

# Incidencia de la Biotecnología en el Desarrollo Académico de la Ingeniería Química en Colombia

Oscar Fernando Castellanos <sup>1</sup>, María Angélica Rueda <sup>2</sup>, Julio Cesar Ramírez <sup>3</sup>,

## RESUMEN

En Colombia, la Biotecnología, durante los últimos años, se ha desarrollado de manera acelerada, particularmente en su aspecto fundamental y teórico. En el mercado nacional existen productos de consumo obtenidos con ayuda de los avances de la biotecnología industrial, la cual, para su implementación, ha tenido que recurrir a las tecnologías importadas y de transferencia. Así, entre las investigaciones teóricas en biotecnología y la aplicabilidad de sus resultados en procesos de producción en nuestro país generalmente no ha existido una relación directa.

Actualmente, las necesidades de progreso científico y tecnológico exigen la interacción armónica de los diferentes aspectos de la biotecnología. Para ello, es indispensable la formación de profesionales, capaces de aplicar conceptos de ingeniería en los procesos desarrollados en laboratorios biotecnológicos. Como ya lo han hecho otros países con más adelanto científico y económico, en las universidades colombianas es hora de reforzar considerablemente la línea de profundización en ingeniería bioquímica de los programas de Ingeniería Química en los diferentes niveles de pre y postgrado. Esta profundización permitirá significativamente acortar distancias entre las diferentes áreas de la biotecnología y su aplicación industrial.

## INTRODUCCIÓN

La biotecnología tiene una historia tan larga como la fabricación del pan o la cerveza, y se remonta a la época indígena con la elaboración por fermentación de productos alimenticios y bebidas como la chicha (obtenida por fermentación de jugo del maíz). La producción industrial que usa procesos tecnificados con microorganismos se empieza a encontrar a finales del siglo XIX y recibió un gran impulso en las décadas del 40 y 50 del siglo XX, con el diseño de un nuevo tipo de reactores aerobios y anaerobios, desarrollados generalmente con base en el conocimiento de la ingeniería química. Posteriormente, cuando la naturaleza y la función de los ácidos nucleicos fueron explicadas, se abrió el camino a la

descripción del código genético y a la tecnología del ADN recombinante. Entre los decenios del 70 y 80, se hizo posible la producción de genes en masa en bacterias y su transferencia a otros organismos, incluyendo no solamente microorganismos sino también plantas y animales (Bailey, 1986).

En este artículo, el término biotecnología tendrá la siguiente definición: la aplicación de organismos, sistemas y procesos biológicos a la producción de bienes y servicios en beneficio del ser humano. La biotecnología aplicada a los microorganismos, plantas y animales con destino a la producción es mucho más que la tecnología para aumentar la productividad o para resolver problemas técnicos (OCDE, 1993). La biotecnología cambia, de forma espectacular, las vías mediante las cuales los científicos pueden conocer las estructuras y las funciones de los sistemas biológicos. La revolución del conocimiento que ello implica tiene consecuencias científicas, éticas y sociales que irán mucho más allá que los efectos económicos.

El desarrollo de la biotecnología industrial en Colombia es evidente y se manifiesta en los diferentes renglones de la economía nacional. Entre las industrias que generan o consumen productos biotecnológicos se pueden encontrar: de detergentes, cervecerías, productos lácteos, de jugos y concentrados de frutas, panificadoras, de vacunas, de cultivo de tejidos, producción de biopesticidas y biofertilizantes, etcétera. La Política Nacional de Ciencia y Tecnología, en uno de sus programas orientados a fortalecer la competitividad del sector productivo y su inserción en el mercado internacional, reconoce que los adelantos científicos en biología molecular y biotecnología han tenido gran impacto en los sistemas de producción y en la salud humana en nuestro país, y por ello es prioritario el fomento a las investigaciones y a la formación de nuevos profesionales en estas áreas.

El trabajo realizado en biotecnología en centros de desarrollo científico y tecnológico tiene un carácter muy fundamental. En él participan principalmente profesionales de formación

<sup>1</sup> I Q., M.Sc., Ph.D. Profesor Asistente del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional.

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Química de la Universidad Nacional

<sup>3</sup> Estudiante de Ingeniería Química de la Universidad Nacional

en ciencias básicas (químicos, microbiólogos, biólogos, etcétera), humanas (médicos, odontólogos, etcétera), y otros. Esto implica que se realizan trabajos con cierta profundidad científica, los cuales no siempre encuentran aplicación en la práctica o las formas propuestas para ello son muy primitivas, ocasionando finalmente ineficiencia (Colciencias, 1993).

Según un estudio realizado por Colciencias (1995b) de los profesionales que trabajan en biotecnología sólo el 22 % están dedicados al sector productivo, el resto se distribuyen en los centros de formación académica y de investigación. Además, de las cinco áreas temáticas determinadas en biotecnología: (vegetal, agrícola, animal, industria y salud), la industrial sólo ocupa el 8 % de los profesionales biotecnólogos. Esto implica que en la biotecnología de Colombia se puede advertir un distanciamiento entre el desarrollo teórico y fundamental y la aplicabilidad del conocimiento a procesos industriales.

Como una de las razones de esta tendencia se puede, sin lugar a dudas, señalar la dramática escasez de profesionales capaces de interpretar la biotecnología dirigida a los procesos de producción de una manera racional y con un concepto ético orientado hacia un desarrollo sostenible, lo cual a su vez es originado por la falta de programas educativos adecuados que formen y especialicen a los futuros biotecnólogos sobre los diferentes tópicos de la biotecnología y sus aplicaciones en los procesos de producción a nivel industrial.

## I. FORMACIÓN DE PROFESIONALES EN BIOTECNOLOGÍA INDUSTRIAL

Es importante señalar que el creciente desarrollo de la biotecnología industrial como un campo de acción más dentro de la ingeniería química no es una realidad exclusiva de Colombia, sino que tiene eco en otros países latinoamericanos como Brasil, Argentina, Venezuela, Chile y México, aunque en la mayoría de estos países se descubrió esa importancia muchos años atrás, lo cual se ve reflejado principalmente en los planes de estudio que ofrecen, donde la biotecnología y la ingeniería bioquímica forman parte obligatoria de la formación básica del ingeniero químico.

Por ejemplo, en la Universidad Tecnológica Nacional de Buenos Aires, en el plan de estudios básico en séptimo semestre se ve la asignatura biotecnología con una intensidad a la semana de seis horas; en Chile existen carreras como Ingeniería Civil Química e Ingeniería Civil Bioquímica, las cuales están estrechamente relacionadas; Sus asignaturas son iguales hasta cuarto semestre, luego siguen cursos en común pero se dictan enfocados a química o bioquímica y biología respectivamente. En algunas universidades de Brasil es notoria la importancia que se le da a la biotecnología y bioquímica dentro del plan de

estudios básico de Ingeniería Química; al examinar sus programas se encuentran materias como: bioquímica industrial, fermentación alcohólica, ingeniería bioquímica I y II, laboratorios de ingeniería bioquímica. La Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, cuenta con un Instituto de Biotecnología aparte en el cual participan muchos profesionales, incluyendo un importante contingente de ingenieros químicos y bioquímicos (Internet, 1998).

Las universidades y centros de capacitación, en Colombia, aportan al desarrollo de la biotecnología fundamentalmente profesionales en ciencias puras, humanas e ingenierías con una formación muy parcial sobre los aspectos básicos y aplicativos de la biotecnología. Los programas universitarios de ingeniería, que están comprometidos con el desarrollo de la biotecnología en Colombia son: Ingeniería Química, Ingeniería Sanitaria, Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Ingeniería de Alimentos, Ingeniería Agroindustrial (ICFES, 1994-1998). En general, de todas las ingenierías se demuestra históricamente que la más comprometida con el desarrollo de la biotecnología Industrial ha sido la Química (Castellanos y Otros, 1996). Sin embargo, en los departamentos de Ingeniería Química del país sus núcleos temáticos no incluyen la línea de las ciencias biológicas y por ello los profesionales tienen un concepto muy elemental para el trabajo con procesos bioquímicos y no están capacitados para maniobrar procesos de manipulación microbiológica

En la mayoría de estos departamentos, dentro de las líneas temáticas de profundización, se estudian los procesos de biodegradación de desechos, biorremediación de contaminantes ambientales, uso de biofiltros, cinética bioquímica, procesos de separación y purificación, tipos de fermentación, desarrollo de cultivo de tejido celular animal y vegetal a nivel industrial, utilización de desperdicios agrícolas e industriales como sustrato de fermentaciones. Para incluir estos temas en los programas académicos, últimamente las universidades han decidido crear una o dos asignaturas que tengan que ver directamente con la biotecnología. Lógicamente, en este caso la noción de todos estos conceptos es muy general y la profundidad de los mismos no es suficiente para satisfacer las necesidades reales del desarrollo científico y tecnológico. Además, se tiene la concepción del manejo puramente tecnológico de la biotecnología industrial, descuidando así las bases de administración y evaluación económica de los procesos, en donde el principio biológico se introduce a la producción. Generalmente cuando el ingeniero egresado se ubica laboralmente debe casi por inercia aprender a ser administrador de recursos y gestor empírico de tecnología.

Como conclusión de lo anterior puede afirmarse que en los niveles de formación superior ninguno de los programas expuestos tienen como objetivo el desarrollo explícito de la biotecnología fundamental o industrial. La carencia de

profesionales específicamente preparados para el desarrollo de una biotecnología repercute ya directamente en las empresas de producción. Para mencionar un ejemplo sencillo, podemos recordar los planteamientos hechos por el Programa Nacional de Biotecnología en Colombia al referirse a los procesos de finalización en el escalamiento industrial en biotecnología (Colciencias, 1993): "En aspectos de escalamiento industrial de fermentaciones de células bacterianas o células animales, el país conoce muy poco y realmente no está preparado para suplir la demanda de la industria privada. Este escalamiento necesita la contribución de áreas y profesionales especializados en ingeniería química, biología, virología, microbiología y otras relacionadas, las cuales interactuando en los aspectos tecnológicos y económicos procuren el desarrollo de tecnologías científicamente viables y económicamente factibles".

Paradójicamente, lo anterior se ve reflejado en muchas empresas nacionales, en donde a pesar de tener procesos evidentemente de producción biotecnológica apoyados por tecnología transferida relativamente moderna, no se cuenta en su nómina con ingenieros químicos o bioquímicos con especialización académica dirigida a la producción biotecnológica, microbiólogos industriales de formación o tecnólogos en el campo. Esta situación implica que los procesos de producción e investigación en tecnología (escalamiento industrial, transferencia de tecnología, modernización de procesos, etcétera.) están en manos de profesionales sin formación específica. La alternativa de trabajar de esta manera casi empírica representa un alto riesgo, ya que los resultados pueden repercutir en tecnologías endebles, acoplamientos tecnológicos improvisados y productos de muy regular calidad, en otras palabras este riesgo podría manifestarse en grandes pérdidas económicas.

A nivel de postgrado en las universidades, por ejemplo de Santafé de Bogotá, como la Javeriana y Los Andes existen programas de Microbiología Industrial, Genética, Biología molecular, etc. Además, una de las líneas de postgrado en Ingeniería Química de la Universidad Nacional está dirigida a los problemas de la biotecnología aplicada. Sin embargo, debido al poco tiempo de creación de estos programas, resultados significativos de su gestión se podrán observar solo a mediano plazo.

## II. APORTE ACADÉMICO DE LA INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AL DESARROLLO DE LA BIOTECNOLOGÍA INDUSTRIAL EN COLOMBIA

A principios de la década del 90 en el departamento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional se hizo

evidente la necesidad de ofrecerles a los futuros ingenieros la posibilidad de salir egresados del alma mater con una profundización en una de las áreas de mayor desarrollo de la profesión en Colombia, entre las cuales se incluyó la línea de profundización en Ingeniería Bioquímica. Esta línea durante los últimos tres años, ha sido la que ha contado con mayor demanda de estudiantes de séptimo y octavo semestre. En la línea de profundización de Ingeniería Bioquímica se ofrecen tres materias: Microbiología y Bioquímica, Purificación y Control de Bioprocesos e Ingeniería Bioquímica.

Sin embargo, en la actualidad resulta necesario evaluar el grado de eficiencia y desarrollo de esta línea de profundización. Con este propósito se realizó un detallado análisis de la incidencia de la biotecnología industrial en el desarrollo del Departamento de Ingeniería Química, para lo cual se tomaron como referencia los trabajos de tesis en pre y posgrado desarrollados desde la creación de estos programas en la Universidad Nacional.

En la figura 1 se observa que la cantidad de tesis totales por año en el Departamento de Ingeniería Química han ido aumentando, lo cual demuestra un crecimiento constante del departamento. No obstante la creación de programas con el mismo nombre en otras universidades del país, la demanda de cupos para la carrera es creciente. Según el ICFES, esta carrera en la Universidad Nacional durante los dos últimos años se ubica establemente entre las 15 más solicitadas por los bachilleres en Colombia. Igualmente puede observarse que las tesis sustentadas en el departamento referentes a la aplicación de los principios de la Ingeniería Química a los procesos biológicos, en otras palabras al desarrollo de la biotecnología industrial, han aumentado.

Al evaluar la dinámica de incidencia de la ingeniería bioquímica en el departamento, calculado por porcentaje, se procedió de la siguiente manera: se promediaron los porcentajes de tesis de bioprocesos en cada década, luego se escogió el año que más se aproximara a ese promedio, seleccionando 5 puntos. Como se ve en la figura 2, la incidencia de esta área es más notoria de década en década y permite afirmar que para el año 2005, aproximadamente el 20% de las tesis de grado en Ingeniería Química serán dedicadas a la biotecnología, lo cual constituye un índice de representatividad bastante considerable. Es destacable que la misma tendencia de creciente incidencia de la biotecnología se encuentre evidenciada en los trabajos presentados durante los 19 congresos nacionales de Ingeniería Química. Así, en su última versión, llevada a cabo en Medellín, el 19 % de los trabajos abordaron diferentes tópicos de la Ingeniería Bioquímica, en contraste con hace 15 años cuando este porcentaje era casi despreciable.

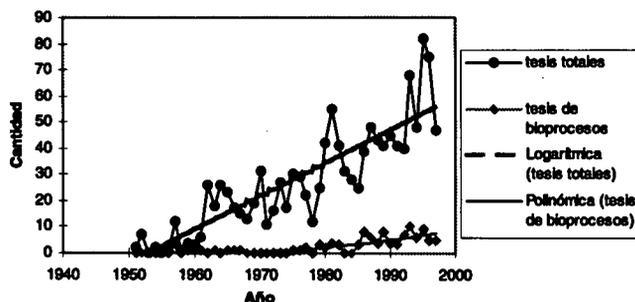


Figura 1. Número de tesis (1951 - 1997) de Ingeniería Química

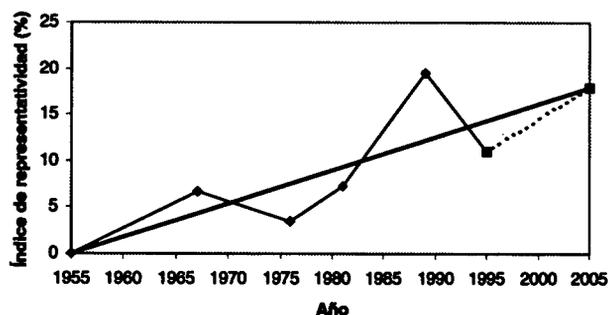


Figura 2. Índice de representatividad de tesis en Ingeniería Química en temas de bioprocesos para algunos años.

Aunque cuantitativamente el número total de tesis en esta área aumenta cada año, en el departamento no existe una tradición de línea tan marcada como la que puede existir en otras áreas, como la de polímeros. Por ello, es necesario, al evaluar la incidencia del área, realizar un análisis cualitativo de los temas abordados y su coherencia con el papel del Ingeniero Químico en el desarrollo de la Biotecnología.

La metodología propuesta en este artículo para este análisis fue la siguiente. A todas las tesis en Ingeniería Bioquímica se les clasificó en cinco categorías a saber:

1. Desarrollo de Procesos Biotecnológicos, DPB: estas tesis centran sus objetivos en la obtención y adaptación de nuevas técnicas u optimización de condiciones para mejorar procesos ya existentes a escala de laboratorio o a escala de planta piloto; ejemplo: "Estudio del efecto de la fuente de carbono en la producción de la  $\delta$ -endotoxina de *Bacillus thuringiensis*"
2. Evaluación Técnica y Factibilidad, ETF: estas tesis están encaminadas a un estudio estricto y completo sobre la viabilidad de procesos, respaldados generalmente por un amplio marco teórico y en algunos casos con una base experimental; ejemplo: "Establecimiento de las herramientas

necesarias para evaluar el efecto de la agitación en la fermentación acetobutílica".

3. Evaluación Técnico-Económica, ETE: en estos estudios se abordan los temas con la misma consideración que en la categoría anterior, pero además se integra sustancialmente la evaluación del factor económico, con cálculos de retornos de la inversión, costos de operación, ganancia, rentabilidad, etc.; ejemplo: "Estudio de prefactibilidad técnico-económica para producir inoculantes en Colombia".
4. Estudio Económico, EE: las tesis se centran principalmente en los costos, a todo nivel y en la rentabilidad del proceso tomándolo como una inversión; ejemplo: "Estudio económico de la producción de  $\beta$ -D-Galactosidasa a partir de *Kluyveromyces fragilis* en Colombia".
5. Estudio de Seguridad Industrial, ESI: estos trabajos evalúan y desarrollan las normas de seguridad en un laboratorio de bioprocesos a lo largo de todo proceso; ejemplo: "Manual de seguridad industrial para los laboratorios del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia".

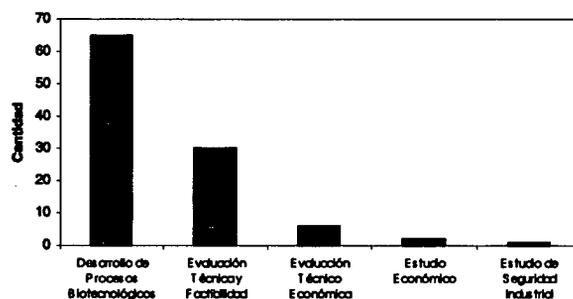


Figura 3. Clasificación por tema de las tesis realizadas en Ingeniería Química acerca de bioprocesos (1951 - 1997)

En la figura 3 se muestra que más del 60 % de las tesis realizadas en el área de bioprocesos (en total 104) han tenido como objetivo el desarrollo de procesos biotecnológicos, mientras la evaluación técnica y los estudios de factibilidad han abarcado algo más del 30 %. En las otras tres categorías escasamente se llega al 10 % de los trabajos realizados. Como puede observarse, las dos primeras categorías, que conforman la gran mayoría de las tesis, hacen referencia principalmente a la parte tecnológica de la ingeniería bioquímica. Los aspectos de evaluación económica son realmente relegados a una escasa minoría.

El componente administrativo de la ingeniería, así como los aspectos de gestión tecnológica no han sido abordados en ningún caso. Es paradójico no encontrar tesis en temas como la ingeniería de procesos en biotecnología, evaluación de factores de innovación tecnológica, metodologías de transferencia y asimilación de tecnología, y otros temas de

gestión, más aún cuando el país produce en este sector fundamentalmente con tecnología importada. Existe en el medio académico de la ingeniería la concepción, no generalizada, de que la función del ingeniero se reduce al desarrollo tecnológico. Como la práctica lo demuestra, los temas de gestión y administración no son exclusivos de economista, administradores de empresas y otros afines, ya que, como antes fue planteado es evidente que en la industria los procesos de adquisición de tecnología y su administración son asumidos principalmente por el ingeniero, quien debe evaluar tanto tecnológicamente como económicamente la toma de una decisión.

La biotecnología, sea básica o aplicada, por ser un componente interdisciplinario de desarrollo de la civilización contemporánea ha generado en ocasiones distorsión del papel que cada uno de sus participantes pueden aportar. Con frecuencia se encuentran trabajos de facultades en ciencias básicas que tratan temas de escalamiento y evaluaciones económicas de procesos de producción. No es extraño, entonces, encontrar tesis de facultades de ingeniería que aborden temas desde la visión fundamental, por encima del objetivo primordial que debe llevar todo ese conocimiento básico hacia la producción. Por ello surge el interrogante: ¿cuál ha sido la coherencia entre la función clásica de la ingeniería química hacia la biotecnología y el desarrollo de las tesis de grado en el departamento?

Para dar respuesta a este interrogante se analizaron todas las tesis incluidas en las categorías 1 y 2 de la figura 3, es decir, aquellas que fueron desarrolladas en el marco tecnológico de la ingeniería, clasificándolas a su vez en dos categorías:

1. Tesis de desarrollo básico: tienen como tema el desarrollo ensayos o experimentos en el área básica de bioprocesos, es decir, estudios cinéticos y bioquímicos, transferencia de masa y energía sin proyección al escalamiento, evaluación de medios de cultivo, experimentos biológicos de laboratorio con microorganismos y fermentaciones con células inmovilizadas con énfasis en rutas metabólicas, cambio fisiológico, etcétera.
2. Tesis de desarrollo ingenieril: referentes a temas como diseño de equipos, diseño de procesos, sistemas de control de procesos, producción a escala industrial y procesos de escalamiento, montaje de plantas piloto o miniplantas, optimización de procesos, etcétera.

La figura 4 muestra el número total de tesis desde la creación del departamento hasta hoy, en cada una de estas categorías. De las 95 tesis analizadas pertenecientes a las categorías de Desarrollo de Procesos Biotecnológicos, DPB y Evaluación Técnica y Factibilidad, ETF, en Ingeniería

Bioquímica más del 60 % se han desarrollado con un énfasis teórico y de ciencias básicas que desde el punto de vista ingenieril. La explicación a este hecho puede encontrarse en que en un principio las líneas de investigación tenían la necesidad de estructurar su conocimiento en áreas básicas para luego abordar el escalamiento de los procesos y su formulación industrial. Para corroborar lo anterior se evaluaron los resultados de la figura 4 por décadas. El resultado fue contrario a lo expresado en la explicación planteada. Como puede observarse en la figura 5 en la década del 50, cuando aún no se hablaba de biotecnología como tal, los trabajos fueron de desarrollo ingenieril, lo cual coincidió con la implantación en el país de nuevos procesos a nivel industrial, incluyendo los biotecnológicos. Durante la década del 60 en el mundo se empieza a hablar de la revolución biológica y muchos procesos que se tomaban como indescritibles se empiezan a escudriñar. Nace la biotecnología así denominada y una parte de los trabajos en ingeniería bioquímica son dedicados al estudio básico de los bioprocesos. En la década del 70 el interés por estructurar de manera fundamental el conocimiento que pueda ser atractivo a la producción hace que más del 70% de las tesis de esta área sean de desarrollo básico. Hasta esta década, el desarrollo coincide con el de departamentos homólogos de otros países como México. Durante la década del 80 el corte ingenieril de las tesis retoma la iniciativa en los trabajos totales, aunque se le sigue dando gran importancia a los trabajos de desarrollo básico. Sin embargo, en la década del 90 en contraste a la tendencia de lo que ocurre en departamentos similares de universidades de la región, en donde el aspecto ingenieril se ha fortalecido sustancialmente, más del 70 % de los trabajos desarrollados en el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional vuelven a tomar un perfil básico. Esta preocupante dinámica muestra una incoherencia entre los objetivos de la ingeniería química como una ciencia de la producción y el desarrollo de una de sus más perspectivas aplicaciones.

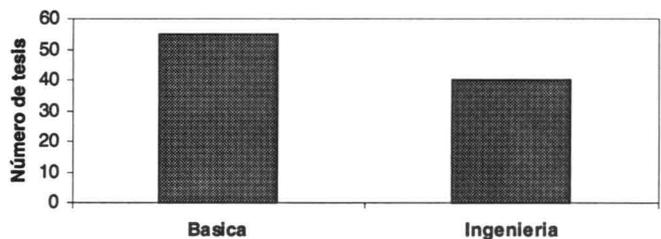


Figura 4. Análisis y clasificación de las tesis que pertenecen a las categorías ETF y DBP.

Probablemente puedan mencionarse las siguientes causas de este comportamiento:

- ♦ La inexistencia de materias en biología, microbiología, bioquímica, etcétera, en los semestres básicos y la existencia de un muy reducido número de materias en la línea de profundización. Esto lleva a que el profesor al dirigir sus trabajos debe siempre dedicar una gran cantidad de tiempo para ilustrar al estudiante con los conceptos más elementales, por lo cual las investigaciones contempladas en una tesis no sobrepasan cierto nivel.
- ♦ La falta de un mayor trabajo interdisciplinario planteado con otras dependencias académicas de la universidad, de institutos de investigación externos y de otras universidades. No se conocen trabajos, por ejemplo, entre un microbiólogo y un ingeniero químico en el marco de una misma tesis.
- ♦ Las limitaciones económicas al realizar las investigaciones en ingeniería. Evidentemente es mucho más barato realizar estudios a nivel laboratorio que plantear el escalamiento, por ejemplo, en tres etapas de cualquier proceso biotecnológico, por sencillo que éste sea. Por ello, los profesores investigadores deben recurrir a la evaluación de procesos a baja escala. Si se logra plantear proyectos de gran envergadura, éstos se ven generalmente parados en algún momento de la investigación por la limitante económica. Este factor genera, además, traumatismos al momento de estructurar líneas de investigación a largo plazo.
- ♦ La carencia de una planta piloto en bioprocesos en el departamento. Esto, a su vez, genera la constante dependencia del investigador al realizar trabajos que el medio demanda en las condiciones y restricciones que la empresa o incluso los mismos centros de desarrollo científico - tecnológico impongan. En muchos de estos casos, al departamento no se le presentan los verdaderos alcances de la investigación a nivel industrial sino un material resumido, que cumpla el requisito de tesis de grado.

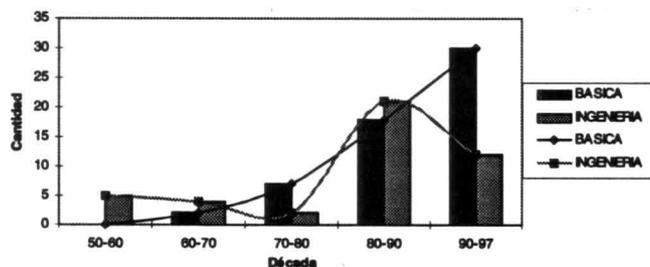
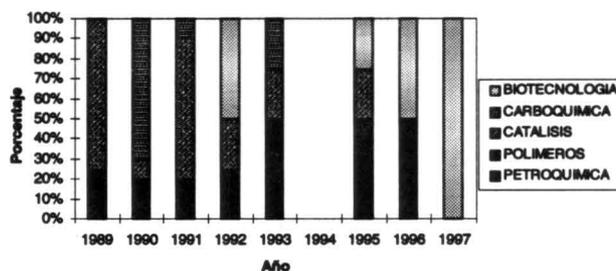


Figura 5. Clasificación de tesis de Ingeniería Química que pertenecen a las categorías DBP y ETF

A nivel de posgrado en el Departamento de Ingeniería Química, el desarrollo de la ingeniería bioquímica como una de las líneas de investigación muestra un comportamiento similar en cuanto a su creciente incidencia. En la figura 6 se muestra

que el aumento de la biotecnología como tema para tesis ha sido vertiginoso durante los 9 años de existencia de la maestría, hasta tal punto que para 1997 la totalidad de las tesis sustentadas de posgrado fueron sobre temas relacionados con la biotecnología. Al igual que para las tesis de pregrado, las tesis de posgrado se clasificaron por desarrollo básico y desarrollo ingenieril, encontrándose en este caso mejores resultados que para pregrado, sin que este comportamiento se acerque a lo ideal, ya que se observó que la mitad de las tesis fueron de corte básico y la otra mitad de corte ingenieril durante el último año. Esta figura nos permite analizar, además, como algunos temas han perdido importancia a lo largo de los años, hasta desaparecer, como es el caso de la petroquímica y de la carboquímica; de otro lado, áreas que han ido consolidándose y aumentando como polímeros; y finalmente el área de catálisis que está presente pero que no muestra una tendencia muy clara y firme a lo largo del tiempo.



Nota: durante 1994 no fueron sustentadas tesis en posgrado

Figura 6. Clasificación por tema de las tesis de posgrado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad, Nacional

### III. EXIGENCIAS HACIA EL DESARROLLO ACADÉMICO DE LA BIOTECNOLOGÍA INDUSTRIAL

El compromiso de impulsar el desarrollo académico de la biotecnología industrial debe ser asimilado en el contexto de las líneas de profundización en Ingeniería Bioquímica en los departamentos de ingeniería química de las principales universidades del país y particularmente en la Universidad Nacional, sin olvidar que para su éxito el primer requisito debe ser que el planteamiento de esta línea se haga a nivel interdisciplinario, particularmente en interacción con las diferentes áreas de las ciencias biológicas y económicas. Un mejor entendimiento de lo anterior puede lograrse al definir de una manera clásica la ingeniería bioquímica, mencionando la interpretación que hizo en 1968 en los Estados Unidos el científico A. Aiba (Quintero, 1990): "Ingeniería bioquímica es la actividad que se ocupa del procesamiento económico de materiales de carácter u origen biológico con propósitos útiles. La función del ingeniero bioquímico es aplicar en la práctica los conocimientos del microbiólogo y del químico. Para llevar a cabo esta tarea, el ingeniero bioquímico debe tener no

solamente bases sólidas en los principios básicos de la ingeniería, sino conocer las ciencias biológicas”.

El objetivo esencial de esta línea de profundización será, entonces, formar un tipo de ingenieros químicos en Colombia, capaces de aplicar los conceptos de las ciencias básicas (matemáticas, química, biología, física, microbiología, etcétera) y de las ingenierías (procesos tecnológicos, fermentaciones, ingeniería de procesos, análisis y administración, fundamentos económicos, control de procesos, etcétera) en los procesos con material biológico o en otros que conlleven a cambios bioquímicos, para transformar la materia prima en productos elaborados o semielaborados. Tomando en cuenta la definición básica de las funciones de un ingeniero químico y aplicando su conocimiento a los procesos biotecnológicos se puede afirmar que este ingeniero será capaz de:

- ◆ Diseñar, construir y montar plantas y equipos para procesos biotecnológicos.
- ◆ Implementar tecnologías de primera línea en biotecnología industrial, incluyendo el control de manejo de los componentes industriales como fermentadores, reactores para formulación, autoclaves, hornos, cabina de manejo estéril de los cultivos, materia prima y otros implementos.
- ◆ Analizar los costos de producción y el riesgo económico.
- ◆ Manejar tecnológicamente y económicamente las negociaciones a nivel nacional e internacional para la adquisición de tecnología o parte de ella, incluyendo el análisis de la factibilidad económica.
- ◆ Manipular y desarrollar la tecnología en el procesamiento final de los productos en actividades de concentración, separación, purificación y conservación.
- ◆ Diseñar y dirigir adecuadamente los procesos biotecnológicos de producción industrial que sean ecológicamente seguros.
- ◆ Utilizar sus conocimientos en biotecnología fundamental y aplicada, teniendo en cuenta los conceptos esenciales de la bioética.

Entendiendo que el enfoque de la ingeniería bioquímica no debe limitarse a los aspectos tecnológicos, el ingeniero químico con esta línea de profundización debe manejar, apropiadamente, los conceptos de gestión tecnológica, ya que en los procesos biotecnológicos cada día es más evidente su importancia (Cabra y Sánchez, 1997). Se entiende por gestión tecnológica el conjunto de decisiones tales como la creación,

adquisición, perfeccionamiento, asimilación y comercialización de la tecnología requerida. En este contexto, un especialista que maneje adecuadamente la gestión tecnológica es el eje que debe combinar los factores de producción, de tal manera que genere artículos que compitan en los mercados nacionales e internacionales en forma eficiente, permanente y minimizando riesgos.

Debido a lo anterior, la línea de profundización en ingeniería bioquímica deberá asumir adecuadamente los diferentes tópicos de la gestión aplicados a la biotecnología, para lo cual es necesario tener en cuenta ciertas particularidades de su desarrollo en nuestro país (Colciencias, 1993; Colciencias, 1995a):

1. El costo de establecer y operar empresas en biotecnología generalmente es alto, especialmente cuando se involucran en sus actividades pruebas de seguridad o toxicidad, como ocurre con frecuencia. En consecuencia, el futuro de la biotecnología depende de que sus actividades se realicen en un marco comercial y de alta competitividad.
2. La biotecnología es uno de los sectores más nuevos de la economía y constituye un sector de innovación por excelencia: la innovación es entonces todavía el grueso del negocio biotecnológico. Aun en el caso de la adquisición externa de una licencia de biotecnología para iniciar un negocio, se requieren innovaciones de adaptación del proceso o del producto licenciado a las materias primas y las condiciones locales.
3. Entre las características del sector biotecnológico la tecnología del proceso desempeña el papel predominante, mientras que en otros numerosos sectores, incluso de la misma ingeniería química, ese papel le corresponde a la tecnología del producto.
4. La mayoría de procesos de la biotecnología se establecen en competencia con tecnologías preexistentes, un hecho que define sus perspectivas de éxito.
5. La variedad de los productos biotecnológicos se refleja en la diversidad de sus mercados, cada uno de los cuales presenta problemas característicos para la comercialización de sus respectivos productos.

Además, esta profundización debe conceptualizar tendencias propias del proceso de industrialización en biotecnología, entre las cuales se destaca la siguiente: la tecnología actualmente disponible en el mercado es solamente una pequeña parte de lo que ya es técnicamente posible. Incluso son una pequeña fracción de todas las posibilidades que podrían ofrecerse en los próximos diez años.

## BIBLIOGRAFÍA

Finalmente, las escuelas de ingeniería química que se involucren en el desarrollo de la biotecnología industrial deberán entender su compromiso real con la industria, buscando mecanismos efectivos de su vinculación con ésta. Lastimosamente en la relación universidad - sector productivo en biotecnología se detecta un distanciamiento, contra el cual se deberán plantear estrategias claras y definidas de negociación entre ambas partes que permitan la realización de proyectos de largo alcance, canalizando para la universidad importantes fuentes de financiación.

## CONCLUSIONES

- ♦ La aplicación de la biotecnología teórica en procesos de producción industrial debe ser impulsada activamente. Para ello, es necesario contar con profesionales idóneos, capaces de aplicar los conceptos básicos de ingeniería tecnológica y administrativa en el escalamiento industrial de sistemas microbiológicos y de reacciones bioquímicas.
- ♦ En las universidades del país actualmente no existen programas o líneas de profundización adecuados, dedicados a formar profesionales con el perfil requerido para asumir la responsabilidad del desarrollo de la biotecnología industrial.
- ♦ Existe la necesidad imperiosa de reforzar los programas de ingeniería química, particularmente en la Universidad Nacional, para abastecer la demanda de ingenieros dirigidos al desarrollo de la biotecnología en los procesos de producción, lo cual debe ser estructurado en el marco de la profundización de la ingeniería bioquímica en los diferentes niveles de pre y postgrado.
- ♦ El énfasis de esta línea de profundización deberá ser fundamentalmente en aspectos de ingeniería, sin distraer su atención en la investigación de carácter básico. En el enfoque ingenieril, además de los tópicos tecnológicos, deberá dársele importancia al desarrollo de los conceptos administrativos y de gestión tecnológica, involucrados en el desarrollo de la biotecnología industrial contemporánea.

## AGRADECIMIENTOS:

A los profesores de la línea de profundización en Ingeniería Bioquímica, Luis Caicedo y Alberto Duarte, así como al director curricular de Ingeniería Química, Marcelo Riveros, por sus importantes aportes y sugerencias en la concreción de este artículo.

1. BAILEY, J. and OLLIS, D. *Biochemical Engineering Fundamentals*. New York. McGraw-Hill. 1986.
2. CABRA J. y SÁNCHEZ, M. "Biotecnología para el desarrollo en Colombia". *Innovación y Ciencia*. V. 6. 3. 1997. pp.45-63.
3. CASTELLANOS, O., SALCEDO, L., GREBESHOVA, R.. "Importancia del factor educacional en el desarrollo de la biotecnología". *Estudios en Pedagogía y Didáctica*. 1996 pp. 50-65.
4. COLCIENCIAS. "Bases para un plan del programa nacional de biotecnología". *Tecnología de la vida para el desarrollo*. 1993
5. \_\_\_\_\_ *Biotecnología : Legislación y Gestión para América Latina y el Caribe*. Programa multinacional de Biotecnología y Tecnología de Alimentos, Programa Nacional de Biotecnología. 1995a.
6. \_\_\_\_\_ *Directorio de Biotecnología*. Programa Nacional de Biotecnología. 1995b.
7. ICFES . *Manual de información profesional*. 1994-1998. Servicio Nacional de Pruebas, Santafé de Bogotá, 1998
8. INTERNET. *Programas de Ingeniería Química o Ingeniería Bioquímica en Universidades Latinoamericanas*. 1998.
9. ORGANIZACIÓN DE COOPERACIÓN Y DESARROLLO ECONÓMICOS - OCDE. *Biotecnología Agrícola y Alimentación*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 1993.
10. QUINTERO, R. *Ingeniería Bioquímica, teoría y aplicaciones*. Ed. Acribia, Zaragoza, España, 1990.