercera ronda Delphi

El objetivo del tercer cuestionario es definir los temas prioritarios del estudio prospectivo de las facultades de ingeniería química. Para ello es necesario conservar la clasificación de los temas de la segunda ronda realizada por los encuestados. Adicionalmente, en esta tercera ronda, los expertos deben seleccionar con una "x" los temas que ellos consideran como prioritarios teniendo presente que algunos temas ya no pueden ser modificados de acuerdo a la calificación de prioritario en la primera ronda y que en la segunda ronda no fueron modificados por ningún experto. De otro lado, en esta última encuesta están descritas las justificaciones, que ellos mismos han manifestado en la ronda anterior; recurso que utilizaron para sustentar.

De este modo, con la frecuencia modal del tema en la primera ronda, los temas que ingresan en consenso en la tercera ronda y los que salen del consenso en la tercera ronda se obtiene la frecuencia modal de cada tema en la tercera ronda. El porcentaje de consenso para esta ronda se alcanza dividiendo la frecuencia modal por la cantidad de respuestas de la tercera ronda Delphi. Así, la frecuencia modal obtenida y el porcentaje de consenso se convierten en el insumo para hallar los temas prioritarios como resultados final del estudio de futuro.

3 Resultados obtenidos

Los resultados aquí expuestos representan dos de las tres rondas Delphi. La primera ronda fue realizada vía directa a través de cuestionarios digitales (archivo Excel). El cuestionario constó de 328 variables orientadas a identificar y priorizar nuevas tecnologías, temas y criterios de calidad, que serían relevantes para la ingeniería química en el año 2025.

El grupo de expertos que participó tiene altos niveles de formación, dado que el 95% tienen algún estudio de formación avanzada, y quienes tienen nivel de pregrado presentan varios años de experiencia; además, el 66% de los expertos tienen perfil académico, el 34% restante está repartido entre empresarios, empleados de empresas productivas y empresas de servicios; lo que se considera una distribución apropiada para darle confiabilidad a los resultados, en la medida que se obtienen opiniones de diversos tipos de profesionales.

Se obtuvo respuesta de 40 profesionales que cumplieron con el perfil de expertos, representantes de universidades y el sector productivo; de países como Estados Unidos, México, Guatemala, Chile y Colombia. El cuestionario fue realizado en formato digital (archivo Excel) y estuvo dividido en 7 categorías: tecnologías, líneas de formación, ingeniería de sistemas de procesos, fenómenos de transporte y operaciones unitarias, fisicoquímica y termodinámica, química e ingeniería de las reacciones y criterios de calidad.

De la primera ronda se obtuvo 120 temas prioritarios, 152 temas en discusión y 56 temas no prioritarios, en la Figura 3 puede verse la representación de esta información.

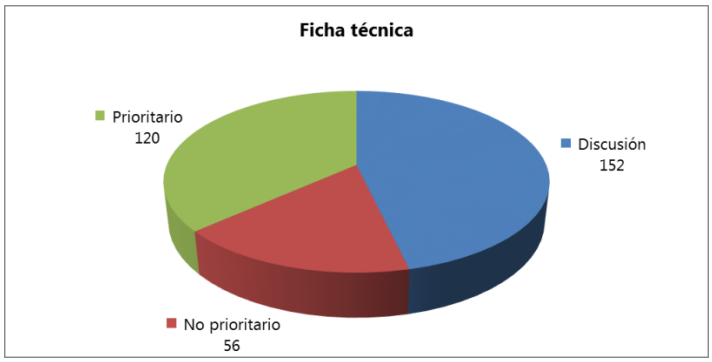

Figura 3: Ficha técnica primera ronda DELPHI

Cada área se evaluó de modo independiente, de tal forma que la totalidad de los temas prioritarios pertenecieran a diferentes áreas y no se concentraran en una sola. El área de mayor consenso entre los expertos es el área de "Criterios de calidad", con un 46.10% y la de menor consenso fue el área de tecnologías, con un 35.19%; lo que es de esperarse debido a la diversidad en el perfil profesional de los expertos. En la Tabla 1 se observa los promedios obtenidos en cada una de las áreas de Ingeniería Química provenientes de la primera ronda Delphi.

Tabla 1: Porcentaje de consensos por área

Área	Promedio (%)
Tecnologías.	35.19.
Líneas de formación	36.92
Ingeniería de sistemas de procesos	41.13
Fenómenos de transporte y operaciones unitarias	39.24
Fisicoquímica y termodinámica	41.74
Química e ingeniería de las reacciones	38.11
Criterios de calidad.	46.10

Para la segunda ronda los temas se presentaron de igual forma, por áreas, clasificadas en temas prioritarios y en discusión. Cada experto cambió los temas que consideró mal clasificados, explicando por qué hizo tales modificaciones; en cada área, de acuerdo al número de temas prioritarios se permite realizar un número máximo de movimientos, así:

- Tecnologías: un movimiento.
- Líneas de formación: dos movimientos.
- Ingeniería de sistemas de procesos: dos movimientos.
- Fenómenos de transporte y operaciones unitarias: dos movimientos.
- Fisicoquímica y termodinámica: un movimiento.
- Química e ingeniería de las reacciones: un movimiento.
- Criterios de calidad: cinco movimientos

Los expertos expresaron sus opiniones a través de las justificaciones de los cambios entre los grupos prioritarios y en discusión, recomendaron la clasificación de algunos temas como prioritarios y viceversa.

El segundo cuestionario fue enviado a los 40 expertos que contestaron la primera ronda y fueron recibidas 28 respuestas, lo que representa el 70%.

Se realizó el conteo de los temas que cambiaron y lo que no cambiaron. Los temas que no fueron movidos, es decir, que su conteo fue cero (0), quedan marcados como prioritario, no prioritario y en discusión, respectivamente para el cuestionario de la tercera ronda.

Los temas que resultaron prioritarios después de la segunda ronda se pueden ver en la Tabla 2, allí se observan 29 temas prioritarios ya fijos, antes de la ejecución de la tercera ronda, comprendidos en cinco de las siete áreas.

Tabla 2: Temas prioritarios

Área	Temas prioritarios
Líneas de formación	Conversión de materiales complejos o peligrosos en productos reciclables o residuos procesables. Conservación, mejora y recuperación del medioambiente Procesos biotecnológicos
Ingeniería de diseño de procesos	Diseño de plantas flexibles, multiproducto, para procesos discontinuos (procesos batch) Sistemas de varias fases
Fenómenos de transporte y operaciones unitarias	Transporte en interface y coeficientes de transferencia Balances macroscópicos en estado estable Balances microscópicos en estado estable Convección forzada Radiación Equipos de transferencia de calor Absorción Extracción
Fisicoquímica y Termodinámica	Leyes termodinámicas
Criterios de calidad para ingeniería	Demostrar capacidad para aplicar el conocimiento de las áreas profesionales de la ingeniería. Pensar en forma lógica, conceptual, deductiva y crítica Tomar decisiones en presencia de incertidumbre. Asume su mejoramiento personal y profesional a lo largo de toda la vida. Escuchar activamente y mostrarse con empatía. Liderar, dirigir personas, actividades, proyectos, empresas. Trabajar en equipos y entornos internacionales. Presentación oral y comunicación interpersonal. Comunicación en idiomas extranjeros. Conoce y comprende los problemas y asuntos contemporáneos. Estudio y trabajos en equipo. El uso de ambientes virtuales para el aprendizaje. Metodologías en laboratorios: Aprendizaje basado en problemas Preparación de trabajos en grupo (seminarios, talleres, consultas) Tutorías presenciales y virtuales

De acuerdo a los resultados parciales obtenidos en temas prioritarios (hasta la segunda ronda) de la ingeniería química al 2025, las facultades pueden tener en cuenta estos temas para la actualización de sus currículos, revisión de planes de estudio y metodologías y/o para ser incluidos como prioridades en sus grupos de investigación y como posibilidades de complementación de formación a nivel de cursos de extensión y proyectos de transferencia a empresas.

Adicionalmente, basados en los resultados presentados en la Tabla 2, en especial en los temas sobresalientes del área "criterios de calidad", las facultades de Ingeniería Química pueden revisar sus programas académicos con el objetivo de evaluar si sus planes de estudio están alineados o presentes en los referentes de las instituciones acreditadoras de su elección para facilitar futuras acreditaciones.

4 Conclusión

En este trabajo se realizó un estudio prospectivo para la ingeniería química al 2025, metodológicamente se puede concluir que la herramienta método prospectivo, DELPHI, utilizado para el desarrollo del estudio permite establecer una plataforma de comparación y evaluación de diferentes temas con el fin de visualizar escenarios de futuro para el mejoramiento y el posicionamiento de las universidades a través de sus programas de ingeniería química.

Los resultados del estudio pueden servir de base para las actualizaciones curriculares, áreas o ciclos con el fin de generar estrategias de alineamiento con las tecnologías, temas y aspectos de calidad que se obtuvieron en el estudio.

Las tecnologías prioritarias pueden convertirse en un insumo para el establecimiento de nuevas líneas de investigación en grupos de investigación en el área, además, pueden servir para reforzar y validar los criterios de selección de las líneas de investigación actuales.

Los resultados obtenidos, al igual que en otros estudios de futuro, pueden convertirse en fuente de consulta para la creación de futuros programas de postgrado, extensión y transferencia.

Las líneas de formación prioritarias al 2015 son la conversión de materiales complejos o peligrosos en productos reciclables o residuos procesables, la conservación, mejora y recuperación del medioambiente y los procesos biotecnológicos.

De acuerdo con los expertos, en el área de ingeniería de diseño de procesos, los temas más relevantes de la ingeniería química al 2025 son el diseño de plantas flexibles, multiproducto, para procesos discontinuos (procesos batch) y sistemas de varias fases.

En referencia al área de fenómenos de transporte y operaciones unitarias, los expertos opinan que los temas con más importancias serán: transporte en interface y coeficientes de transferencia, balances macroscópicos y microscópicos en estado estable, convección forzada, radiación, equipos de transferencia de calor, absorción y extracción.

Las leyes de la termodinámica se proyectan como el tema más determinante en el área de fisicoquímica y termodinámica.

En el área de criterios de calidad para ingeniería las variables más importantes, de acuerdo al consenso de los expertos, son; demostrar capacidad para aplicar el conocimiento de las áreas profesionales de la ingeniería, pensar en forma lógica, conceptual, deductiva y crítica; tomar decisiones en presencia de incertidumbre; asumir el mejoramiento personal y profesional a lo largo de toda la vida; escuchar activamente y mostrarse con empatía; liderar, dirigir personas, actividades, proyectos, empresas; trabajar en equipos y entornos internacionales; la presentación oral y comunicación interpersonal; la comunicación en idiomas extranjeros, conocer y comprender los problemas y asuntos contemporáneos; estudiar y trabajar en equipo; usar ambientes virtuales para el aprendizaje; el aprendizaje basado en problemas, como metodología en laboratorios; preparación de trabajos en grupo (seminarios, talleres, consultas); tutorías presenciales y virtuales.

5 Referencias

ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology), (1997). http://www.abet.org/about.html, consultado el 3 de octubre, 2012.

Balaraman, S. and Venkatakrishnan, K. (1980). Identifying Engineering Education goals and priorities for the future: an experiment with the Delphi technique. Higher Education. Amsterdam. No. 9, pp. 53-57

Cabero, J. (2013). Formación del profesorado universitario en TIC. Aplicación del método Delphi para la selección de los contenidos formativos. Educación XX1, 17 (1).

Charpentier, J., (2005). Four main objectives for the future of chemical and process engineering mainly concerned by the science and technologies of new materials production. Chemical Engineering Journal 107.

Garces, B., Zartha, J., (2009). Estudio prospectivo ingeniería química 2019. Escuela de ingenierías Universidad Pontificia Bolivariana.

Hsu, C. and Sandford, B., (2007). The Delphi Technique: Making Sense of Consensus. Practical Assessment, research and evaluation. Vol. 12, No. 10.

Orozco M., Gina Lia. (2008). Estudio de prospectiva para el programa de ingeniería agroindustrial de la universidad pontificia bolivariana al año 2020.

Steurer, J., (2011). The Delphi method: an efficient procedure to generate knowledge. Skeletal Radiology, Vol. 40 No. 8.

Zartha, J. W., Herrera, J. F., (2011). Prospectiva tecnológica. Aplicación del método Delphi en facultades y programas de Ingeniería. Caso Universidad Pontificia Bolivariana. UPB