

# VÍAS PARA LA GESTIÓN DE CONOCIMIENTOS CON APOYO DE LA COMUNIDAD CIENTÍFICA

para contribuir a la mitigación del impacto ambiental  
de la industria química y fermentativa



ERENIO GONZÁLEZ SUÁREZ  
JUAN ESTEBAN MIÑO VALDÉS



EDITORIAL UNIVERSITARIA



ERENIO GONZÁLEZ SUÁREZ // JUAN ESTEBAN MIÑO VALDÉS

**VÍAS PARA LA GESTIÓN DE CONOCIMIENTOS  
CON APOYO DE LA COMUNIDAD CIENTÍFICA**

*para contribuir a la mitigación del impacto ambiental  
de la industria química y fermentativa*

EDITORIAL UNIVERSITARIA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES



ERENIO GONZÁLEZ SUÁREZ // JUAN ESTEBAN MIÑO VALDÉS

**VÍAS PARA LA GESTIÓN DE CONOCIMIENTOS  
CON APOYO DE LA COMUNIDAD CIENTÍFICA**

*para contribuir a la mitigación del impacto ambiental  
de la industria química y fermentativa*

EDICIONES ESPECIALES

EDITORIAL UNIVERSITARIA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

Cnel. José Félix Bogado 2160  
Posadas - Misiones - Tel-Fax: (0376) 4428601

*Correo electrónico:*  
ventas@editorial.unam.edu.ar

*Página web:*  
www.editorial.unam.edu.ar

Colección: Ediciones Especiales  
Coordinación de la edición: Claudio O. Zalazar  
Armado de interiores: Javier B. Giménez  
Revisión técnica: Juan Esteban Miño Valdés

Miño Valdés, Juan Esteban; González Suárez, Erenio  
Vías para la gestión de conocimientos con apoyo de la comunidad científica: para contribuir a la mitigación del impacto ambiental de la industria química y fermentativa .  
- 1a ed. - Posadas: EdUNaM - Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones, 2015.  
160 p.; 22,5x15,5 cm.  
ISBN 978-950-579-368-6  
1. Ciencia. 2. Tecnología. 3. Biocombustibles. I. Título  
CDD 540

Fecha de catalogación: 20/02/2015

Hecho el depósito de la Ley N° 11.723  
Impreso en Argentina  
ISBN: 978-950-579-368-6  
©Editorial Universitaria  
Universidad Nacional de Misiones, Posadas, 2015.  
Todos los derechos reservados para la primera edición.

## AUTORES

CONCEPCIÓN TOLEDO DIANA NIURKA

(dianac@uclv.edu.cu). Licenciada en Educación, Máster en Gerencia de la Ciencia e Innovación, Doctorante en Ciencias de la Educación. Profesora Auxiliar, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Cuba.

DE ARMAS MARTÍNEZ ANA CELIA

(anaceli@m@uclv.edu.cu) Ingeniera Química, Máster en Análisis de Procesos. Instructora graduada, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Cuba.

ESPÍNOLA LOZANO FRANCISCO

(fespino@ujaen.es). Ingeniero Químico, Doctor en Ciencias, Profesor Titular, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Jaén. España.

GARCÍA PRADO ROMEL ALARIC

(romelguaich@yahoo.com). Ingeniero Químico, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

GONZALEZ CORTES MEILYN

(mgonzalez@uclv.edu.cu) Ingeniera Química, Máster en Análisis de Procesos, Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora e Investigadora Auxiliar, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba.

GONZÁLEZ HERRERA INTI

(inti.glez@gmail.com). Licenciado en Ciencias de la Computación, Máster en Ciencias de la Computación. Doctorante Universidad de Rennes 1. Francia.

GONZÁLEZ MORALES VÍCTOR MANUEL

(vmgonzalez@ucf.edu.cu). Ingeniero Químico, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Auxiliar, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Cuba.

GONZALEZ SUAREZ ERENIO

(erenio@uclv.edu.cu). Ingeniero Químico, Doctor en Ciencias Técnicas, Doctor en Ciencias, Posdoctorado en Gestión Ambiental. Profesor e Investigador Titular. Facultad de Química y Farmacia, Dpto.de Ingeniería Química. Centro de Análisis de Procesos. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Miembro de Mérito de la Academia de Ciencias de Cuba. Premio Nacional de Ingeniería Química 2013 de la Asociación de Química de Cuba. Cuba

HERNÁNDEZ NODARSE MARÍA TERESA

(mthernandez09@gmail.com). Ingeniera Química, Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Titular y de Mérito. Dpto.de Ingeniería Química. Facultad

de Química y Farmacia. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Cuba.

KAFAROV VYATCHESLAV

(kafarov@gmail.com). Ingeniero Químico, Máster en Matemática Aplicada, Doctor en Ciencias Técnicas, Doctor en Ciencias, Posdoctorado, Investigador, Profesor Titular, Facultad de Ingeniería Química. Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible en Industria y Energía. Universidad Industrial de Santander. Colombia.

LÓPEZ BASTIDA JUAN EDUARDO

(kuten@ucf.edu.cu). Licenciado en Química, Máster en Energía y Medio Ambiente, Doctor en Ciencias Técnicas, Doctor en Ciencias, Investigador, Profesor Titular, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Cienfuegos, Cuba. Miembro Titular de la Academia de Ciencias de Cuba.

MIÑO VALDÉS JUAN ESTEBAN

(minio@fio.unam.edu.ar). Laboratorista Químico Industrial, Ingeniero Químico, Especialista en Gestión de Producción y Ambiente, Máster en Tecnología de Alimentos, Doctor en Ciencias Técnicas, Investigador, Profesor Adjunto, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones. Argentina.

MOYA VILAR MANUEL

(mmoya@ujaen.es). Ingeniero Químico, Doctor en Ciencias, Profesor Titular de la Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Jaén, España.

QUINTERO DALLAS VIVIANA

(viviana5320@gmail.com). Ingeniera Química, Máster en Ingeniería Química, Doctorante del Programa Doctoral de Ingeniería Química en la Universidad Industrial de Santander. Colombia

RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ LEYANIS

(leyanisr@uclv.edu.cu) Ingeniera Química, Máster en Análisis de Procesos. Facultad de Química y Farmacia. Centro de Análisis de Procesos. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba.



# ÍNDICE

PROLOGO.....	13	
INTRODUCCIÓN.....	15	
CAPÍTULO I		
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE Y AMBIENTALMENTE COMPATIBLE DE LA INDUSTRIA QUÍMICA .....		19
Introducción .....	19	
Prospectiva tecnológica y análisis de procesos en el desarrollo de la industria química y fermentativa.....	20	
Posibilidades de la biomasa como fuente de productos químicos y energía (biocombustibles).....	35	
Conclusiones .....	38	
Referencias bibliográficas .....	38	
CAPITULO II		
PRODUCCIONES MÁS LIMPIAS EN LA INDUSTRIA DE PROCESOS QUÍMICOS Y FERMENTATIVOS.....		47
Introducción .....	47	
Tecnologías más limpias .....	52	
Beneficios de producción más limpia y el análisis e integración de procesos.....	54	
Barreras de producción más limpia.....	56	
Integración de agua en la industria.....	59	
Integración de energía en instalaciones industriales .....	61	
Conclusiones .....	65	
Referencias bibliográficas .....	65	

### CAPÍTULO III

#### LA ABSORCIÓN (ASIMILACIÓN) DE TECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA DE PROCESOS

QUÍMICOS Y FERMENTATIVOS.....	69
Impacto de la ciencia en el desarrollo competitivo de las empresas.....	69
Transferencia de tecnología .....	71
Formas de la Transferencia Tecnológica.....	76
Acciones para incrementar la Transferencia de Tecnología.....	80
Conclusiones.....	88
Referencias bibliográficas .....	89

### CAPÍTULO IV

#### ASPECTOS TÉCNICO ECONÓMICOS EN LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE

INVERSIONES EN LA INDUSTRIA DE PROCESOS QUÍMICOS Y FERMENTATIVOS .....	91
El origen de los proyectos inversionistas en la industria de procesos químicos y fermentativos .....	91
Análisis económico del proyecto .....	92
Índices de costo .....	99
Ganancia.....	100
Estudio económico financiero del proyecto .....	101
Análisis de sensibilidad.....	109
Referencias bibliográficas .....	110

### CAPÍTULO V

#### PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES

EN UN TERRITORIO. EL CASO DE GUATEMALA.....	113
Introducción .....	113
Estudio de la relación oferta-demanda.....	114
Análisis de las tecnologías .....	116
Análisis prospectivo estratégico.....	118
Conclusiones .....	121
Referencias bibliográficas .....	122

### CAPÍTULO VI

#### POSIBILIDADES DE LOS RESIDUALES DE DESTILERÍAS DE ETANOL COMO MEDIO DE CRECIMIENTO DE MICROALGAS CON VISTAS A LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES

Y COPRODUCTOS .....	123
Introducción .....	123
Posibilidades de las microalgas.....	124

Posibilidades tecnológicas de crecimiento de las microalgas .....	125
La intensificación de la producción de microalgas .....	127
La producción de biodiesel de microalgas .....	132
La producción de bioetanol de microalgas.....	136
Conclusiones .....	140
Referencias bibliográficas .....	140

## CAPÍTULO VII

### POSIBLE IMPACTO ECONÓMICO DE LA UTILIZACIÓN DE LAS VINAZAS DE DESTILERÍAS

### DE BIOETANOL COMO FUENTE DE ALIMENTO ANIMAL UNA SOLUCIÓN ECONÓMICA Y

AMBIENTAL. ....	147
Introducción .....	147
Balances en la destilería .....	149
Preparación de la materia prima.....	149
Fermentación.....	150
Separación .....	151
Requerimientos del proceso .....	152
Equipamiento tecnológico y auxiliar .....	153
Requerimientos de calidad .....	154
Recursos humanos.....	154
Presupuesto inversionista .....	154
Costos de producción .....	155
Evaluación económica .....	156
Conclusiones .....	157
Referencias bibliográficas .....	158



# PRÓLOGO

*Dr. C. Ing. Mario José Mantulak Stachuk*

*Dr. C. Ing. Juan Carlos Michalus Jusczyczyn*

Docentes, Dpto. de Ing. Industrial, Facultad de Ingeniería,  
Universidad Nacional de Misiones, Argentina

La búsqueda de la disminución del impacto ambiental de los procesos industriales de la industria química y fermentativa ha estado presente en el esfuerzo de los especialistas industriales y de los investigadores, así se encuentran en la literatura científica los resultados de variados estudios sobre estos intentos en diferentes ramas del desarrollo económico.

Afortunadamente, en el plano científico internacional, han aparecido propuestas metodológicas en el análisis y síntesis de procesos y resultados en el campo de las nuevas tecnologías de obtención de productos que permiten estudiar soluciones para el desarrollo competitivo y sustentable de este sector industrial.

No obstante este esfuerzo y otros trabajos que seguramente se escapan, la experiencia ha demostrado que es adecuado convocar a la comunidad científica nacional e internacional para enfrentar con éxito los retos del desarrollo y poder ordenar en proyectos específicos de trabajo, con el propósito de alcanzar consensos en la Política Científica para mitigar los efectos ambientales negativos de la industria química y fermentativa, lo que permitiría la generación de proyectos de la comunidad científica internacional que sin dudas tendrán un alto impacto en la gestión ambiental.

En este contexto reviste importancia estratégica la obra científica que aquí se presenta y que tiene como objetivo resumir las ideas esenciales de una parte de la comunidad científica internacional para la generación de conocimientos que permitan contribuir a la mitigación del impacto ambiental de esta rama de la industria.

Permítansenos con este prólogo secundar este esfuerzo.



# INTRODUCCIÓN

| *Dr.Sc. Ing. Erenio González Suárez*  
| Universidad Central de las Villas, Cuba

| *Dr.C. Ing. Juan Esteban Miño Valdés*  
| Universidad Nacional de Misiones, Argentina

El desarrollo del Mundo, hoy en día, no se pudiera concebir sin el uso de la energía y productos químicos, convirtiéndose en un gran reto para la humanidad actual obtener toda la energía y los productos químicos que se necesitan para este desarrollo, de la forma más económicamente posible y sin dañar el entorno, garantizando calidad de vida a las generaciones presentes y futuras.

El ser humano a través de la historia ha alterado el equilibrio natural del medio ambiente. Este fenómeno se aceleró ostensiblemente después del advenimiento de la revolución industrial en el siglo XIX. La revolución industrial trajo consigo nuevos procesos de producción, que fueron a su vez acompañados por nuevas tendencias de consumo por parte de los seres humanos.

El cambio climático global, consecuencia de la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre, ha provocado fundamentalmente por el consumo cada día más alarmante de combustibles fósiles, una amenaza para las generaciones presentes y futuras, quienes ya están sufriendo los impactos negativos que ocasionan los desastres naturales, como: aumento del nivel del mar, sequías, inundaciones, aumento de las actividades ciclónicas, derretimiento de los glaciales, entre otros; lo que a la vez conlleva un riesgo creciente de pobreza, hambre, enfermedades, sobre todo en las poblaciones más pobres y vulnerables ante estos efectos.

El impacto ambiental ocasionado por las actividades desarrolladas por el hombre presenta grandes diferencias a nivel regional y local, algo que se hace

mucho más evidente cuando se comparan regiones y países con distintos niveles de desarrollo económico. Los problemas ambientales a nivel regional y local pueden cambiar de manera drástica, determinando por ende las prioridades ambientales particulares para cada región y país (sin desconocer la importancia de los problemas ambientales a nivel global, y las iniciativas mundiales para su solución).

En particular, la producción de productos químicos tales como los biocombustibles líquidos para el transporte (etanol y biodiesel), ha tenido en los últimos años, un crecimiento acelerado que rebasa en muchos casos, las posibilidades de conocimiento apropiado de estas tecnologías, lo que ha implicado serias interrogantes sobre sus ventajas y desventajas, en especial sus efectos negativos sobre el medio ambiente y la seguridad alimentaria, dando origen a encarnados debates en sus defensores y detractores, lo que se debe en muchos casos a la no existencia de una política bien establecida en cada país respecto al tema y al no aprovechamiento óptimo de los recursos naturales disponibles en la regiones por falta de recursos humanos y financieros para ello.

En la base del progreso económico de la humanidad está la capacidad del hombre de generar nuevas ideas. Por ello, la solución a esta problemática exige una revolución tecnológica mundial; la piedra angular de ésta es un cambio en la forma de obtención de la energía y los productos químicos, su distribución y consumo, mediante implementación de medidas de eficiencia energética y de nuevas tecnologías más limpias, así como un aumento considerable del uso de fuentes renovables de energía y productos químicos, como son para la energía, la hidráulica, la geotérmica, la eólica, la solar y la biomasa, así como esta última para los productos químicos.

El desarrollo de la ciencia y la tecnología ha creado nuevas tecnologías de conversión de productos naturales y biomasa, más avanzadas y eficientes que hacen posible actualmente obtener productos químicos, a partir de materiales y subproductos tales como la madera, los cultivos o los residuos de todo tipo.

El uso de estas fuentes de productos químicos y energía debe responder a una estrategia que garantice la asimilación acelerada no sólo de los resultados de la generación de conocimientos de las instituciones de investigación o las empresas nacionales, sino también los resultados de las investigaciones y tecnologías reportadas en el mundo científico técnico, siendo también un requerimiento del desarrollo de los procesos que utilizan las diferentes fuentes de materias primas y energía crear una capacidad adecuada de asimilación, transferencia y creación de tecnologías.

En el mundo moderno la transferencia de tecnología de los países industrializados a los menos desarrollados es una realidad inevitable y también



necesaria, que debe ser gerenciada, en este contexto los aspectos concernientes a la transferencia y asimilación de tecnologías de los países desarrollados son de gran importancia para países cuyos recursos tecnológicos son infinitamente menores a los del mundo industrializado.

Debido a ello, es necesaria la búsqueda de integraciones y cooperaciones que viabilicen la introducción eficiente y eficaz de estos procesos tecnológicos, de acuerdo a las condicionantes de cada país, teniendo las universidades y los centros de investigación un papel fundamental en esta problemática.

La posibilidad de tecnologías emergentes es un proceso que no debe ser descartado, pues permite, si se participa en su desarrollo, lograr un rápido acceso a la competitividad de las empresas y en ello se puede también concentrar la colaboración Sur-Sur, específicamente en el caso de hacer más competitiva la industria de procesos químicos y fermentativos, que, como se conoce, es altamente contaminante al Medio Ambiente.

Si partimos, de que por un lado la transferencia de tecnología es necesaria para el desarrollo de nuestros países y por otro que existen factores que hacen a las tecnologías transferidas inapropiadas, se concluye que es necesario realizar acciones para resolver este problema, entre estas acciones es recomendable en el campo científico técnico, la elaboración de metodologías y capacidades científicas para la adaptación y asimilación de tecnologías foráneas, para hacerlas compatibles con nuestros mercados, con nuestras materias primas y fuentes de energía, con la estructura y características de nuestra mano de obra, etc.

El reto a enfrentar consiste en cómo reducir los riesgos de la obtención de productos químicos (se incluyen los biocombustibles), garantizando que las oportunidades que conllevan se repartan de manera generalizada y justa.

La colaboración Sur-Sur para la transferencia de nuevas tecnologías, con vista a la producción de energía y productos químicos, es una alternativa idónea para enfrentar creativamente, con mentalidades y propósitos, similares retos que conlleva a una solución para mejorar las matrices energéticas de los países subdesarrollados y en vías de desarrollo, sin afectar la seguridad alimentaria y sin dañar el medio ambiente.

Por los aspectos anteriores, y fruto de la experiencia acumulada, exponemos en las páginas siguientes la importancia de los estudios previos inversionistas en la absorción (asimilación) de tecnología, las vías para la Gestión de Conocimientos, con apoyo de la comunidad científica, para contribuir a la mitigación del impacto ambiental de la industria química y fermentativa.



# CAPÍTULO I

## **Prospectiva tecnológica para el desarrollo sostenible y ambientalmente compatible de la industria Química**

| *Dr. Sc. Ing. Erenio González Suárez*  
| Universidad Central de Las Villas, Cuba

| *Dr. C. Ing. Juan Esteban Miño Valdés*  
| Universidad Nacional de Misiones, Argentina

| *Dr. Sc. Ing. Vyatcheslav V. Kafarov*  
| Universidad Industrial de Santander, Colombia

## **INTRODUCCIÓN**

La industria de procesos químicos y fermentativos para su desarrollo competitivo requiere de un esfuerzo innovador constante que sólo podrá materializarse si se aplican los adelantos de la ciencia y la técnica.

Por otro lado, como se conoce, en los últimos años se incrementó el nivel de incertidumbre y complejidad de la vida social y de la transformación económica, política, científica y tecnológica en un mundo cada vez más interdependiente, además y desafortunadamente, desde el momento en que se concibe un proceso industrial hasta su realización y maduración transcurre un período más o menos largo de tiempo. Por otro lado, frecuentemente existe incertidumbre en algunos de los datos para el diseño de los equipos de una planta industrial y muchas veces en el proceso de construcción y montaje de una instalación se introducen cambios que modifican el diseño del autor del Proyecto. Esto trae como consecuencia que las condiciones reales a las que opera un sistema industrial difieran de las que se consideraron en su proyección, por lo que en la proyección del desarrollo competitivo de las instalaciones de la industria química y fermentativa deben considerarse los diferentes niveles de incertidumbre.

En el uso de la biomasa como fuente de productos químicos, la caña de azúcar es una de las principales fuentes de los países latinoamericanos, pues como se sabe, la caña de azúcar cuyo potencial genético está aún lejos de ser bien aprovechada, es una planta de características excepcionales, capaz de sintetizar carbohidratos solubles y materiales fibrosos a un ritmo muy

superior al de otros cultivos. Esta propiedad le abre un espectro prácticamente infinito de aprovechamiento para la fabricación de cientos de productos. Entre estos productos el azúcar ocupa hasta la fecha un lugar primordial debido a que constituye, desde hace cientos de años uno de los componentes más importantes y universalmente utilizado de la dieta humana.

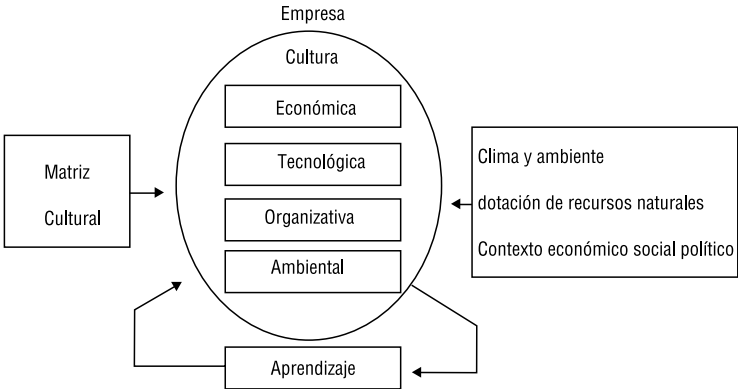
No obstante lo anterior, desde hace ya varios años, ha sido un interés de los países productores de caña de azúcar, el desarrollo de una estrategia para incrementar su competitividad que ha incluido como una acción fundamental: la diversificación de la industria, mediante el uso integral de la caña de azúcar como materia prima para un elevado número de derivados y subproductos.

Afortunadamente en el plano científico internacional han aparecido propuestas metodológicas y resultados en el campo de la industria química y fermentativa que permiten estudiar soluciones para el desarrollo competitivo y ambientalmente compatible de este sector industrial.

**PROSPECTIVA TECNOLÓGICA Y ANÁLISIS DE PROCESOS EN EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA QUÍMICA Y FERMENTATIVA**

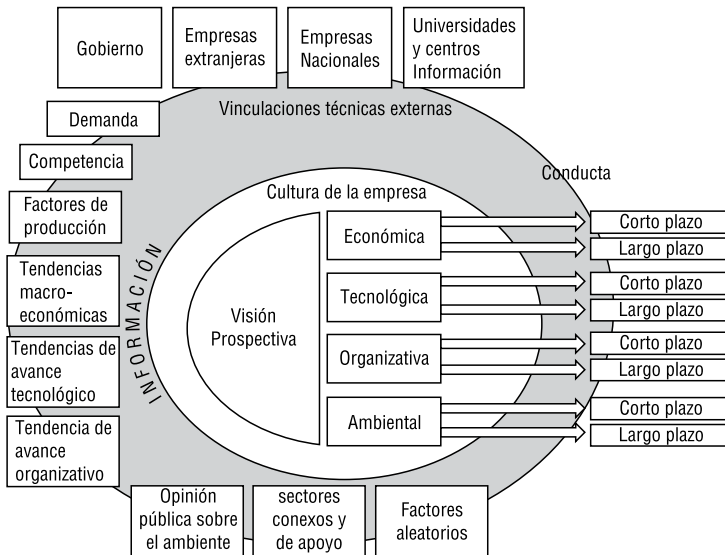
La competitividad de una empresa está influida por su cultura, que incluye los aspectos concernientes a los problemas económicos, tecnológicos, organizativos, y ambientales. En la medida que una empresa es capaz de desplegar una mayor capacidad de aprendizaje es entonces está más capacitada para ser competitiva en un entorno cambiante.

Figura 1.1.: Determinante de la cultura de la empresa (Pirela; 1996).



Por otro lado la competitividad de la empresa está influida por su contexto, que incide prospectivamente en su desarrollo tanto en su conducta a corto como a largo plazo.

**Figura 1.2.: La empresa y su contexto (Pirela; 1996)**



De cualquier modo los desarrollos competitivos de las empresas de la industria química tendrán que desarrollarse con un nivel de riesgo y anticipación que podrán disminuirse en la medida que se despeje la incertidumbre en cualquiera de sus manifestaciones.

En la práctica de ingeniería muchos problemas de incertidumbre en los datos de diseño se resuelven a través de los estudios a escala de Planta Piloto o tomando valores industriales de instalaciones similares ya existentes.

Cuando se desarrollan nuevos procesos industriales, partiendo de procedimientos de laboratorio, se acrecientan las dudas para el diseño de la instalación industrial, toda vez que operaciones de manipulación de fluidos, calentamiento o separación por solo citar algunos se ejecutan en muchas ocasiones en el laboratorio por procedimientos impracticables industrialmente, por lo que deben proyectarse soluciones de ingeniería en el escalado industrial de estos procesos tecnológicos que necesariamente tendrán una gran incidencia en la factibilidad y viabilidad técnica, económica y comercial del proceso estudiado.

Por todo lo anterior, considerar la incertidumbre en el diseño y escalado de los procesos de la industria química y fermentativa se hace un problema cardinal de la ingeniería de procesos, como se comprende es una necesidad y además existen bases científicas para enfrentar este reto.

Precisamente, los problemas de incertidumbre en la ingeniería de procesos, así como los principios metodológicos para su consideración en el diseño

de nuevas instalaciones fueron ordenados (Rudd y Watson; 1968) en cuatro direcciones, a saber:

- Los aspectos relacionados con la determinación del mejor ajuste del diseño un proceso a los cambios futuros;
- Los aspectos concernientes a la incertidumbre de los datos de diseño de los equipos;
- Los aspectos relacionados con la consideración de las fallas operacionales de los equipos componentes del proceso tecnológico el diseño de instalaciones completas;
- Los aspectos relacionados con el efecto de los cambios en el entorno en el diseño y operación de instalaciones de procesos químicos.

Como antecedentes, en la literatura científica internacional, aparecieron entre otros, trabajos como los de los mismos autores, sobre las correcciones en la incertidumbre de los proyectos (Rudd- Watson;1965), la considerando la dinámica económica en la evaluación de una nueva planta química (Twaddle y Malloy;1966), acerca del sobre diseño de una columna de destilación (Villadsen;1966), el análisis del diseño de un reactor agitado en presencia de incertidumbre sobre la velocidad de reacción química (Kittrell y Watson;1965), el referente a la teoría de la fiabilidad en el diseño de sistemas de la industria química (Rudd;1963), el estudio sobre el efecto de las variaciones del tiempo de las etapas discontinuos en el comportamiento de procesos(Smith y Rudd; 1964) Posteriormente han aparecido otros trabajos dirigidos a la consideración de la incertidumbre en la estrategia de procesos químicos, entre los que resaltan entre otros: la obra de (Himmelblau; 1970) condensando toda una experiencia en la detección y diagnostico de fallas en la industria química, así como los trabajos / sobre la problemática de la planificación y la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre, (Copen;1976), (Rose;1976), (Bell Al Zakri;1981) los estudios tratando los problemas de fiabilidad de un compresor centrifugo en línea(Boyce;1978), los trabajos sobre el análisis de la fiabilidad en instalaciones industriales(Gruhn, Schmidt y Maver; 1980), Gruhn, Fahner y Neumann;1986), el trabajo sobre la fiabilidad de los procesos de la industria química (Galls y Kovacs; 1985), las investigaciones sobre Gerencia e Incertidumbre (Watanabe; 1986), (Huang; 1986), (Brestovansky y Rippin;1986), así como el referido a los riesgo que provoca la incertidumbre en el depósito de desechos (Lafferre;1986); el referido a sobre el diseño óptimo de instalaciones de la industria química considerando la fiabilidad y disponibilidad de los equipos (Scholz, Hittorff y Schercker;1987) y los en lo referente a los balances de materiales y energía considerando la incertidumbre (Badea;1984)(Basea;1987), igualmente el trabajo sobre el diseño y escalado

de procesos en condiciones de incertidumbre (Douglas;1995) en el cual resalta entre otros los aspectos siguientes:

- Al considerar sobre diseños por causa de la incertidumbre, podemos encontrar que las diferencias de costos en procesos térmicamente integrados y los no integrados son prácticamente no significativas;
- La disminución de la incertidumbre puede generar ahorros considerables, por lo que altamente estimulante reducir la incertidumbre e incluir sistemas de control.

Lo que justifica en muchos casos que antes de diseñar la instalación para un proceso industrial se invierta en estudios encaminados a minimizar los puntos neurálgicos en la incertidumbre de los nuevos procesos industriales, en lo que no se deben descartar los aspectos referidos a la calidad de la seguridad de la instalación, (Haupmanns;1998), (Haupmanns;1999)( Haupmanns;2000).

De autores latinoamericanos resaltan entre otros, los esfuerzos de en la consideración de la incertidumbre en la estrategia de procesos sobre el análisis de alternativas para la ampliación y reconstrucción de instalaciones industriales (Gallardo;1982),la consideración de la incertidumbre en el diseño de instalaciones de productos derivados de la caña de azúcar (Rosa; 1996), de la consideración de la incertidumbre en los datos de diseño de equipos de obtención de productos químicos de minerales disponibles (Pedraza;1997),(Fuentes; 1997) y en particular en la diversificación de la industria de la caña de azúcar (Napolis;2004) (Cata; 2006), (Lauchy;2009) lo que sin duda es una de las tareas científicas necesarias para la aplicación de los métodos del Análisis Complejo de Procesos en las condiciones de un país en vías de desarrollo y específicamente en los estudios vinculados al desarrollo de la industria de procesos químicos y fermentativos (González y Schuart;1991), lo que por otra parte es un aspecto que tiene gran influencia en la política científica de los centros de generación de conocimientos/.

Cuando consideramos la incertidumbre en el análisis y diseño de instalaciones de la industria de procesos químicos, los dos aspectos que debemos considerar de inmediato son:

- 1) Formas caracterizar la incertidumbre, lo que puede hacerse mediante:
  - Distribuciones de probabilidad, para lo cual dos casos se dan:
    - Raramente tenemos esta información
    - Se tiene como resultado de un inmenso trabajo computacional.
  - Límites altos y bajos, para lo cual tenemos que:
    - La información es fácil de obtener
    - Además se puede asignar un factor de peso  $W$  a cada variable.

2) Vías para incorporar la incertidumbre dentro de los procesos de diseño, lo que puede lograrse mediante:

- Problemas de optimización complejos
- Aproximaciones básicas.

Aspectos estos que serán estudiados posteriormente de acuerdo al origen de la incertidumbre y de las características de importantes operaciones unitarias y de la ingeniería de las reacciones químicas.

Debido a lo anterior todo parece indicar que son precisamente las inciertas y complejas circunstancias que se presentan hoy ante la casi totalidad de las organizaciones, en cualquier lugar, lo que hace difícil suponer que estas pueden mantenerse y expandirse en el futuro sin contar con una apreciación suficientemente clara de los posibles caminos que podrían emprender en lo adelante y de las implicaciones que tendrían las decisiones que se tomen en el presente en relación con el porvenir.

Esta necesidad de imaginar los diversos mundos en que nos podría tocar vivir lo cual, en otro orden, resulta una aspiración inherente a la naturaleza humana trasciende el tipo de esfuerzo destinado a predecir o adivinar un futuro que, en la realidad, aun no existe y que, además, no es ni único ni predeterminado.

En el análisis debemos considerar que en la Ingeniería Química influyen variadas disciplinas y actividades en estos tiempos, entre las que sobresale (González; 2005).

- Avances en la electrónica y su influencia en los medios de medición y control de procesos.
- Desarrollo de los medios de computación (Hardware y Software)
- Simuladores de proceso.
- Creación de bases de datos.
- Sistemas automatizados de diseño.
- Impacto de la informática y las comunicaciones.
- Tendencias hacia la versatilidad del equipamiento y la combinación de tecnologías.
- Desarrollo de la biología y la Biotecnología
- Desarrollo de nuevas técnicas de separación.
- Desarrollo de nuevos materiales y su aplicación al diseño de equipos y componentes industriales.
- Impacto de las Regulaciones Internacionales.

También, los avances en la industria químico farmacéutica y sobre todo, en la aun joven industria biotecnológica han promovido el desarrollo de las



técnicas de separación y purificación de productos. Entre las técnicas más difundidas en la actualidad para estos fines se destacan (González; 2005):

- Técnicas cromatográficas.
- Método de intercambio iónico.
- Nuevas técnicas de filtración (osmosis inversa, manofiltración y ultrafiltración)
- Centrifugación y ultracentrifugación.
- Destilación molecular.
- Extracción supercrítica.
- Cristalización selectiva.

Por otro lado, incremento explosivo de las investigaciones y la disminución en el tiempo de los plazos de la aplicación práctica de los resultados científicos, va convirtiendo cada vez más a la ciencia en un instrumento fundamental para el desarrollo de las fuerzas productivas de la sociedad y el perfeccionamiento de la vida social en su conjunto.

En relación con lo anterior, son de interés las leyes que expresan la relación mutua entre la técnica, la producción y la ciencia en las diferentes etapas del desarrollo histórico. Por ello debemos partir en nuestro análisis, del hecho de que hoy en día, es un rasgo distintivo de la época, la penetración frontal de la ciencia en los secretos de la naturaleza, de manera que es una necesidad imperiosa del mundo moderno el dominio, de las ciencias naturales y técnicas, así como de las sociales.

### **Prospectiva tecnológica**

De lo que se trata aquí, en su lugar, es de esa función que en el marco de la actividad gerencial tiene como propósito esencial crear una determinada capacidad anticipatoria ante las distintas situaciones que hipotéticamente podrían ocurrir y que afectarían a la organización; de la preparación de concepciones y propuestas a tomar ante cada una de las posibles circunstancias, a partir de un método de razonamiento lógico, amplio y sistemático, que hace de la evaluación del presente y que persigue establecer los nexos y conexiones de éste con los futuros posibles y probables. Esta función gerencial, que debe ser considerada como componente de un sistema anticipatorio más amplio de gestión estratégica, tiene, ante todo, la misión fundamental de tratar de anticipar el conocimiento acerca de las condiciones cambiantes del mundo exterior a la organización y de ella misma, así como contribuir al aprendizaje de la mejor manera de vivir en él.

El término “prospectiva”, cuya aparición se ha hecho frecuente en la literatura especializada que sobre técnicas de dirección, administración o gestión se publica en los últimos años en Iberoamérica, expresa la idea de búsqueda de posibilidades, exploración de nuevos campos, localización de recursos.

En efecto, este concepto, que adelanta al más tradicional de pronosticar, que se refiere esencialmente al conocimiento de antemano de qué puede ocurrir, pero sin una posición proactiva o de acción modificativa del posible curso de los acontecimientos, constituye un tipo de reflexión que conduce el análisis y proyección de las múltiples alternativas o variantes que, con determinadas probabilidades, pueden existir en el futuro, partiendo de las posibles actitudes y comportamientos de los diferentes factores o actores que intervienen en una situación o problema y que determinan la adopción de distintas estrategias factibles. Es decir, ya hoy resulta totalmente insuficiente (aunque imprescindible en un principio) contar solo con un conocimiento anticipado de qué puede ocurrir, sino que es necesario, además crear las condiciones para poder actual antes. En esto estriba una diferencia esencial entre ambos conceptos mencionados.

Por otra parte, rigurosamente hablando, es necesario señalar que la función “prospectiva”, en el contexto de la gestión empresarial, no debía ser identificada con un aspecto particular de esta actividad, ya fuera este el comercial, el financiero, el productivo o incluso el etnológico, debido, entre otras razones, al hecho de que en el mundo actual es cada vez más difícil poder separar o aislar áreas específicas con una naturaleza o contenidos únicos. En la práctica todos los componentes o esferas de una organización se encuentran estrechamente interrelacionados y por esto pierde sentido referirnos a problemas “estrictamente comerciales” o a cuestiones “Exclusivamente tecnológicas”.

Es precisamente de la interpretación y armonización de los distintos elementos o planos de la gerencia de donde parece surgir uno de los rasgos más importantes de la competitividad, con lo cual no se niega, sino se reafirma, la necesidad de una especialización de las funciones que debe cubrir cada parte de la organización.

Debido a lo anterior, cuando a la función “prospectiva” se le adiciona el calificativo de “tecnológica” lo que se subraya con esto es el especial significado de esta última esfera en el contexto de la reflexión prospectiva y, en especial, de la que se aplica en los marcos empresariales. Ello, en otro orden, obedece a dos causas principales; la primera es que el factor tecnológico, entendido aquí como innovación tecnológica, constituye un componente esencial del logro de la competitividad; la segunda razón, debido a la debilidad crónica que, en general, se presenta en este aspecto clave de la efectividad y la competencia en los países no desarrollados.

El síntesis, lo fundamental no es por tanto obtener una visión aislada del aspecto tecnológico en el futuro, separada de los demás elementos o “piezas” de la vida económica y social, sino examinar el lado tecnológico en estrecha conjunción con los restantes ingredientes de la actividad de la organización; la influencia de la tecnología sobre ellos y de estos sobre la primera.

En 1977, se caracterizan, en forma muy sintética, los principales rasgos distintivos de los enfoques de la previsión “clásica” y de la “prospectiva” y define este último término como previsión global, cualitativa y múltiple (Michel Godet, 1977).

**Tabla 1.1.:** Comparación de la previsión y de la prospectiva

Aspectos	Previsión clásica	Prospectiva
Visión	Parcial	Global
Variables	Cuantitativas	Cualitativas (cuantificables o no)
	Objetivas y conocidas	Subjetivas (conocidas u ocultas)
Relaciones	Estáticas; estructuras ctes.	Dinámicas; estructuras evolutivas
	El pasado explica el futuro.	El futuro es la razón de ser del presente
	Único y seguro	Múltiple e incierto
Método	Modelos deterministas y cuantitativos	Análisis intencional: modelos cuantitativos (análisis estructural) y estocásticos (impactos cruzados)
	Pasivo o adaptativo	Activa y creativa.

Desde un punto de vista práctico, estas definiciones contienen, explícita e implícitamente, algunos principios metodológicos y conceptuales generales que resultan importantes para comprender correctamente el alcance y la proyección de trabajo de la labor prospectiva en la actualidad.

Principios fundamentales de la prospectiva.

1. La prospectiva no es un método, ni tan siquiera un conjunto de métodos sino una “forma de ataque” a un problemas, un enfoque para estudiar los posibles estados futuros de una situación dada.
2. Un propósito esencial de los estudios prospectivos consiste en encontrar los posibles puntos de ruptura o de inflexión en las tendencias de los fenómenos bajo estudio y determinar los factores o causas que puedan motivarlos.
3. Se parte de la posible existencia de múltiples manifestaciones en el futuro de un problema dado, lo que conduce al obligado examen de alternativas de soluciones diferentes entre sí respecto a un mismo objetivo.
4. El arsenal de métodos de la prospectiva constituye un conjunto abierto, al que van incorporándose nuevas herramientas de diversos campos del conocimiento. Cualquier método resulta valido, a condición

que demuestre su eficacia y rigor en el esclarecimiento de las opciones de futuro de un objeto bajo análisis.

5. En un estudio prospectivo se interrelacionan distintos métodos, distintos factores o ángulos de un problema, e incluso diferentes puntos de vista (muchas veces contrapuestos) sobre una misma cuestión.

6. La forma natural de síntesis de los estudios en prospectiva hoy la constituye su expresión en términos de escenarios.

7. Atendiendo a esta diversidad de métodos, ángulos de estudios y puntos de vista, la realización de los estudios prospectivos debe ser llevada a cabo por equipos de trabajo multidisciplinarios.

8. El valor de los resultados de un estudio prospectivo estará en dependencia no del grado de refinamiento o satisfacción de los métodos utilizados, sino de su adecuada elección y aplicación, del correcto planteamiento del problema a estudiar y de la capacidad de penetración que se logre en la esencia misma de los procesos bajo estudio.

9. Los estudios prospectivos se realizan como objetivos concretos y “estos pueden ser de dos tipos fundamentales” el primero, una determinada disciplina (biotecnología, electrónica, telecomunicaciones, etc), el segundo una situación socioeconómica determinada, una región, una empresa, un conjunto de empresas, una rama productiva o de servicios.

10. Los estudios prospectivos y sus resultados deben ser considerados como elementos fundamentales en el proceso de planificación y gestión económica a los distintos niveles de la sociedad y en términos más generales, como parte de los sistemas anticipatorios orientados hacia la formalización de políticas de desarrollo y de toma de decisiones.

## **El Análisis de Procesos**

El Análisis de Procesos es uno de los campos de la ingeniería química cuyo estado del arte repercute de manera rápida, hoy día casi inmediata, en las posibilidades de solución de problemas industriales por lo que se ha incorporado en los planes de estudio de esta profesión, con apoyo de textos de uso generalizado en el mundo moderno (Rudd y Watson 1968), (Himmelblau y Bischoff; 2004) que se van actualizando en sucesivas ediciones que van adoptando los sucesivos avances del tema en general, ilustrados con ejemplos de aplicación a casos particulares para los que también se involucran los avances más recientes.

La complejidad del Análisis Complejo de Procesos consiste ante todo en:

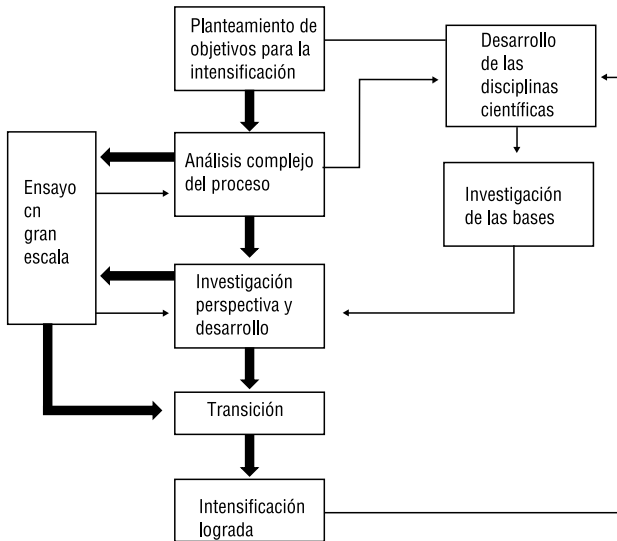
- La inclusión de varias secciones, elemento y etapas o fases del proceso de producción, incluyendo el proceso principal correspondiente y los procesos auxiliares y secundarios decisivos para su efectividad.
- Descubrimiento y aprovechamiento de efectos del sistema para la intensificación.
- La magnitud relativamente grande de los objetivos a que se aspira cada vez y los resultados realmente logrados.

En la aplicación del Análisis de Procesos, a ejemplos prácticos se presentan, casi siempre, junto con resultados económicos concretos, un intento de generalizar las experiencias metódicas. Esto ha contribuido a ganar consenso sobre la posibilidad de utilizar de formas sistemáticas y controlados métodos teóricamente fundamentados. En la literatura se presentan métodos generales, estrategias y modelos para la optimización con vistas a la elaboración y evaluación de nuevos objetivos parciales, siendo un estímulo fundamental para la realización de los Análisis de Procesos, los trabajos que reflejan una amplia investigación sobre el comportamiento fiable de los procesos tecnológicos. Por otro lado debe tenerse en cuenta, el hecho de que con el conocimiento sobre la gran información necesaria para los Análisis de Procesos y su significación en la seguridad de los resultados, ha aumentado en los últimos años la necesidad de la vinculación con el problema de la indeterminación de la información y el desarrollo de métodos de decisión en los procesos en condiciones de incertidumbre, así como otros relacionados con la aplicación de la computación al Análisis Complejo de Procesos .

El Análisis Complejo de Procesos, como vía para lograr la intensificación de los procesos tecnológicos de la industria química consiste en un amplio análisis científico técnico y técnico económico de un proceso existente o concebido, en lo referente a las posibilidades de realización óptima de los objetivos previstos, por ello constituye un elemento importante para tomar decisiones más científicas y responsables.

Por lo anterior, existe una importante relación entre la aplicación del Análisis Complejo de Procesos y el desarrollo científico técnico, lo que se representa en la figura 1.3. (González; 1995).

**Figura 1.3.:** Relaciones del Análisis complejo de Procesos en su aplicación



El Análisis Complejo de Proceso sirve para descubrir las partes débiles en el proceso de producción correspondientes y para la creación de medidas para su eliminación parcial o completa lo que conduce a un aumento de su efectividad permitiendo de esta forma un mejor aprovechamiento de las materias primas, la energía y los medios de trabajo así como un aumento de los grados de eficiencia de la fuerza de trabajo y el mejoramiento de las condiciones materiales bajo las cuales ellos laboran. La intensificación de la producción mediante el Análisis Complejo de Procesos, requiere la elaboración de objetivos económicos en cada industria de forma concreta, entre lo que se encuentra de acuerdo con la experiencia acumulada:

- Aumento de la calidad y la cantidad de los productos elaborados;
- Disminución de los consumos específicos y absolutos de materiales y energía;
- Mejoramiento de las condiciones de trabajo;
- Ahorro de fuerza de trabajo;
- Disminución de la contaminación ambiental.

Una característica esencial que diferencia la Análisis Complejo de Procesos de los métodos tradicionales, es que este no está dirigido a la eliminación de fuentes de pérdidas dispersas a los modos de trabajo inefectivos, sino al logro y aprovechamiento de las posibilidades del proceso, cuyo origen está ante todo en el desarrollo científico técnico. Los efectos sobre todo el proceso

están en el aumento de su rendimiento mediante el incremento continuo de los recursos potenciales individuales y el entrelazamiento de los recursos en un sistema estructural funcional y optimizado de los recursos, así como por el aprovechamiento de los potenciales totales y son posibles sobre la base de las siguientes relaciones:

1. En vez de medios de trabajo separados se emplean crecientemente instalaciones que a la vez están unidas entre si como sistemas de instalaciones. La construcción de instalaciones como sistema, así como el descubrimiento y solución de las causas de limitaciones de los procesos globales se ha puesto de manifiesto como una fuente extraordinariamente caudalosa para la intensificación. A menudo hay que superar en ellas limitantes existentes en determinadas esferas de dirección.
2. Además de los posibles efectos en el proceso mediante la construcción de un sistema de instalaciones y la modificación del rendimiento de las capacidades de los elementos y de la estructura del sistema de instalaciones, es igualmente de gran significación el mejor ajuste a las modificaciones de las materias primas y el equilibrio del medio ambiente. Este ajuste, hace necesario, una utilización preferencial de materias primas y portadores energéticos del país, así como su aprovechamiento cada vez mas complejo y un perfeccionamiento en los sistemas cerrados.
3. La mayor utilización de los productos residuales, el más amplio aprovechamiento de la energía, etc. Posibilita también una mejor adaptación de la producción al equilibrio del medio ambiente y con ello, una esencial reducción de la carga ambiental.

Con la intensificación, los procesos transcurren a velocidades cada vez mayores, lo que trae como consecuencia en el proceso significativos acortamientos de los tiempos requeridos para las reacciones y también de los obreros. La solución de los problemas de la dependencia temporal y la determinación temporal de las etapas individuales del proceso, así como de su ejecución en las instalaciones individuales unidas al sistema posibilitan efectos ulteriores en el sistema que son determinantes para la intensificación de la producción. Esto, también comprende medidas para la optimización de las existencias, para configuración de acoples variables y modos flexibles de marcha en sistemas de instalaciones.

4. Además de las conexiones materiales y energéticas en los sistemas de instalaciones son en gran medida determinantes los acoples informativos con vista a la intensificación en la escala de sistema completos de producción.

5. Aunque con mayor peso en las condiciones objetivas, al mismo tiempo también se ha dado creciente importancia a los factores subjetivos. De

la actividad de los obreros en el proceso de producción resultan cada vez, mayores efectos. Esto se constata no solamente por los resultados positivos alcanzados, sino también por los daños causados por comportamientos erróneos demostrablemente de origen subjetivo o por descenso en los niveles de producción. Esto exige el perfeccionamiento de la capacitación y comprensión de los obreros en las instalaciones en las cuales se modifican las relaciones objetivas en forma de condiciones materiales de trabajo, de las funciones de la fuerza laboral, así como en la estimulación moral y material.

6. Los Análisis Complejos de Procesos deben realizarse siempre con el objetivo de explotar reservas en los procesos y las instalaciones tecnológicas y de mejorar las condiciones de trabajo y de vida de los obreros y representan una parte importante del rol activo del hombre y de la ciencia de los procesos productivos, permitiendo hacer aprovechables tecnológicamente los conocimientos de causa más modernos del desarrollo científico técnico en instalaciones existentes o concebidos.

Las conclusiones generales acerca de la nueva calidad del Análisis Complejo de Procesos de acuerdo se resume como (Bude; 1982)

1. El Análisis Complejo de Procesos es una vía cualitativamente nueva y un enriquecimiento efectivo de los métodos para la intensificación de la producción.
2. Los métodos tradicionales de análisis de procesos se integran en la ejecución de los Análisis Complejo de Procesos.
3. De la aplicación de los métodos de Análisis Complejo de Procesos se extraen nuevos conocimientos metodológicos que permiten un incremento de la efectividad de los métodos de análisis parciales de procesos.
4. Los efectos del Análisis Complejo de Procesos sobre los sistemas estudiados se logra sobre las siguientes bases:
  - Considerar sistemas de instalaciones y no plantas aisladas, lo cual es válido no solo para las nuevas instalaciones, sino también para la reconstrucción y modernización de las ya existentes.
  - Partiendo de las realidades de la situación económica presente u y futura. Buscar una adaptación más efectiva las nuevas condiciones materiales y energéticas, así como el equilibrio con el medio ambiente.
  - Mejorar dominio de la independencia y ajustes temporales de procesos que se desarrollen en varias fases o etapas.
  - La aplicación de la microelectrónica en los sistemas para los lazos informativos.



- Perfeccionar las condiciones subjetivas dentro del proceso productivo.

Se hace evidente que con la ayuda del Análisis Complejo de Proceso se alcanza tanto una intensificación de las viejas plantas, como también puede prepararse y lograrse la intensificación de modernas instalaciones, altamente productivas estando las direcciones principales de acción del Análisis Complejo de Procesos en la elevación de la disponibilidad de la capacidad de las plantas y con ello en el ahorro de plazas de trabajo, así como en la reducción del consumo material, energía y productos auxiliares. Para lo que se requiere la determinación de los puntos débiles del proceso, de manera que podamos establecer que:

1. El Análisis Complejo de Procesos es un método para la intensificación de procesos de producción.
2. Cada Análisis Complejo de Procesos tiene que estar planificado y ser calculable, no limitándose a una aglomeración casual de actividades analíticas separadas del proceso y ejecutadas esporádicamente.
3. El Análisis Complejo de Procesos excluye una restricción arbitraria a aspectos individuales seleccionados.
4. Paralelamente al Análisis Complejo de Procesos, se ejecutan en otras áreas especializadas análisis de procesos, los cuales tienen importancia propia y métodos especiales.

Cada Análisis de Procesos tiene que partir de las particularidades específicas del proceso estudiado, de los materiales utilizados, la situación real de los equipos, por lo que en cada caso deben derivarse medidas y propuestas particulares, de manera que se aplique de forma creativa a cada situación concreta; sin embargo, debe encontrar expresiones cualitativas y cuantitativas de las reservas del proceso, por lo que la complejidad del análisis, comienza con un dominio completo del proceso estudiado, de modo que no se excluye que se encuentren generalizaciones específicas para el Análisis Complejo de Procesos.

La variedad de relaciones dialécticas entre el Método de Análisis Complejo de Procesos y otros métodos para la intensificación y desarrollo de procesos, hacen necesario una valoración y aplicación práctica diferenciada en cada caso, donde están vinculadas al Análisis Complejo de Procesos, las tareas de investigación y desarrollo como premisas fundamentales para el tránsito hacia el logro de la intensificación.

Que tendrá que descansar necesariamente en un análisis multilateral y pormenorizado de los factores y cambios tecnológicos de la empresa, para lo

cual debería cumplirse una Previsión global , cualitativa y múltiple que cumpla el requisito de ser instrumento para la acción.

Coincidente con esta necesidad práctica, el Análisis complejo de Procesos a través de su complejidad ha venido abordando con éxito la consideración de la incertidumbre tanto de la disponibilidad del equipamiento como de los parámetros de operación de equipos e instalaciones industriales o para determinar la necesidad de la profundización científica a través de investigaciones previas basadas en los trabajos de los clásicos.

Por lo que no es posible realizar un estudio de Prospectiva Tecnológica sin considerar los modernos métodos de Análisis Complejo de Procesos.

Desde el punto de vista técnico ingenieril, el Análisis de Procesos considera las tecnologías disponibles con énfasis en las posibles rutas alternativas de obtención de productos, las alternativas de materias primas, requerimientos de energía, entre otros aspectos y cada combinación de posibilidades y de variables de proceso es sometida a balances de masa y energía que son tenidos en cuenta para la evaluación con criterios técnicos. Se concreta en diseño de procesos de creciente complejidad como se refleja en la literatura científica internacional. (Peters *et al.* 2002), (Rudd y Watson 1968), (MacGovern y O'Toole 1992).

Aunque el estado del arte del Análisis de Procesos tiene muy numerosas frentes de avance se destacan, por la relación con los propósitos de la problemática abordada ahora los instrumentos y enfoques de la integración másica y energética (Damiano *et al.* 2010) (Romeo *et al.* 2011),( Palacios-Bereche *et al.* 2011), (Giugliano *et al.* 2011), los modos de proceder ante situaciones de incertidumbre (Papadokostantakis *et al.* 2008), (Wechsung *et al.* 2009), (Tao *et al.* 2010), (Hajipour *et al.* 2011), (Benavides *et al.* 2011), las herramientas de simulación y estrategias de modelación (Hernández *et al.* 2011),(Wohlmuth *et al.* 2011), Lee *et al.* 2011) y la paralela incorporación a las mismas de nuevos datos y bases de datos (Chen y Yang 2011), (Choudhary *et al.* 2009), (Gao *et al.* 2009), de nueva información y sistemas de información (Kamiyama 2010), (He y Chang 2010), (Zhong *et al.* 2011) y sobretodo de cada vez más operaciones unitarias o tipos de equipos que se pueden incluir en el proceso en análisis(Hingu *et al.* 2010), (SathyaSelvabala *et al.* 2011), (Ko *et al.* 2012), a medida que se van inventando, escalando y probando a nivel piloto, hasta llegar al tamaño del problema (Willoughby 2006, Wei 2010), como producto de actividades de investigación y desarrollo tecnológico. Es claro que el estado del arte del Análisis de Procesos es de turbulenta y creciente movilidad (Acevedo; P; 2010).

## POSIBILIDADES DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y ENERGÍA (BIOCOMBUSTIBLES)

En el contexto latinoamericano una de las disponibilidades mayores de biomasa para productos químicos y energía. La energía evaluada como capacidad de ser quemada para generar vapor y electricidad y como fuente de materias primas para biocombustibles es la caña de azúcar.

En la industria de la caña de azúcar el concepto de diversificación ha ido evolucionando, desde producciones con tecnologías simples, hasta las, basadas en la química sintética, la biotecnología y en los procesos de obtención de nuevos materiales, en esta misma razón se ha pasado de índices de valores agregados de la materia prima de alrededor de 5 valores en los menos ventajosos hasta 20 en los productos de elaboración más complejos. Más recientemente, al calor del desarrollo científico internacional, se ha estado formulando la idea de desarrollo de la industria de la caña de azúcar en el concepto de biorefinería (Mesa *et al*; 2009).

El desarrollo potencial de la industria a partir de la caña de azúcar, se fundamenta en las posibilidades de la biomasa como fuente de productos químicos y energía (Cunningham; 1995), y será económicamente factible sólo mediante una sólida integración agroindustrial, pues en la evolución del uso de los subproductos nos encontramos ahora en el momento de que las producciones derivadas comienzan a integrarse estrechamente con las azucareras, de modo que puedan aprovecharse las ventajas de una y otra producción desde el punto de vista tecnológico, energético, y de situaciones coyunturales del mercado azucarero donde los residuos agrícolas y efluentes industriales correctamente utilizados puedan pasar a jugar un papel importante en la competitividad de la industria de la caña de azúcar y en otras que utilice la biomasa como fuente de materias primas en el concepto de biorefinería.

La matriz DAFO de la biomasa ha sido propuesta por Cunningham (Cunningham; 1995) y puede ser ampliada de la siguiente manera:

Tabla 1.2.: Matriz DAFO de la biomasa

<b>Fortalezas</b>	<b>Debilidades</b>
Recursos abundantes	Escaso desarrollo de infraestructura tecnológica
Cadena insumo producto	
Costos	Problemas de integración energética no resueltos
Tecnologías simples	
Estructura de costos que obliga al regionalismo	Cultivo cíclico
<b>Oportunidades</b>	<b>Amenazas</b>
Recursos subexplotados	Que el valor agregado se incorpore fuera de la región Competencia en el mercado de productos establecidos
Posibilidades de incorporación del valor agregado en la propia región.	
Desarrollo sostenible	
Posibilidades de explotación colaborativa.	Limitaciones de capital para el desarrollo

La estrategia en el desarrollo de los derivados en muchos países, ha estado dirigida a la obtención de productos con el mayor valor agregado, partiendo de criterios tecnológicos y de producciones flexibles, que utilicen además de los subproductos diferentes productos intermedios del proceso azucarero.

Partiendo de estas consideraciones, los siguientes son los criterios básicos que han servido para la selección de las alternativas más convenientes de producción de derivados. (Gálvez; 1996)

**Tabla 1.3.:** Criterios básicos para la selección de alternativas

Selección de alternativas de diversificación
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alternativas de alta respuesta económica</li> <li>• Esquemas tecnológicos integrados</li> <li>• Eficiencia energética</li> <li>• Economías de escala flexibles</li> <li>• Desarrollo prioritario de la alimentación animal</li> <li>• Desarrollo compatible con el medio ambiente</li> </ul>

Se deben seleccionar las alternativas de producción de acuerdo con las condiciones locales, que permitan una revalorización lo más posible, de la caña y de los subproductos como materias primas. Se debe considerar además, las alternativas de uso de variedades de caña de azúcar con características dirigidas a la producción de derivados, que tengan alto contenido de fibras, o alcancen su máximo desarrollo vegetativo o de contenido de azúcares simples en periodos más cortos de tiempo que las variedades tradicionales para producciones fermentativas.

La producción de derivados debe enfocarse, siempre que las condiciones lo permitan, combinada con la de azúcar a través de esquemas tecnológicos integrados, vinculados entre si, desde el punto de vista del proceso y energético. Esto permitirá la utilización de los jugos más pobres de diferentes etapas de la molienda y de los filtros; para procesos fermentativos, el uso de las mieles intermedias en la alimentación animal y otras posibles combinaciones. Estos esquemas deben concebirse en forma de ciclos tecnológicos cerrados, de manera de aprovechar todos los residuos para su conversión en productos útiles, al mismo tiempo que reciclar las aguas dentro de las fábricas para evitar la contaminación ambiental.

En el aprovechamiento de las reservas energéticas de los procesos de producción de azúcar aparecen dos direcciones; la cogeneración y el uso eficiente del vapor, que a su vez permiten la obtención del bagazo sobrante. Las ventajas de la cogeneración ya fueron presentadas y son el resultado de obtener vapor en las calderas a mayores presiones y temperaturas, con lo que se incrementa la disponibilidad de la energía del vapor, es decir, la energía en

la cogeneración proviene de la disminución del consumo específico de kg de vapor por kw-h.

En un número importante de alternativas, en particular las referentes a la alimentación animal, las “economías de escala” deben responder a los volúmenes disponibles de materias primas en el lugar, de manera de minimizar la transportación y manipulación y reducir gastos asociados a estas operaciones. De igual forma las escalas estarán influidas por la demanda local de los productos, lo que permite costos más favorables de comercialización. Estas consideraciones no contradicen las economías de escalas mayores que imponen determinadas producciones con tecnologías de más complejidad y con intensidad de capital mayor.

Debido a las características de la caña como fuente eficiente de energía metabolizable, ésta posee condiciones especiales para dar respuesta a los requerimientos de la alimentación animal, usada directamente o utilizando los residuos de la cosecha y los subproductos industriales. Resulta ventajoso en esta alternativa, la circunstancia de que las inversiones, en la mayoría de los casos, no son altas y que las instalaciones no resultan complejas. A estas cualidades es necesario agregar el hecho de que los cultivos e instalaciones para producir azúcar, se encuentran dispersos por diferentes áreas agrícolas, donde generalmente hay ganadería de diversos tipos o resulta ventajoso su fomento.

El desarrollo de las producciones de derivados, induce un incremento en el nivel de contaminación, que puede ser eliminado o atenuado con un adecuado uso y reciclaje del agua del proceso y la aplicación de los diferentes tratamientos que protejan el medio ambiente.

El desarrollo de los derivados ofrece un variado número de alternativas, entre las que se puede seleccionar las más convenientes, de acuerdo con las condiciones locales, al mercado, y a las facilidades financieras. Los empresarios deben considerar la Diversificación como un complemento de la producción de azúcar que incrementara la eficiencia de la explotación de la caña, y dará mayor sostenibilidad a la economía azucarera.

Entre los países productores de azúcar se encuentran en explotación comercial más de 50 derivados en diferentes escalas. Otros 100 cuentan con factibilidad técnico/económica y su explotación está en función de las oportunidades que se identifique en los mercados.

## CONCLUSIONES

1. Es posible desarrollar una estrategia para el desarrollo competitivo de la industria química y fermentativa sobre bases científicamente fundamentadas, mediante la combinación de los estudios de Prospectiva Tecnológica y de Análisis complejo de Procesos.
2. Los necesarios riesgos que implica el desarrollo competitivo de la industria química y fermentativa pueden minimizarse mediante el estudio de las diferentes manifestaciones de la incertidumbre en la industria de procesos químicos y fermentativos.
3. Los estudios prospectivos con apoyo del Análisis de Procesos permiten estudiar propuestas de cambios tecnológico que minimicen el impacto negativo por el efecto contaminante de la inclusión de productos químicos y fermentativos.
4. Los resultados de proyectos de estas características son de interés inmediato de la industria química y fermentativa latinoamericana, pues por un lado brinda una alternativa de productos que ofertar en el mercado nacional e internacional y por otro lado busca una solución al efecto contaminante que ya tienen las instalaciones industriales latinoamericanas y que tienen posibilidades de ampliaciones de mercado en nuestras fronteras y allende los mares.
5. Los estudios de estas características brindan una perspectiva de solución energética, económica y ambiental para las producciones existentes de la industria química y fermentativa a través de una reconversión de las instalaciones existentes de forma además ambientalmente compatible.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, Paola (2012)

Herramienta de Análisis de Alternativas de Producción, Incorporando el ACV “Cuna a Cuna” a los Métodos Tradicionales. Comparación de Biodiesel de Palma e Higuera. Tesis en opción al Grado Científico de doctora en Ingeniería química; UIS, Bucaramanga.

Badea, L.; A. Cutcutache (1984)

“Modelling of Heat Balances under Conditions of Risk and Uncertainty an Application”. R6. 22, CHISA '84, Praha.

Badea, L., A. Cutcutache (1987)

“Simultaneous material and Heat balances of a Process system under conditions of uncertainty”. B8. 28, CHISA'87, Praha.

- Benavides, P.T.; Diwekar, U.; Salazar, J.M. (1999)  
Comparing continuous and batch process design under uncertainty for biodiesel production. AIChE Annual Meeting - 11AIChE, Minneapolis; Octubre de 2011. Conference Proceedings. ISBN: 9780816910700.
- Bender, M. Economic feasibility review for community-scale farmer cooperatives for biodiesel. *Bioresource Technologies* 70: 81-87.
- Bell, K.J.; A.S. AL ZAKRI (1981)  
“Estimating Performance in uncertainties”. *Chemical Engineering Progress*.
- Boyce, M.P. (1987)  
“How to achieve outline reliability on centrifugal compressor”. *Chemical Engineering*. New York. 85 (13): 115- 127.
- Brestovansky, D. F.; D.W.T. Rippin (1986)  
“Managing the effects of competitive uncertainty: a case studies approach”. Paper 1c- 153. World Congress II of Chemical Engineering, Tokio, 1986.
- Budde, K.U. (1982)  
“Komplexe Prozessanalyse”, VEB deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, D.D.R.
- Damiano, A.; Gatto, G.; Marongiu, I. (2010)  
Decision support system for biomass energy exploitation in smart grid planning. International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion - SPEEDAM. Artículo N° 5542256, 1183-1188.
- Catá Salgado, Y. (2006)  
Metodología para la consideración de la incertidumbre en la integración de procesos. Tesis en opción al Grado Científico de doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- Chen, T.; Yang, Y. (2011)  
Interpretation of non linear empirical data based process models using global sensitivity analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 107: 116-123.
- Choudhary, A.K.; Harding, J.A.; Tiwari, M.K. (2009)  
Data mining in manufacturing: a review based on the kind of knowledge. *J. Intell Manuf* 20: 501-521.
- Copen, E.C. (1976)  
“The Difficulty of Assessing uncertainty”. Elsevier Scientific Publishing.

Cunningham; R.; CYTED (1995)

El subprograma IV. “Biomasa como fuente de Productos Químicos y Energía y sus proyectos de Investigación Precompetitiva y Redes Temáticas”. Buenos Aires, 1995. Douglas, P. L.: Design & Scale - Up Under Uncertainty. III Taller Internacional de Escalado, Habana 95, La Habana.

Fuentes Mora, M. (1997)

“Determinación de la incertidumbre en el escalado y diseño de un combinado para la producción de aditivos oxigenados”, Tesis de Maestría en Análisis de Procesos. UCLV.

Gaals, Z.; Z. Kovacs (1985)

“The reliability of the systems of chemical technologies”. Hungarian Journal of Industries Chemistry, 13(3), 181- 191.

Gao, J., Ji, T.; Zhao, G. (2009)

Drawing process design based on fuzzy knowledge reasoning. International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence - AICI, Shanghai. Volume 2, Article number 5376387 73-77. ISBN: 9780769538167.

Gallardo, I. (1982)

“Análisis de alternativas para la ampliación y reconstrucción de fábricas en la industria del papel”. Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas (PhD), UCLV.

Gálvez, L. (1986)

“La diversificación y sus ventajas comparativas” Seminario Taller Facultad de Ingeniería y Arquitectura Ing. Amin Abel Hasbua. República Dominicana.

Giugliano, M.; Cernuschi, S.; Grosso, M.; Rigamonti, L. (2011)

Material and energy recovery in integrated waste management systems. An evaluation based on life cycle assessment. Waste Management 31: 2092-2101.

Godet, M. (1977)

“Crise de la prévision, essor de la prospective”. PUF. Paris.

González, E., L. Schuart (1991)

“Consideraciones sobre la proyección científica del Análisis de Procesos en Cuba”. Ponencia en el IV Congreso Mundial de Ingeniería Química, Karlsruhe, Alemania.

González, E.

Alternativas de desarrollo y perfeccionamiento de la Industria Azucarera mediante el incremento de la Producción de alcohol. Folleto de cursos de Postgrado. Universidad de Buenos Aires. 1995. González, E. Vías para



- el diseño de nuevas instalaciones de la industria química, fermentativa y farmacéutica. Editorial Científico Técnica. La Habana, 2005. pp 263. ISBN: 959-05-0377-2 (Premio al libro científico del Instituto del Libro y la ACC 2003 y Premio de la Crítica Científica 2005).
- Gruhn, G.; F. Schmidt; B. Maver (1980)  
“Zuverlässigkeitsanalyse der Aufbereitungsanlage eines Kaliwarter”.  
Chem. Techn. 32 (9) 521-525.
- Gruhn, G. ; J. Fahner ; W. Neumann (1986)  
“Quantitative Zuverlässigkeitsanalyse von Mehrzweckchemieanlagen”.  
Chem. Techn. 38 (9): 372-276.
- Hajipour, S., Satyro, M.A. (2011)  
Uncertainty analysis applied to thermodynamic models and process design - 1. Pure components. Fluid Phase Equilibria. 307: 78-94.
- Hauptmanns, U. (1998)  
“Computer-aided valuation of safety management”. Trans Ichem E. Vol. 76, Part B. (286-290).
- Hauptmanns, U. (1999)  
“Computer-aided valuation of safety management- a PSA perspective. Proceeding of ESREL ‘99- European Conference on Safety and Reliability, Munich- Garching, Germany.
- Hauptmanns, U. (2000)  
“Valuation of the Quality of Safety Management”. Chem. Eng. Technol. 23, 7, 633-636).
- He, Y.; Chang, W. (2010)  
Research on the computer integrated quality system for product design process. International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation - ICICTA, Changsha; Mayo de 2010. Volume 3, Article number 5523332: 148-151. ISBN: 9780769540771.
- Hernández, A.; Tanco, M.; Kim, J-K. (2011)  
Simulation-based process design and integration for sustainable retrofit chemical processes. Industrial & Engineering Chemistry Research 50: 12067-12079.
- Himmelblau, D.M. (1970)  
“Process Analysis by Statistical Methods”. New York, John Wiley & Sons, p. 3.
- Himmelblau, D.M.; Bischoff, K.B. (2004)  
Análisis y simulación de procesos. Editorial Reverté.
- Hingu, S.M., Gogate, P.R., Rathod, V.K. (1986)  
Synthesis of biodiesel from waste cooking oil using sonochemical reactors. Ultrasonic Sonochemistry 17: 827-832, 2010 Huang, W.:

“Financial and Macroeconomic Impact on International Petrochemical prices, demand and trade. The development and implementation of IMISP System “. Paper 1c- 152. World Congress II of Chemical Engineering, Tokio.

Kamiyama, N. (2010)

Designing data center networks using analytic hierarchy process. 19<sup>th</sup> International Conference on Computer Communications and Networks - ICCCN, Zurich; Agosto de 2010. Article number 5560140. ISBN: 9781424471164.

Kittrell, J.; C.C. Watson (1965)

Chemical Engineer Progress. April.

Ko, M.J.; Park, H.J.; Hong, S.Y. (2012)

Continuous biodiesel production using in situ glycerol separation by membrane reactor system. Bioprocess Byosystems Eng 35: 69-75.

Lafferre, T.H. (1986)

Hazardous Waste Disposal a taxing problem- Shrouded in Uncertainty” Uncertainty”. Paper 1c- 154 World Congress II of Chemical Engineering, Tokio.

Lauchy, A. (2009)

Diseño y aplicación de un procedimiento estratégico para la diversificación de la industria de los derivados de la caña de azúcar en Cuba”. Tesis en Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Económicas. Universidad central “marta Abreu” de Las Villas.

Lee, I.; Carleer, B.D.; Haage, S. (2011)

High fidelity springback simulation and compensation with robust forming process design. 8<sup>th</sup> International Conference and Workshop on Numerical Simulation of 3D Sheet Metal Forming Processes, Seoul. Conference Proceedings. ISBN: 9780735409491.

MacGovern, J.A.; O’Toole, F. (2004)

Virtual-systems concept for exergy analysis of flow network plant. Part II. Exergetic and exergoeconomic analysis illustration. International Symposium on Efficiency, Cost, Optimization and Simulation - ECOS 92, Zaragoza; Junio de 1992. 161-166, ISBN: 0791806316

Nápoles  
García, M. F.: Análisis del impacto de la incertidumbre de los balances de masa y energía de las fábricas de azúcar en los estudios previos inversionistas. Tesis en opción al Grado Científico de doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Camagüey.

- Mesa Garriga, L.; Erenio González Suarez, Nancy López Bello, Cristóbal Cara Corpas, Eulogio Castro Galiano, Juan Carlos Villar Gutiérrez (2009)  
 Posibilidades de la industria azucarera como biorefinería mediante el fraccionamiento de la caña de azúcar en la producción más limpias de etanol. *Revista Centro Azúcar* N° 2.
- Palacios-Bereche, R.; Ensinas, A.; Nebra, S.A. (2011)  
 Energy consumption in ethanol production by enzymatic hydrolysis - The integration with conventional process using pinch analysis. *Chemical Engineering Transactions* 24: 1189-1194.
- Papadokonstantakis, S.; Siddharta, A.; Sugiyama, H.; Hungerbuler, K. (2008)  
 Uncertainty patterns and sensitivity analysis of an indicator based on process design framework. 18<sup>th</sup> European Symposium on Computer Aided Process Engineering - ESCAPE 18, Lyon. ISBN: 9780444532275, 145-150.
- Pedraza Garciga, J. (1997)  
 “Estrategia para el diseño de una planta para la producción de ácido fosfórico en condiciones de incertidumbre”.
- Pirela, A. -Editor- (1996)  
 “Cultura empresarial en Venezuela. La industria química y petroquímica. Fundación Polar. CENDES. ISBN: 980-6397-21-5 Fundación Polar. ISBN: 980-00-1009. CENDES.
- Peters, M.S.; Timmerhaus, K.D.; West, R.E. (2002)  
 Plant design and economics for chemical engineers. 5th Edition. Mc Graw Hill.
- Romeo, L.M.; Catalina, D.; Lisbona, P., Lara y Martínez, A. (2011)  
 Reduction of greenhouse gas emissions by integration of cement plants, power plants, and CO<sub>2</sub> capture systems. *Greenhouse Gases: Science and Technology* 1(1): 72-82.
- Rosa Domínguez, E. (1996)  
 “Análisis de alternativas de Inversión en la industria química considerando la fiabilidad de los equipos” Disertación.
- Rudd, D.F.; C.C. Watson (1965)  
 “On Correctives for Project Uncertainty”. *Canada J. Chem. Eng.*, December.
- Rudd, D.F.; C.C. Watson (1968)  
 “Strategy of Process Engineering”. McGraw Hill, New York.
- Rudd, D.F. (1963)  
 “Reliability Theory in chemical System Design”. *Ind. Eng. Chem. Fundamentals*.

- Sathya Selvabala, V.; Selvaraj, D.K.; Kalimuthu, J.; Perivaraman, P.M.; Subramanian, S. (2011)  
Two step biodiesel production from calophyllum inophyllum oil: Optimization of modified  $\beta$ -zeolite catalyzed pre-treatment. *Bioresource technology* 102: 1066-1073.
- Scholz, A.; E. Hittorff; G. Schercker (1966)  
“Problems of Optimizing Plant Design with Respect to Reliability and Availability”. B4 . 4, CHISA ‘87, Praha, 1987 Twaddle, W.W.; J.B. Malloy: “Evaluating and Sizing New Chemical Plants in a Dynamic Economy”. *Chem. Eng. Progress*.
- Smith, N. H; D.F. Rudd (1964)  
“The Synthesis of Systems design: Elementary decomposition Theory”. *Aiche Journal*, 14 (2): 343-349.
- Rosa, E. (1996)  
“Análisis de alternativas de Inversión en la industria química considerando la fiabilidad de los equipos “Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas (PhD).
- Rose, C.M. (1976)  
“Engineering Investment Decisions: Planing under uncertainty” Amsterdam. Elsevier Scientific Publishing.
- Tao, L.; Humbird, D.; Aden, A. (2010)  
Tan E.C.D. Sensitivity and uncertainty analysis of updated corn stover to ethanol process design and economic models. *AIChE Annual Meeting - 10AIChE*, Salt Lake City. Conference Proceedings. ISBN: 9780816910656.
- Villadsen, J. (1966)  
“Report Chemical Engineering Dept. University of Wisconsin”.
- Watanabe, T. (1986)  
“Management and Uncertainty”. Paper 1c- 151. *World Congress II of Chemical Engineering*, Tokio.
- Wechsung, A.; Oldenburg, J.; Yu, J.; Polt, A. (2009)  
Supporting chemical process design under uncertainty. *10<sup>th</sup> International Symposium on Process System Engineering - PSE2009*, Salvador (Brasil). ISBN: 9780444534729, 939-944.
- Willoughby, N. (2006)  
Perspective scaling up by thinking small: a perspective on the use of scale-down techniques in process design. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 81: 1849-1851.

Wohlmuth, M. (2011)

Forming simulations as a competitive and innovative factor: virtual process design in massive forming. *Konstruktion 1-2*: 1-10.

Zhong, P.; Song, J.; Liu, M.; Li, M.; Ding, S. (2011)

Design history knowledge management system based on product development process management and its implementation. *International Conference on Computer, Informatics, Cybernetics and Applications CICA2011, Hangzhou. Volume 107*: 1375-1383. ISBN: 9789400718388.



## CAPÍTULO II

### Producciones más Limpias en la Industria de Procesos Químicos y Fermentativos

*Dr.Sc. Ing. Erenio González Suárez*

*Dra.C. Ing. Meilyn Gonzalez Cortes*

Universidad Central de Las Villas, Cuba.

*Dr.C. Ing. Juan Esteban Miño Valdés*

Universidad Nacional de Misiones, Argentina.

## INTRODUCCIÓN

La situación por la que actualmente atraviesa la industria de procesos químicos y fermentativos en el contexto Latinoamericano es difícil. Nunca antes tuvo tantos problemas por enfrentar, como la escasez de capital, de materias primas, y el impacto que la industria tiene sobre el ambiente.

Las legislaciones en materia ambiental son cada vez más severas, es por ello que esta industria está obligada a hacer eficientes sus procesos, utilizando las materias primas alternativas con las que cuenta cada país, para optimizar el aprovechamiento y la protección de los recursos naturales, y ser más competitiva en el mercado internacional.

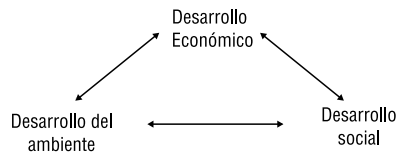
Encontrar una solución que minimice la agresividad de los residuales que se generan en los procesos tecnológicos de la industria de procesos químicos y fermentativos no ha sido siempre una prioridad de los ingenieros de estas fábricas, debiendo continuarse el esfuerzo para lograr una adecuada gestión ambiental.

Para alcanzar el Desarrollo Sostenible existen programas a nivel macro (mundiales) y conceptos que tienen como finalidad definir un marco conceptual y de comportamiento de gobiernos, empresas y habitantes del planeta.

En la figura 2.1 se presenta el Triángulo del Desarrollo Sostenible Empresarial, que ilustra como este concepto depende del equilibrio en el largo plazo de tres variables: Manejo adecuado de recursos naturales, equidad social y desarrollo económico. El manejo entre estas tres variables se logrará a

través de un proceso de mejoramiento continuo buscando garantizar una mejor calidad de vida para las generaciones presentes y futuras. (CECODES, 1996).

**Figura 2.1:** Triángulo del Desarrollo Sostenible



Para cumplir con estos programas macro es necesario que las empresas definan una estrategia ambiental. Las estrategias establecidas a nivel empresarial siguen los lineamientos de estos programas, siendo los más conocidos a nivel mundial los de *Ecoeficiencia*, divulgada por el World Business Council for Sustainable Development, la *Producción más Limpia*, y el *mercadeo verde*. Estas tres estrategias no son excluyentes sino complementarias.

Una vez que la empresa ha definido su estrategia ambiental, el proceso de implementación de la misma se realiza por medio de un Sistema de Manejo o Gestión Ambiental. Un Sistema de Manejo Ambiental (SMA), consiste en un proceso de mejoramiento continuo del desempeño ambiental por medio de cuatro fases: Planear- Hacer - Revisar - Mejorar.

En la fase “Planear”, se identifican los problemas y se definen los objetivos y políticas de la empresa. En la fase de “Hacer” se implementa el SMA, incluyendo el desarrollo de procedimientos ambientales. En la fase “Revisar”, se determina el desempeño de la empresa con relación a la política y los objetivos trazados. En la fase “Mejorar”, se busca que el SMA responda de manera adecuada a las circunstancias cambiantes, mejorando continuamente el desempeño ambiental.

La gerencia ambiental busca establecer estrategias de desempeño ambiental, con el fin de encontrar el mejor valor agregado para la empresa. Bajo este punto de vista el reto empresarial va más allá ser simplemente la empresa menos contaminante, y lo que se busca es aprovechar al máximo la variable ambiental para beneficio de la empresa.

Existen dos caminos fundamentales para aprovechar la dimensión ambiental y así mejorar la competitividad empresarial. Por un lado existe el camino de la Producción más Limpia cuya implementación puede mejorar la competitividad por medio del uso más eficiente de los recursos, y por el otro lado existe el concepto del Mercadeo Verde que busca llegar a nuevos Mercados atractivos en donde la calidad ambiental es un requerimiento básico del cliente.

El desarrollo y utilización de herramientas es esencial en cada una de las fases de implementación de los Sistema de Gestión Ambientales.



Siendo una herramienta una técnica concreta para acceder y combinar información que nos permita tomar decisiones sobre cambios en la operación de una institución.

Para el caso de las herramientas de producción más limpia que apoyan las estrategias y sistemas ambientales de las empresas, una herramienta es un instrumento que permite definir el estado ambiental de un proceso o producto, bien sea administrativo o productivo y con base en el análisis de estos resultados, establecer los objetivos ambientales del Sistema de Gestión Ambiental, apoyar la implementación del mismo y verificar los resultados.

Como se mencionó anteriormente, las herramientas contribuyen y facilitan la toma de decisiones.

En el ámbito empresarial las herramientas ayudan a planear y organizar la ejecución de las actividades encaminadas a una estrategia ambiental, a identificar, evaluar e implementar mejoras ambientales, además de evaluar los avances en la reducción de los impactos ambientales de los productos y/o procesos.

Existen varias formas de clasificar las herramientas, dependiendo de su función, de la parte del proceso productivo que analiza, o del tipo de resultados que se establece. En algunos casos una misma herramienta puede ser clasificada en distintas categorías, debido a su versatilidad. Las distintas herramientas pueden ser clasificadas (Nubia y Bart; 2000)

### **Según su función**

En este caso las herramientas se clasifican de acuerdo con el objetivo primario que cumple la herramienta, bien sea apoyar la gestión empresarial, realizar un diagnóstico ambiental de los procesos y productos, priorizar las áreas de acción ambiental o mejorar los productos y/o procesos.

Estos objetivos están relacionados con el ciclo de manejo de la gestión ambiental que contempla la definición de una estrategia, la planeación, la implementación, el control y la revisión. Dependiendo de su función existen cuatro grupos de herramientas:

- **Herramientas de gestión:** Este tipo de herramientas especifica procedimientos o rutinas para el desarrollo de las estrategias empresariales como la producción más limpia y sirven como base para la planeación. Dentro de estas herramientas se encuentran los EIA, los procesos de auditoría y los indicadores de producción más limpia, entre otras.
- **Herramientas para diagnosticar:** Estas herramientas permiten identificar y cuantificar las partes del proceso o del ciclo de vida del producto que afectan el ambiente. Dentro de estas herramientas se

encuentran, por ejemplo, los balances de energía y materiales. Estas herramientas se relacionan con actividades de planeación, control y revisión.

- **Herramientas de priorización:** Dentro de esta categoría se incluyen todas las herramientas que proporcionan una estructura con criterios bien definidos para la evaluación y priorización de problemas ambientales y/o opciones de mejoramiento, que contribuyen de manera significativa a la planeación. Estas herramientas pueden utilizar uno o varios criterios (técnico, económico o ambiental).

- **Herramientas de mejoramiento:** Estas herramientas facilitan la determinación de opciones de mejoramiento de productos, procesos y ciclos de vida, contribuyendo a la implementación de producción más limpia. Algunos ejemplos, son las prácticas de producción más limpia, las guías de ecodiseño y el benchmarking.

### **Según la unidad de análisis**

Las herramientas también se pueden clasificar de acuerdo con la unidad de análisis donde actúan. Bajo este criterio las distintas herramientas son:

- **Herramientas enfocadas en la entidad como un todo:** Estas herramientas analizan la totalidad de la empresa, estableciendo información general de su desempeño ambiental. Las auditorías ambientales y los indicadores de desempeño son ejemplos de este tipo de herramientas.

- **Herramientas enfocadas hacia el entorno:** Estas herramientas analizan el efecto de una actividad sobre su entorno, diferenciándose de las anteriores porque el análisis se centra en el impacto de la empresa y no sobre su desempeño interno. Algunos ejemplos de este tipo de herramientas son el análisis de riesgos, el análisis de tecnologías, los análisis sociales y el análisis de impactos ambientales.

- **Herramientas enfocadas en el proceso:** Estas herramientas analizan las unidades físicas de producción, cuantificando los impactos ambientales que generan. Dentro de este tipo de herramientas se encuentran los ecobalances, los diagramas de procesos y los árboles de procesos.

- **Herramientas enfocadas en el producto:** El objetivo de estas herramientas es identificar las entradas y salidas, tanto de materiales como de energía, de una unidad funcional de un producto en uso. Dentro de esta clasificación se encuentran las herramientas que estudian el ciclo de vida de un producto y las guías de ecodiseño. En general los resultados de estas herramientas son relativos (es decir, no cuantifican las entradas

y salidas de cada unidad, sino que comparan las entradas y salidas de las distintas unidades).

- **Herramientas enfocadas en la cadena de producción:** Estas herramientas estudian un producto durante alguna parte o la totalidad de la cadena de producción, es decir, pueden llegar a analizar el impacto desde la producción de materias primas hasta la disposición final del producto ya utilizado. Dentro de estas herramientas se encuentra el análisis de flujos y el análisis de ciclo de vida

### **Según el tipo de resultados**

Las herramientas también se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de resultado que producen. En esta clasificación existen dos categorías:

- **Herramientas cuantitativas:** Estas herramientas permiten cuantificar los impactos de un producto o proceso. En esta categoría existen dos subcategorías, que son:
  - **Herramientas que producen datos absolutos,** estableciendo por ejemplo indicadores de contaminación, utilización de recursos naturales, utilización de energía, etc.
  - **Herramientas que producen datos relativos,** comparando el desempeño ambiental de la unidad de análisis (por ejemplo un componente del producto o una etapa del proceso) con el desempeño ambiental general de la empresa (por ejemplo la totalidad del producto o del proceso).
- **Herramientas cualitativas:** Estas herramientas identifican los impactos, mas no los cuantifican. Dentro de esta categoría se encuentran los EIA y las matrices de resumen de producto.

En el marco de la gestión ambiental se han desarrollado diferentes conceptos dentro los cuales se destacan cinco:

**Ciclo de vida:** Esta herramienta tiene como objetivo relacionar los efectos ambientales generados a lo largo del ciclo de vida de una actividad humana, teniendo como objeto las actividades humanas. Presenta como ventaja o punto fuerte que fuerza a la consideración de todo el ciclo de vida y como puntos débiles presenta que carece de detalle espacial y temporal. La metodología Análisis de Ciclo de Vida tiene gran importancia para la definición de estrategias preventivas para el mejoramiento del desempeño ambiental de la industria, y la discusión sobre la esencia de la metodología.

**Ecodiseño:** Tiene como objetivo diseñar productos pensando en el medio ambiente y su objeto se basa en productos de mercado. Sus puntos fuertes son que facilita la consideración de factores ambientales en la fase de diseño

y como puntos débiles que el foco en el diseño puede limitar la aplicación general.

**Ecología industrial:** Su objetivo está relacionado con la comprensión de las sinergias entre actividades industriales, es decir, el metabolismo industrial. Su objeto se centra en los procesos y actividades industriales. Presenta como puntos fuertes el favorecimiento al establecimiento de los enlaces simbióticos entre los procesos industriales y como punto débil la difícil aplicación, ya que depende de muchos y diferentes actores.

**Gestión ambiental total:** Su objetivo se centra en replicar los principios de la gestión de la calidad total a la gestión ambiental, optimizando el uso de recursos técnicos y humanos en la actuación ambiental. Su objeto se basa en operaciones industriales y de servicios. Su punto fuerte es que moviliza los recursos humanos y financieros disponibles hacia la mejora continua, mientras que su punto débil es que requiere un cambio de actitud de diversas personas y el mantenimiento del ímpetu inicial.

**Tecnología limpia:** Presenta como objetivo la tecnología de proceso más eficiente y más limpia, su objeto está fijado en procesos industriales. Tiene como puntos fuertes que anima a la focalización sobre la eficiencia de los procesos y la minimización de residuos en origen y como punto débil que el foco sobre la tecnología podría detener la búsqueda de soluciones. Precisamente, en los últimos años la integración de procesos ha cobrado mucho auge en la industria de procesos químicos para el logro de producciones más limpias. Numerosos investigadores han demostrado que para prevenir la generación de residuales en los procesos químicos, es necesario el desarrollo de una estrategia que involucre la utilización de herramientas de integración de masa y energía que se han desarrollado con este fin. Sin embargo, una visión, más abarcadora, son sin dudas las posibilidades de los métodos de Análisis de Procesos, que incluyen los de integración material y energética entre la industria del papel (González; 2005).

## **TECNOLOGÍAS MÁS LIMPIAS**

El concepto de Producción más Limpia se difundió a nivel mundial debido a los esfuerzos del Programa de Producción más Limpia del PNUMA, el cual fue establecido en 1989. La producción más limpia parte del supuesto que no existe producción Limpia como tal; ya que siempre existirá algún tipo de contaminación generado por los procesos productivos (UNEP, 1998).

El PNUMA define la producción más limpia de la siguiente manera:

“*Producción más limpia*”, es la aplicación de una estrategia ambiental preventiva e integrada aplicada a los procesos productivos, productos y servicios. Incluye un uso más eficiente de los recursos naturales y por ende minimiza los desechos y la contaminación así como el riesgo a la salud humana y a la seguridad. Ataca los problemas en la fuente en lugar de hacerlo al final del proceso productivo; en otras palabras evita la aproximación al ‘final del tubo’. (UNEP, 1998)

Para los procesos productivos, *Producción más limpia* incluye la conservación de materias primas y energía, la eliminación de materias primas tóxicas y la reducción en la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y desechos.

La *Producción más limpia* es una estrategia de mejoramiento continuo, no implica sustituir los sistemas actuales de producción, los productos o los servicios, sino implica mejorar los sistemas existentes. Es aquí donde radica la diferencia entre los conceptos de *producción más limpia* y *producción limpia*.

*Producción limpia* es la meta que se busca a través de las inversiones ambientales de tipo preventivo, mientras que *producción más limpia* es la búsqueda sistemática del mejoramiento continuo, que obedece a un proceso dinámico y sistemático que no se aplica una vez, sino de manera permanente en cada una de las etapas del ciclo de vida del producto.

La idea fundamental detrás del concepto de *producción más limpia* es prevenir la contaminación, como una manera de mitigar los impactos ambientales de los procesos productivos, productos y servicios, mejorando no sólo los aspectos ambientales de las compañías sino también su competitividad. Esto se logra porque la *producción más limpia* trae implícita el desarrollo de procesos más eficientes que optimicen la operación de las empresas. En este sentido la *producción más limpia* se deriva de una actitud proactiva de las empresas, organizaciones y entidades que la están implementando.

Por otro lado, el término *integración de procesos* se refiere a una estrategia que proporciona una visión general de todos los flujos de residuales en las plantas, en lugar de analizar el flujo residual generado en cada equipo o etapa independientemente, estudia las tecnologías que pueden ser utilizadas en la recuperación de residuales e identifica los objetivos de eficiencia, tales como costo mínimo, extensión máxima de la integración del proceso, entre otros. La integración de procesos se caracteriza por dos elementos: la energía y la masa (Cripps, 2000).

La integración de energía caracteriza el flujo global dentro de cualquier proceso e identifica las políticas óptimas para su distribución y redistribución, de esta forma se obtiene la configuración óptima para el consumo mínimo de ésta. La integración de masa es una técnica relativamente nueva que se

ha desarrollado mucho en los últimos años. Las investigaciones en este tema han conducido al desarrollo de una herramienta sistemática y potente para el entendimiento total del proceso y explotar así sus posibilidades de integración (Dunn, 2000).

Aunque evidentemente estos términos están muy relacionados se puede concluir que la producción más limpia se refiere al PARA y la integración de procesos al CÓMO. Es decir de acuerdo al caso de estudio del trabajo: industria química y fermentativa, podrían hacerse las preguntas:

- ¿Para qué la producción más limpia?, con la respuesta: para mejorar el proceso, hacerlo más eficiente, reducir los costos de producción, reducir los indicadores de contaminación, resolver la problemática ambiental del proceso, etc.;
- ¿Y cómo se puede lograr esto? La respuesta en este caso es: a través de la aplicación del análisis de procesos considerando la integración material y energética de procesos. De modo que, la aplicación de la integración de procesos siempre conducirá a una producción más limpia y a la vez, en la mayoría de los casos para alcanzar una producción más limpia es necesario aplicar herramientas de integración de procesos.

## **BENEFICIOS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA Y EL ANÁLISIS E INTEGRACIÓN DE PROCESOS**

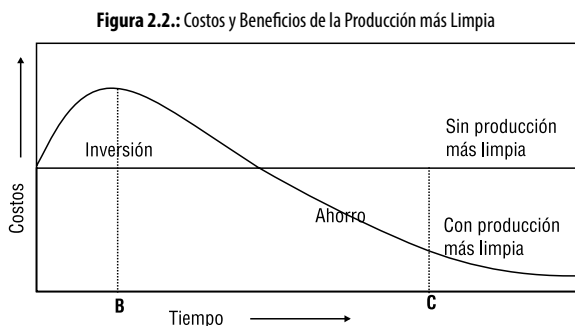
La Producción más Limpia trae consigo beneficios derivados de su implementación en los procesos productivos. Estos beneficios pueden resumirse de la siguiente forma:

- Convicción de que es una estrategia encaminada al desarrollo sostenible.
- Mejora la competitividad.
- Garantía de continuidad de la actividad productiva.
- Mejora la eficiencia en los procesos productivos, en los productos y en los servicios
- Ayuda a cumplir la normatividad ambiental.
- Es base fundamental para garantizar el mejoramiento continuo de la gestión ambiental.
- Ayuda a mejorar la imagen pública.
- Previene conflictos por la aplicación de instrumentos jurídicos.
- Disminuye las inversiones en sistemas de control al final del proceso, que siempre son más costosos.

Con la aplicación de estos conceptos, además de lograrse niveles más bajos de contaminación y riesgos ambientales, se logran con frecuencia ventajas en la competitividad empresarial. Esto se da porque el uso más eficiente de los materiales y la optimización de los procesos pueden reducirse de manera significativa los costos de operación. En este sentido, la producción más limpia y la integración de procesos tienen ventajas económicas inmensas comparado con los métodos tradicionales de control de la contaminación (UNEP, 1998).

En la figura 2.2, se puede observar como en la primera etapa de los proyectos de producción más limpia los costos de producción se incrementan en relación con los costos existentes en la planta, debido a que ha sido necesario hacer inversiones económicas para implementar producción más limpia, punto B.

Una vez que se implementan estrategias de producción más limpia, los ahorros en insumos y energía, al igual que la reducción en costos de tratamiento a final del tubo empiezan a reflejarse en los costos de producción, hasta llegar al punto en que los nuevos costos productivos son inferiores a los existentes antes de implementar producción más limpia, punto C. En ese momento la empresa se encuentra en una ventaja competitiva frente a los competidores que siguen utilizando sistemas tradicionales de producción.



Desde el punto de vista ambiental, la producción más limpia soluciona el problema de desechos y emisiones en la fuente. Los sistemas convencionales de tratamiento al “final del tubo” terminan en muchos casos trasladando los contaminantes de un medio ambiental a otro.

Debido a que producción más limpia es una estrategia “preventiva” e “integral”, este traslado de contaminación de un medio a otro se minimiza.

Cuando se implementa la producción más limpia también se reduce el riesgo implícito que existe en los procesos productivos de afectar las actividades o personas que se encuentran en su entorno. Esta disminución en el riesgo beneficia a los trabajadores, a la comunidad, a los consumidores de productos y a las futuras generaciones.

Son varios los costos que se reducen con la producción más limpia. Como se explicó con anterioridad, la producción más limpia disminuye los costos de producción, que es tal vez uno de los mayores incentivos desde el punto de vista empresarial para adoptar este tipo de procesos. También se disminuyen los costos de tratamiento al final del tubo, debido a que con producción más limpia se está previniendo la contaminación y por ende se reduce el volumen de contaminantes a tratar. Otro costo que se disminuye son los tratamientos en salud, tanto al interior de la empresa cómo en la comunidad que gracias a producción más limpia se ve expuesta a niveles menores de contaminación. Finalmente se disminuyen los costos de limpieza del medio ambiente contaminado.

## BARRERAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

La experiencia adquirida en la implementación de políticas y proyectos de producción más limpia ha logrado identificar también las principales barreras y obstáculos que se pueden encontrar.

La lenta aceptación de la producción más limpia tiene sus orígenes en factores humanos más que técnicos. Entre los factores que impiden la implementación y aceptación de la producción más limpia se destacan:

- El enfoque al “final del tubo” ha sido utilizado por muchos años, y por lo tanto es muy conocido y aceptado por la industria y los ingenieros.
- Las normas y políticas ambientales existentes por lo general están diseñadas y orientadas a soluciones al “final del tubo”, favoreciéndolas.

La UNEP, a través de estudios realizados, clasifica las barreras en tres categorías, y les otorga una clasificación en términos de su contribución para impedir que se implemente la producción más limpia.

**Tabla 2.1.:** Razones por las cuales no se adopta una producción más limpia en algunas industrias

		Porcentaje
Políticas (60%)	Resistencia burocrática	20
	Tendencia humana conservadora	10
	Legislación sin concertar	10
	Sensacionalismo de los medios de comunicación	10
	Ignorancia del público/Falta de información	10
Financieras (30%)	Subsidios para la disposición	10
	Escasez de fondos	10
	Arraigamiento a la industria de los desechos	10
Técnicas (10%)	Falta de información confiable centralizada	5
	Falta de apoyo al aplicar la minimización de desechos a las necesidades individuales	5
Total		100

Fuente: UNEP, 1998.



Retomando el concepto de integración de procesos se hace notar que a través de éste se pueden identificar las debilidades en el proceso, donde ocurren las pérdidas fundamentales y las oportunidades para resolverlas utilizando los recursos del propio proceso.

La aplicación de las herramientas de integración de procesos incluyen segregación, mezcla y reciclaje de flujos, intersección con equipos de separación, cambios en las condiciones de diseño y operación de los equipos, sustitución de materiales, así como cambios en la tecnología. De acuerdo a los cambios que comprendan las mismas se han clasificado y se ha establecido una jerarquía de cuatro categorías para la aplicación de las mismas para lograr una producción más limpia en los procesos. (El-Halwagi, 1989):

1. Cambios de bajo/ ningún costo
2. Cambios con nuevos equipos
3. Cambios con nuevos productos químicos
4. Cambios de tecnología

Los factores económicos, impacto y aceptabilidad se han tenido en cuenta en el establecimiento de esta jerarquía, estos son factor. El aspecto económico puede ser valorado por una variedad de criterios económicos tales como costo capital, retorno de la inversión, valor neto presente, y periodo de pago. Por lo general todas estas herramientas para la prevención de la contaminación incluyen segregación, mezcla y reciclaje de flujos, intersección con equipos de separación, cambios en las condiciones de diseño y operación de los equipos, sustitución de materiales, así como cambios en la tecnología. De acuerdo a los cambios que comprenden las mismas han sido clasificadas y ordenadas jerárquicamente en cuatro categorías (Noureldin, M., 1999):

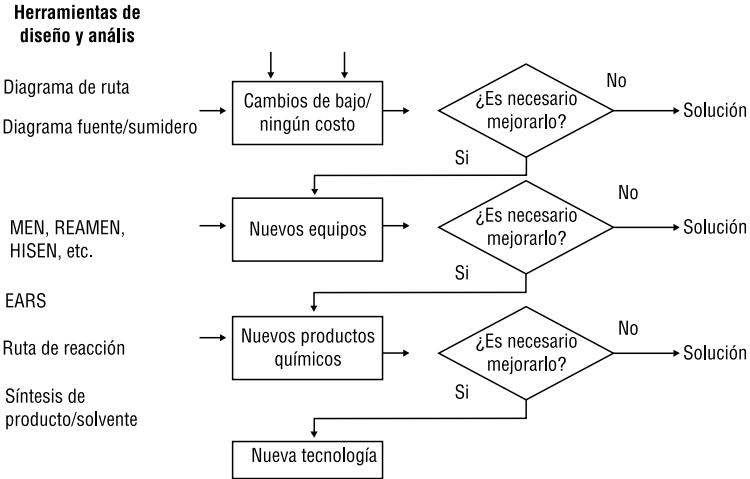
1. Herramientas que implican cambios de bajo/ ningún costo
2. Herramientas que implican cambios con nuevos equipos
3. Herramientas que implican cambios con nuevos productos químicos
4. Herramientas que implican cambios de tecnología

En la *figura 2.3*, (Dunn, R., 2000), se muestran las herramientas que se incluyen en cada uno de los puntos anteriores. Este esquema, constituye el punto de partida a tomar en cuenta para el desarrollo de la metodología de integración de procesos a través de la cual se puede lograr una tecnología más limpia en la fabricación de papel para ondular, ya que en el mismo se resumen las herramientas de integración de procesos que pueden ser empleadas para enfrentar problemáticas ambientales en la industria de procesos químicos.

Tres factores principales se han tenido en cuenta en el establecimiento de la jerarquía expresada anteriormente, estos son: factor económico, impacto y

aceptabilidad de la herramienta. El aspecto económico, puede ser valorado por una variedad de criterios económicos, tales como costo capital, período de recuperación de la inversión y valor actual neto. El impacto, es una medida de la efectividad de la solución propuesta en la reducción de las consecuencias ecológicas y de peligrosidad negativas del proceso, tales como reducción en emisiones y efluentes de la planta. La aceptabilidad, es una medida de la probabilidad que tiene una estrategia propuesta de ser aceptada e implementada por la planta. (Noureldin, M., 2000). De acuerdo a lo que se ha explicado, y lo que se muestra en la figura 2, se concluye que las estrategias y los cambios que estas provocan en el proceso aparecen en orden ascendente en relación al costo y al impacto y en orden descendente de acuerdo a la aceptabilidad. (Garrison, G., 2000); (Bébard, S., 2000). Lo que significa que las herramientas que implican cambios con nuevos productos químicos y cambios de tecnología, puntos 3 y 4, son más costosas y por ende menos aceptadas para su implementación, pero a la vez de un mayor impacto en el logro del objetivo principal de su aplicación, que las que implican cambios de bajo/ ningún costo y cambios con nuevos equipos, puntos 1 y 2. (El-Halwagi, 1994).

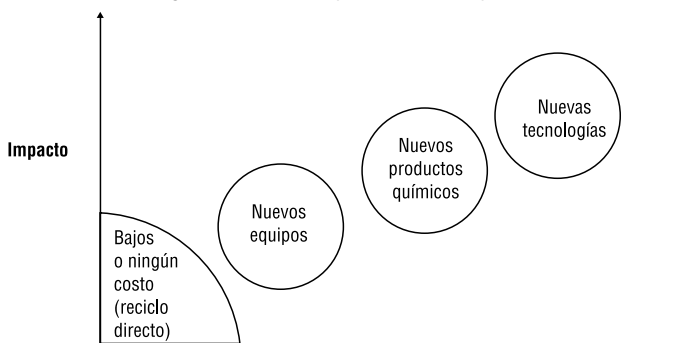
**Figura 2.3.:** Herramientas de diseño y análisis para la Integración de Procesos



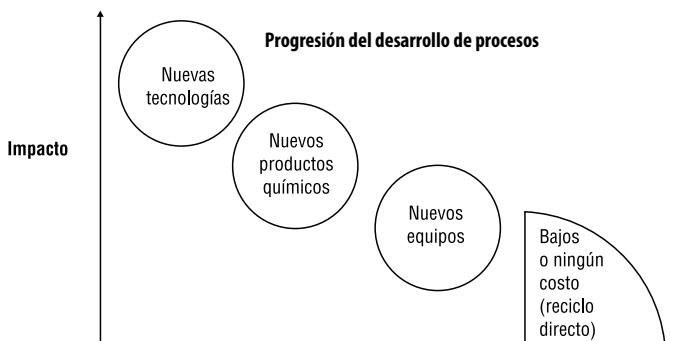
Los cambios de bajo costo son opciones menos costosas y más aceptadas para su introducción en un proceso existente, por otro lado una nueva tecnología es una opción mucho más costosa y menos aceptada para el desarrollo de un proceso. Sin embargo, analizando la perspectiva del impacto para la eficiencia del proceso la jerarquía es inversa, se tienen mayores y mejores resultados con

la introducción de una nueva tecnología. Esto se puede observar en las figuras 2.4 y 2.5.

**Figura 2.4.: Análisis de Impacto vs desarrollo de procesos**



**Figura 2.5.: Análisis de Impacto vs aceptabilidad de procesos**



## **INTEGRACIÓN DE AGUA EN LA INDUSTRIA** Aceptabilidad

En las industrias, la integración de agua se refiere principalmente al análisis de las potencialidades del reciclado de agua en el proceso, con ello se logran dos elementos en la integración material del proceso, el primero, se recicla agua al proceso cerrando los circuitos de este material, y el segundo, se logra recuperar una parte de las materias primas aprovechables que se escapan en las aguas residuales, de lo que es un ejemplo de gran interés la recuperación de fibras en la industria de pulpa y papel. (González, M.; 2004), (González, M.; 2002).

El reciclado de agua, ha incrementado su importancia desde la publicación del tema por Histed, (Histed, J.; 1990), incluyendo los aspectos de agua, lavado y reciclado. El uso de menos agua, reduce los costos de tratamientos totales, las

pérdidas de materiales, la demanda química y biológica de oxígeno, color al residual en una unidad por tonelada, y concentra al contaminante en el agua residual, haciendo más fácil su tratamiento, debido a esto los costos para el tratamiento de los residuales también son reducidos.

Puede resumirse, que los principales factores que han dado ímpetu a lograr una economía en el uso del agua han sido: (González, M.; 2002).

1. Reducción de pérdidas de materiales
2. Reducción de costos por compra o procesamiento de agua fresca
3. Reducción de costos por calentamiento de flujos de procesos
4. Reducción de costos por disminución del volumen a tratar al final del proceso

Por otro lado, el reciclado de agua puede causar problemas serios de corrosión si no se utilizan materiales resistentes, por lo que en estas políticas se hace necesario ajustar el pH, o realizar operaciones donde se ajuste el agua de reciclado a parámetros aceptables que no provoquen otros problemas.

Entre los inconvenientes principales que provoca el cierre de los circuitos de agua podemos mencionar algunos que han sido referidos en varias publicaciones:

- Incremento de la corrosión debido a la acumulación de sales disueltas en las aguas que se reciclan. Los efectos de la corrosión provocan un aumento en los costos de mantenimiento y disminución de la producción a causa de las paradas que son necesarias realizar.
- Crecimiento de las colonias bacterianas.
- Aumento de la temperatura del agua de proceso que favorece una mayor corrosión.
- Aumento de la dureza de las aguas.
- Variaciones del pH óptimo para la fabricación.
- Concentración excesiva de productos químicos en las aguas de proceso que pueden alterar los resultados de calidad.
- Ensuciamiento progresivo del agua de proceso, lo cual se traduce en pérdidas de calidad de algunos productos.

La idea básica para dar solución a estos problemas está en concentrar la contaminación orgánica presente en los circuitos y adaptar el tratamiento externo usado. La principal ventaja de esto es eliminar solamente una parte de la carga orgánica de las aguas a un dado nivel de contaminación en los circuitos.

Como se ha explicado, en diferentes artículos se hace referencia a los problemas que se generan en las industrias al implementar circuitos de

agua cerrado, pero a su vez se ofrecen datos y argumentos que demuestran que independientemente de las desventajas, se reportan beneficios mayores para este tipo de fábricas al reutilizar el agua de proceso, fundamentalmente percibidas en la disminución de los costos de tratamiento de aguas residuales, disminución del consumo de agua fresca, así como reducción del impacto negativo al ambiente de las producciones.

## **INTEGRACIÓN DE ENERGÍA EN INSTALACIONES INDUSTRIALES**

En general, la reducción del consumo de agua a través de su reciclo también ahorra energía en la industria, por lo cual es imprescindible comprender bien la interacción entre estos elementos. Sin embargo, la acción para resolver estos problemas requiere un análisis global y sistemático del consumo de agua y energía. (Rodera, H.; 1999); (González, M.; 2002).

Un proyecto de este tipo debe tener como objetivo principal la reducción del consumo de vapor de la fábrica y la identificación del potencial de disminución del volumen de descarga de efluentes y su calor asociado. El estudio de integración de procesos debe comenzar con la toma de los datos y la modelación del proceso y seguidamente tomar datos relevantes del análisis del consumo de masa y energía del proceso. En la etapa final se identifican proyectos a través de la aplicación de herramientas de integración de procesos.

El procedimiento de consistir en un análisis sistemático y global de los sistemas de energía para identificar las oportunidades de recuperación del calor. Para mejorar la integración del calor se puede emplear el análisis Pliegue (*Pinch*), lo que se puede hacer en paralelo con el análisis de las posibilidades de mejor uso de agua fresca y reciclado de aguas blancas dentro de la fábrica, las cuales tienen un impacto en el balance de energía. Entre los proyectos de mayor aceptación por el personal de la fábrica podemos mencionar:

1. Incremento del retorno de condensados a las calderas.
2. Incremento de la recuperación de calor a través de la implementación de intercambiadores de calor.
3. Incremento de la eficiencia de los termocompresores de la máquina de papel.
4. Reemplazo de agua fresca por agua tibia para requerimientos de enfriamiento.

5. Segregación de flujos de efluentes de acuerdo a los niveles de temperatura.
6. Instalación de nuevos intercambiadores de calor para la recuperación del calor.

El retorno de los condensados es de suma importancia para el ahorro de energía y la disminución de los costos de la fábrica, (*Jaber, D., 2001*). Cuanto más condensado se retorna, menos agua de alimentación es necesaria, ahorrando combustible y agua tratada. Los costos de tratamiento y de consumo de productos químicos disminuyen, y al reducir el volumen de condensados, también se disminuyen los costos de disposición.

Los estudios de integración de procesos han demostrado oportunidades para reducir la demanda de vapor en un rango de 5 -20% en procesos eficientes y reducciones de 10 -40% en procesos menos eficientes. Las modificaciones pueden implementarse en muchos casos con períodos de pago de menos de 30 meses. Las soluciones para la recuperación de calor que se han encontrado con mayor frecuencia en instalaciones industriales son:

- Reconfiguración de las fuentes de recuperación de calor existentes, de forma tal que el calor se use a la temperatura más apropiada, esto permite que exista más calor con posibilidades de ser recuperado de flujos efluentes
- Mejora de la calidad de los sistemas de agua caliente y tibia para minimizar el uso del vapor para el calentamiento del agua.
- Racionalización de los sistemas de calentamiento de agua de baja temperatura para minimizar necesidades adicionales de vapor para el calentamiento del agua.
- Mejora y racionalización del pre-calentamiento del agua de alimentación a la caldera usando el calor recuperado de otros procesos.
- Identificación de fuentes de calor alternativas para minimizar las necesidades de recuperación de calor de los vapores del secado, con significativos ahorros en plantas nuevas.
- Reducción de la inversión requerida para los sistemas de enfriamiento por la recuperación de calor.
- Recuperación de calor de flujos de efluentes líquidos para alcanzar temperatura de efluentes dentro del rango para el tratamiento biológico y descarga permitida.

- Disminución de la temperatura del calor recuperado para minimizar los costos de capital y de operación de la planta de refrigeración.
- Eliminación de pérdidas de calor de los sistemas de retorno de vapor condensado.

Desde la introducción comercial de la Tecnología Pinch en 1982, (Linnhoff, B.; 1982), ésta ha alcanzado un récord de éxitos en el diseño y mejoramiento de procesos químicos y fermentativos. En la literatura aparecen resultados que lo demuestran, como la reducción de costos energéticos de 15-40%, capacidad de solucionar puntos críticos de 5-15%, reducción de costos de capital de 5-10% para nuevos diseños, y mejoras en la operabilidad y flexibilidad del proceso.

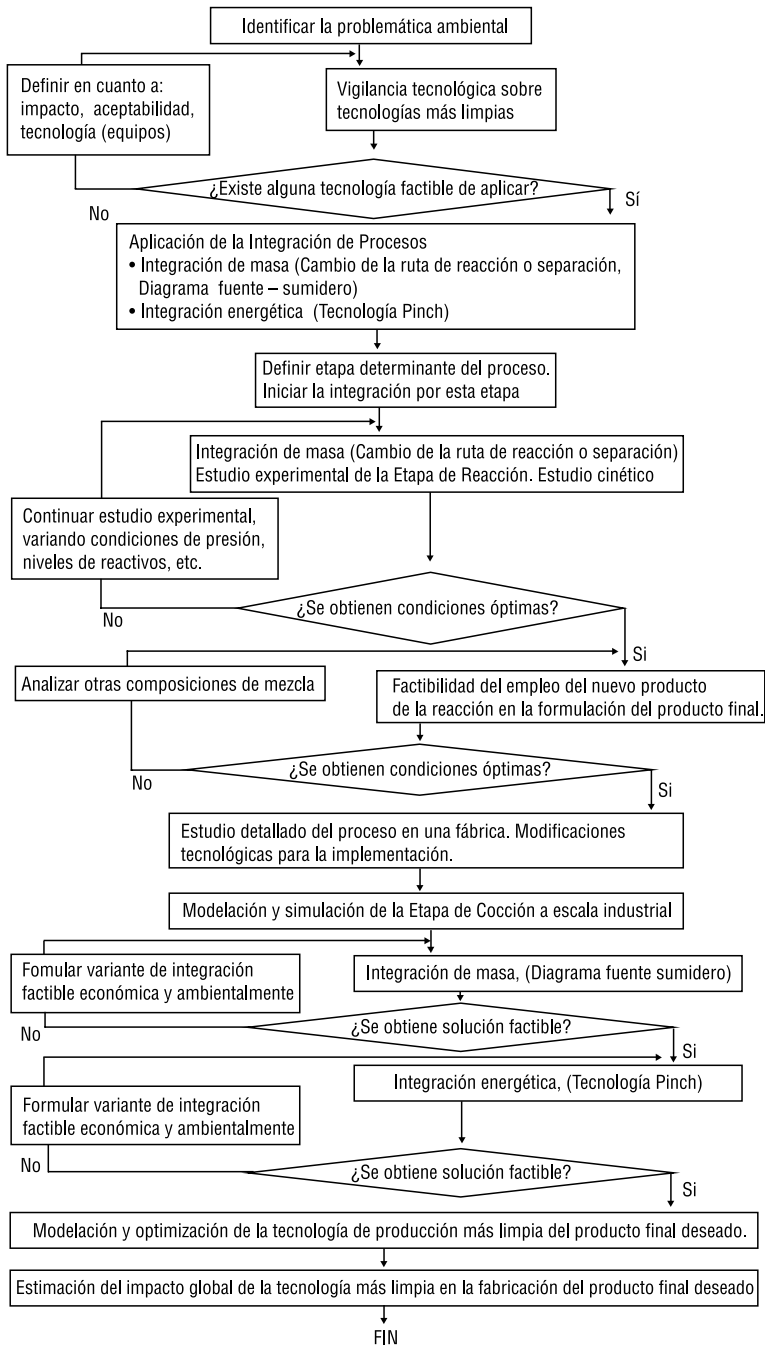
Se describe la tecnología Pinch, como una herramienta práctica para el manejo eficiente de la energía en la industria, combinando el análisis Pinch térmico y el análisis Pinch para la reducción del consumo de agua (Koufos, D.; 2001).

Un aspecto que sea considerado imprescindible ha sido la consideración de la incertidumbre en la integración de procesos (González Cortés, Serafín Machado Benavides, Erenio González; 2003) (González, M.; Gonzalez; E.; Corsano; G.; 2005) (Cata; 2006) y en los balances de materiales y energía (Nápoles; 2004), para lo cual se ha trabajado en la elaboración de procedimientos de análisis (Cata;2006) de aplicación en proceso integrados de varias tecnologías (González *et al*; 2006).

De los aspectos anteriores se desarrolla una metodología de análisis e integración de procesos a través de la cual se puede lograr una tecnología más limpia en la industria de procesos químicos y fermentativos.

La metodología que se elabora, sirve de guía para el desarrollo de una tecnología más limpia en este proceso y se muestra en el diagrama heurístico siguiente:

**Figura 2.6.:** Metodología para implementar una Tecnología más Limpia en la Industria de Procesos químicos y fermentativos





Recientemente, se han incorporado a los métodos de análisis de alternativas inversionistas los estudios de ciclo de vida “cuna a cuna” (Acevedo; 2012) por lo que se hace conveniente incorporar estos conceptos a la metodología general de análisis de alternativas inversionistas en la búsqueda de tecnologías mas limpias.

## **CONCLUSIONES**

1. Los procesos para lograr tecnologías mas limpias conllevan acciones de asimilación (transferencia) de tecnologías por lo que conocer los requerimientos para lograr su éxito es indispensables si queremos lograr una gestión de conocimientos para mitigar el impacto ambiental de la industria que utiliza tecnologías de obtención de productos químicos por vía química o fermentativa.
2. Es necesario profundizar en la búsqueda de Tecnologías más limpias a través de alternativas de utilización como materias primas de los desechos de las producciones establecidas, explorando cambio en las etapas determinantes como son las de reacción química y separación.
3. Se requiere elaborar procedimientos de evaluación de alternativas inversionistas en sus diferentes etapas que incorporen a los métodos tradicionales la selección de alternativas tecnológicas con apoyo computacionales y análisis de ciclo de vida “cuna a cuna”

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Acevedo, P. A. (2012)

Herramienta de análisis de alternativas de producción, incorporando el ACV “Cuna a Cuna” a los métodos tradicionales. Comparación de biodiesel de Palma e Higuierilla. Tesis en opción al Grado Científico de doctor en Ingeniería Química. UIS. Colombia.

Berbard, S.; Sorin, M. (2000)

“Water minimization in the washing area”. Tappi Journal. Vol. 83, N° 9, pp. 1-12.

Catá Salgado, Y.; González Suárez, E.; González Cortes, M.; Bingo Toure, M.; Aguirre, P. (2006)

Procedimiento para la consideración de la incertidumbre en un complejo fabril integrado. Centro Azúcar. 2006, Vol. 33. No. 1. p. 21-23. Santa Clara. Cuba. ISSN: 0253-5777.

- CECODES (1996)  
 “Cambio de rumbo: Colombia 1996”.
- Cripps, H. (2000)  
 “Process integration in the pulp and paper industry”. *Tappi Journal*. Vol. 81, N° 10.
- Dunn, R; Bush, G. E. (2000)  
 “Using process integration technology for cleaner production”. *Journal of cleaner production*. Vol. 8, pp 1-23.
- El-Halwagi, M. M.; V. Manousiouthakis (1989)  
 “Synthesis of mass Exchange Networks”, *AICHE J.* 35(8): 1233-1244.
- El-Halwagi, M.M.; Srinivas, B.K. (1994)  
 “Synthesis of Reactive Mass –Exchange Networks with General Nonlinear Equilibrium Functions”. *AICHE Journal*. Vol. 40, N° 3, pp 463-472.
- Garrison, G.W.; El-Halwagi, M.M. (2000)  
 “A Global Approach to Integrating Environmental, Energy, Economic, and Technological Objectives”. *American Chemical Society. Spring Meeting Session*.
- González, C.; M., Acevedo, L.; González, S.E. (b) (2002)  
 La Integración de Procesos en la minimización del impacto ambiental. Congreso de Química. México.
- González Cortés, M. (2003)  
 Serafín Machado Benavides, Erenio González. La incertidumbre en la integración de procesos derivados de la caña de azúcar/57. *Centro Azúcar 2*. ISSN: 0253-5777.
- González Cortes, M.; González Suárez, E.; Corsano, G.  
 Tecnología más limpia a través de la integración de procesos en la producción de papel para ondular. *Revista Afinidad*, 2005, Vol. 62. Num. 520. 584-588. ISSN: 0001-9704. España.
- González, E. Editor.  
 Vías para el diseño
- González, C. M.; González S. E. (a)  
 El pulpeo con etanol para elevar la competitividad de fábricas de papel y su desarrollo prospectivo integrado a fábricas de derivados de la caña de azúcar. III Taller Caribeño Energía y Medio Ambiente, abril 2004.
- González Suárez; E.Y.; Catá Salgado, J.; Pedraza Garciga  
 Revista Análisis de las variantes de integración material y energética de un combinado para la producción de aditivos oxigenados anexo a una fábrica de azúcar. *Universidad EAFIT*, V. 42, N° 143. Medellín, 2006 Colombia, ISSN:-0120-341X. p.103-109.

- Histed, J.A.; Nelson, G.G. (1990)  
“Water reuse and recycle in pulp and paper industry”. Pulp and Paper Canada. Vol. 80, N° 3, pp 74-80.
- Jaber, D. (2001)  
Cut costs whit condensate return. Tappi Journal, Vol. 84, N° 2, p. 24 (a).
- Koufos, D.; Retsina, T. (2001)  
Practical energy and water management through pinch analysis for the pulp and paper industry. Water Science & Technology. Vol. 43, N° 2, pp 327–332.
- Linnhoff, B. (1982)  
User guide on process integration for efficient use of energy. Inst. Chem. Eng. London.
- Noureldin, M. B; El-Halwagi, M. (1999)  
“Interval-based targeting for pollution prevention via mass integration”. Computers and Chemical Engineering, 23, pp 1527-1543.
- Nubia Velazco, Juan Pablo Ramos, Bart Van Hoof, Compilación (2000)  
Introducción en Producción más Limpia. Universidad de los Andes.
- Rodera, H.; Bagajewics, M. (1999)  
Targeting procedures for energy savings by heat integration across plants. Aiche Journal, Vol. 45, N° 8.
- UNEP, WBCS (1998)  
“Cleaner Production and Eco-efficiency”, UNEP.



## CAPÍTULO III

### La Absorción (Asimilación) de Tecnología en la industria de procesos químicos y fermentativos

*Dr. Sc. Erenio González Suárez*

*MSc. Lic. Diana Niurka Concepción Toledo*

Universidad Central de Las Villas, Cuba.

*Dra. C. Ing. María Teresa Hernández Nodarse*

Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente

Villa Clara. Cuba.

*Dr. C. Ing. Juan Esteban Miño Valdés*

Universidad Nacional de Misiones, Argentina.

### IMPACTO DE LA CIENCIA EN EL DESARROLLO COMPETITIVO DE LAS EMPRESAS

Como se conoce, la Ciencia consolidó sus posiciones en el siglo XIX dando respuesta en una multitud de campos, comenzando el Siglo XX, “con la Técnica como abanderada y la Ciencia a la saga de esta, por lo que en el paso de los años se convertiría en el siglo de las grandes aplicaciones científicas, el siglo de la Revolución Científico Técnica” (Gálvez; 1986).

Como consecuencia del acelerado desarrollo de la Ciencia y la impresionante realidad de que hoy en más del 60 por ciento de los científicos que ha tenido la humanidad hasta el presente, están en plena actividad creativa, se puede concluir que la Revolución Científico Técnica es uno de los fenómenos más importantes de nuestros tiempos en el orden científico, socio económico e ideológico, significando un profundo cambio en la posición y connotación de las ciencias dentro de la sociedad, con una influencia directa sobre las fuerzas productivas, así para la Revolución Científico Técnica Contemporánea surgida a mediados del presente siglo, la Ciencia y la Técnica constituyen un sólo proceso, una combinación de influencias recíprocas, donde “la Ciencia a diferencia de lo que pasaba a comienzos de siglo, toma las principales iniciativas” (Gálvez; 1986), constituyendo el núcleo más dinámico en el vínculo con la producción, lo que somete a la producción a un influjo constante de ideas innovadoras, en plazos

cada vez más cortos que influyen y transforman los esquemas tradicionales de la producción.

En concordancia con esto, desde la década de los años setenta, a la innovación tecnológica se le ha reconocido su carácter de factor estratégico para la competitividad de las empresas de una forma explícita. Como se ha planteado, su carácter acumulativo y el estar contenida en cada actividad generadora de valor en las organizaciones la sitúan como un pilar básico en el que fundamentar las ventajas competitivas, por ello, los conceptos y métodos susceptibles de ayudar a las empresas a organizar mejor el desarrollo y la gestión de la innovación son objeto de investigaciones.

A este reconocimiento, ya mencionado, se une en el momento actual, el nuevo escenario mundial que se caracteriza por un entorno turbulento, internacionalización de las actividades empresariales, aceleración del cambio tecnológico, la aparición de tecnologías mutacionistas de carácter sinérgico, el acortamiento del ciclo de vida de los nuevos productos y el alto riesgo inherente al hecho tecnológico, son factores conductores de este período de innovación sin precedentes en la historia de la humanidad y sólo comparable con las revoluciones industriales anteriores.

Para triunfar en un mundo tan competitivo como el actual, e incluso para sobrevivir, las empresas no se pueden considerar definitivamente instaladas en un mercado, ni en una tecnología determinada, lo que pone de relieve la importancia de gestionar adecuadamente los procesos de innovación tecnológica, lo que permitirá a la empresa desarrollar y utilizar las nuevas tecnologías para consolidar su posición en el mercado.

No obstante lo anterior, aunque está ampliamente reconocido que la tecnología desempeña un papel fundamental en la competitividad de la empresa, “constituye uno de los factores intangibles que plantean mayor dificultad en su gestión, lo que se pone de relieve a través de los ejemplos de las numerosas empresas que han cometido errores al explotar sus ventajas tecnológicas y han perdido su posición en el mercado frente a sus competidores” (Pavón e Hidalgo; 1997).

Como se comprende. Es entonces imperioso que las empresas mantengan una postura de búsqueda constante de la innovación, una estrategia de innovación. Ello implica, “una gestión permanente de la innovación, en vez de una base creativa “a golpes”, y esto exige desarrollar un mecanismo de generación, filtro, evaluación, lanzamiento y seguimiento de un flujo continuo y programado de innovaciones” (Ruiz, y Mandado; 1989).

Igualmente como se ha señalado, “la cooperación tecnológica representa en la actualidad una estrategia competitiva que permite a las empresas avanzar conjuntamente en el desafío tecnológico mediante relaciones contractuales”

(Pavón e Hidalgo; 1997). De manera que el diseño y la gestión adecuada de las alianzas tecnológicas es estratégico para eliminar los obstáculos que impiden a la empresa incrementar su nivel de competitividad.

La Gestión Tecnológica, elemento vital y estratégico de la competitividad, que debe ser reconocido gerenciado y jerarquizado en cualquier actividad empresarial. Con tal fin, las acciones encaminadas a la competitividad se sustentan en un cuerpo conceptual y operativo. Teniendo en cuenta para ello un modelo integral de competitividad, el cual consta de diferentes ingredientes como son: Gerencia de Aprendizaje, Gerencia de Competitividad y Aspectos Operativos.

Es eminente por ello, la necesidad y posibilidad de investigación en la industria, así como las fortalezas y oportunidades que se logran a través de la vinculación universidad empresa. Un aspecto de especial interés es el tema de la incertidumbre en el desarrollo de las empresas y los programas de desarrollo y la formación de talentos.

En este contexto los aspectos concernientes a la transferencia y asimilación de Tecnologías de los países desarrollados son de gran importancia para países como los Latinoamericanos, cuyos recursos tecnológicos son infinitamente menores a los del mundo industrializado.

## **TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

En la literatura especializada, la expresión “transferencia de tecnología” se utiliza de diversas maneras. Por un lado, se emplea para identificar los procesos a través de los cuales los conocimientos generados en los laboratorios pueden llegar a ser utilizados en las empresas (“transferencia vertical”) y también para señalar los procesos mediante los cuales una tecnología diseñada para un determinado sector industrial puede ser utilizada en otros distinto (“transferencia horizontal”) (Broks, 1966). Por otra parte, y sobre todo en la literatura referida a los países latinoamericanos y en general, a los países subdesarrollados, el término alude principalmente a la transferencia internacional de tecnología, es decir, al flujo de conocimientos que tiene lugar entre países, particularmente el que ocurre entre estos últimos y las naciones industrializadas.

Si se acepta conceptual como tecnología a un conjunto de conocimientos susceptibles de uso productivo. Ello lleva inevitablemente, a pensar la transferencia de tecnología en términos de un “paquete” integral que el proveedor le suministra al comprador. En términos generales, el paquete tecnológico “ideal” está compuesto por los siguientes elementos (Avalos; 1994):

- 1.- Uno o más módulos que pueden integrar la tecnología “medular” o la “periférica” y los cuales pueden ser transmitidos a través de documentación escrita, explicaciones principales, entrenamientos, asistencia técnica, etc.
- 2.- Autorización para usar varios derechos, conocimientos o activos,
- 3.- Bienes físicos, los cuales pueden tomar la forma de bienes de capital, bienes intermedios y bienes finales.
- 4.- Bienes intangibles (o “blandos”), los cuales pueden tomar la forma de información escrita, programas de computación, transmisión oral, grabaciones, etc.

En el proceso de transferencia de tecnología es posible distinguir una serie de pasos como los siguientes:

- **La selección de la tecnología:** Consiste en la identificación de las necesidades tecnológicas de la empresa receptora, la búsqueda de información lo más completa posible sobre las tecnologías disponibles y las condiciones que estipula el proveedor de la misma para cederla.

Para lo anterior se debe tener en cuenta aspectos tales como las posibles fuentes de una tecnología dada, las condiciones en las cuales se oferta, su novedad, si se ha comprobado industrial y comercialmente, si le será rentable a la empresa adquirirla. Asimismo, conviene considerar si existen en el país, las materias primas como los productos intermedios necesarios, y determinar cuáles serán los mercados potenciales de lo que se produzca y oferte por medio de la nueva tecnología.

El problema básico de la selección es de información, sobre todo en materia de tecnologías asequibles, tanto nacional como internacionalmente. Varias de las fuentes principales de tecnologías son:

- Publicaciones sobre patentes en boletines de la propiedad industrial.
- Publicaciones técnicas y comerciales.
- Centros de investigación y desarrollo industrial (incluidas instituciones educativas)
- Firmas consultoras.
- La sociedad de ejecutivos concesionarias de licencias, más conocida como Licensing Executive Society (LES) y su publicación “Les Nouvelles”.
- Organizaciones comerciales patrocinadas por gobiernos.
- Cámaras de Comercio.
- Contactos personales (en ferias, exposiciones, eventos, congresos, etc.).



Es de destacar que cuando más información posea la parte adquirente, menos débil será su posición negociadora y mejorarán las posibilidades de adquirir la tecnología necesaria en la forma y condiciones más convenientes.

- **La negociación:** vista como la etapa en la cual, una vez seleccionada la tecnología, las partes se ponen en contacto con el fin de definir las condiciones y términos del acuerdo por medio del cual se concederá la tecnología.

En la redacción del documento jurídico son muchos los aspectos que deben considerarse:

- partes que intervienen y mediante quien lo hacen (sobre todo, si una parte es persona jurídica colectiva se vela que el negociador y posterior firmante acredite debidamente su condición de representante de la misma)
- objeto del contrato: se debe plasmar claramente cuál es la tecnología básica a transmitir, obligaciones de las partes, fundamentalmente, en cuanto a prestaciones y pagos, derechos que se confieren y ámbito de aplicación y vigencias de los mismos, formas de terminación del acuerdo y sus causas, garantías ofrecidas, territorios de aplicación, formas de dirimir las controversias, leyes aplicables y tribunales que conocerán del asunto, entre otras cuestiones.

En fin, es muy importante ser cuidadosos en esta etapa pues cualquier desliz puede conducir a complicaciones de incalculables consecuencias. En este punto es importante que la parte que adquiere la tecnología tenga una justa valoración de lo que aporta en el trato, y que constituye su riqueza tecnológica: el saber de su personal, la experiencia acumulada, los activos tangibles, la existencia de patentes, marcas, lemas u otra forma de propiedad industrial, que son aportes importantes en la adquisición y evaluación de una tecnología.

- **La absorción o asimilación:** Es la etapa en la cual ya se ha adquirido formalmente los conocimientos y equipos traspasados, pero éstos deben ser analizados y dominados a cabalidad por la entidad receptora, si se desea lograr el éxito de la transferencia. Para esta etapa es fundamental que se transmita realmente el know-how necesario de la empresa que cede la tecnología o “licenciante”, y que la misma colabore con la asimilación por diferentes vías, además del envío de la documentación técnica. Estas vías pueden ser la capacitación y formación del personal receptor, así como otras modalidades de la ayuda y asistencia técnica.

- **La adaptación:** Como quiera que la tecnología importada no se creó ni para las características de la empresa receptora, ni para las condiciones en las cuales esta se desenvuelve, la empresa debe promover los cambios y adaptaciones necesarias para que la tecnología cedida se pueda aplicar con la máxima efectividad.

- **La reproducción:** En la mayoría de los casos se realiza de conjunto con las dos etapas anteriores, y no es más que la etapa en la cual la entidad receptora ya ha pasado a aplicar industrialmente una tecnología dada (debe tratarse que esté, en lo posible, ya adaptada) y a obtener resultados.

- **La difusión:** Aunque muchos contratos de transferencia de tecnología presentan limitaciones en cuanto a esto, en realidad, para que se cumpla un verdadero proceso de este tipo, es necesario que conozcan sobre la nueva tecnología importada en el país otras empresas y entidades, sobre todo centros de investigación y desarrollo a las cuales pudiera serles útil la información, con lo cual la adquisición repercutiría no sólo, en beneficio de la empresa adquirente sino para toda la economía del país receptor.

- **Mejoras e innovaciones:** Se concibe como la última etapa dentro del proceso y conlleva que el adquirente de la tecnología llegue verdaderamente a dominarla, y lo demuestre con la creación de mejoras e incluso innovaciones sobre lo cedido, que lo lleven a la suficiencia tecnológica en esa rama.

Las formas más aceptadas de transmisión de tecnología, son:

- Venta o licencia de cualquiera de las modalidades de la propiedad industrial.
- Transmisión de información y conocimientos técnicos valiosos, no protegidos por una patente (se refiere principalmente al know-how). Esta acción se hace generalmente mediante contrato con cláusula de confidencialidad.
- Todas las modalidades de asistencia y servicios técnicos, en su más amplia acepción.
- La cesión (por compra o arrendamiento) de maquinarias, equipos, etc., con su correspondiente documentación técnica.
- Los acuerdos o propuestas globales industriales de toda clase.

Dentro del proceso de Innovación Tecnológica, la transferencia de tecnología, es la actividad encargada de garantizar la utilización a través de la comercialización de las nuevas tecnologías. De forma general se interpreta como el movimiento (en forma de patentes, licencias, compañías Start-Up, otras) de los resultados de la investigación básica y aplicada a las organizaciones comerciales.

En algunos casos, la tecnología transferida está completamente terminada y disponible en el mercado, y se necesita solo su instalación y un programa de mercado. En otros casos, lo que se ha transferido tiene una enorme distancia del mercado comercial, y requiere una gran inversión en I+D. Cuando las tecnologías licenciadas se han medido por la vía de patentes concedidas, acuerdos de licencias, compañías Start-Up, la transferencia de tecnología se

considera un proceso lineal. Cuando los flujos desde la investigación a los nuevos productos o procesos son discretos, se requiere la colaboración de grupos de interfase.

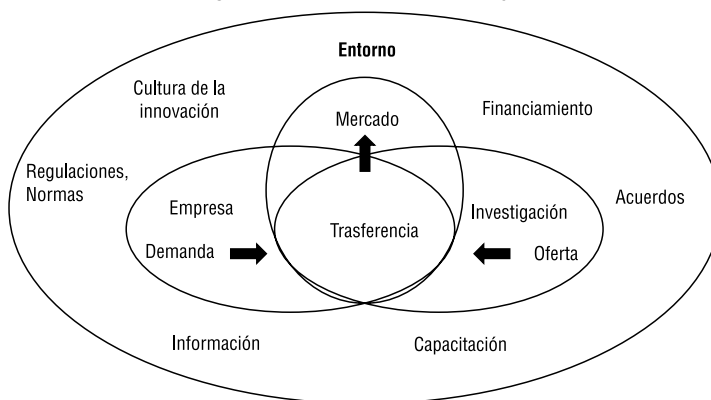
El proceso de Transferencia de Tecnologías implica mucho más que una simple cesión de la misma y cada vez más se concibe que la figura del cedente quede comprometida a cooperar con el adquirente en pos de que este último logre un verdadero dominio tecnológico, tan necesario, sobre todo, si el adquirente es de un país subdesarrollado.

Por otro lado, un aspecto fundamental para explicar los procesos de difusión y los de transparencia de tecnología, y como parte de ello, es el régimen de apropiación de las tecnologías.

El régimen de apropiación de tecnologías es una función de tres aspectos básicos : la naturaleza de la tecnología (producto, proceso, tácita, codificada ), la eficacia de los mecanismos de protección legal ( patentes, copyrights, secretos comerciales) y las capacidades complementarias, indispensables para el uso de la nueva tecnología (Avalos; 1994) .

Es importante destacar que el motor que atrae el proceso de innovación y dentro de ello de la transferencia de tecnología es el mercado. Figura 3.1.

**Figura 3.1.: Proceso de Transferencia Tecnológica**



En este contexto es cómo surge el concepto de Sistema Nacional de Innovación (SNI), el que se concibe como el conjunto de agentes, instituciones, articulaciones y prácticas sociales vinculados a la actividad innovadora, con el fin de producir, difundir y usar conocimientos nuevos con utilidad económica, cuyas raíces o localización se encuentran dentro o fuera de las fronteras de un país.

Interpretando este concepto, podría decirse que el SNI se constituye en un franqueador de caminos, en el que su producto, las innovaciones tecnológicas, constituyen fuerzas orientadoras de cambios en productividad, competitividad y bienestar de la sociedad. Este producto y su impacto en el desarrollo, es el mejor instrumento de promoción y a la vez de vinculación del sistema con ambientes cada vez más exigentes y competitivo.

La búsqueda de nuevas opciones tecnológicas continúa basada en el tradicional proceso lineal de investigación básica - aplicada - validación - transferencia - desarrollo tecnológico - mercado, aunque no necesariamente ocurre así; la necesidad puede llevar a una solución lógica, pero profundamente estudiada. Luego que se llega a resultados satisfactorios, se puede invertir en I+D+I. Bajo el contexto de los sistemas de innovación, las instituciones estatales, de la mano con el sector privado, promueven la creación de mecanismos de organización y funcionamiento que posibilitan la vinculación efectiva entre ciencia, tecnología, producción y mercado. A partir de ello, es posible poner en marcha los procesos de generación, difusión y utilización de innovaciones, con una efectiva y alta participación del sector productivo (Tece; 1976).

## **FORMAS DE LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA**

Cuando la tecnología se transfiere, puede adoptar diversas formas: tangible, incorporada en un equipo o un prototipo, o intangible, a través de conocimientos tácitos o explícitos.

Este conjunto de elementos pone de manifiesto dos hechos específicos. Por un lado, el carácter multidimensional de la transferencia de tecnología, lo que al mismo tiempo sugiere que los mecanismos para su fomento y su desarrollo deben abarcar un amplio rango de actuaciones. Por otro lado, que el proceso de la transferencia de tecnología no es instantáneo sino al contrario, es un proceso que necesita tiempo para ser asimilado e implantado a lo largo de sus diferentes etapas, reconocimiento de la oportunidad o necesidad, comparación, selección, adquisición, implementación y utilización a largo plazo (lo que incluye también la fase de aprendizaje).

Por tanto, si se analiza el modelo que caracteriza a los procesos de transferencia de tecnología a lo largo de los últimos años, se interpreta que este ha evolucionado desde una simple interacción entre el suministrador y el receptor de la tecnología hasta una versión más compleja en la que interactúan diferentes agentes y se producen numerosas influencias.

El modelo actual que trata de caracterizar ese proceso es interactivo, y tiene como base que en los procesos de transferencia de tecnologías participan múltiples protagonistas y se presentan sobre la base de muchos a muchos, lo que no niega que en un caso específico participe un solo agente desde el lado de la demanda. Además, no es común la transferencia de la tecnología directa, sino que a menudo se exige la colaboración de alguna forma de intermediación.

La tecnología es un producto multidimensional que no tiene que proceder de una sola fuente de suministro, sino de una combinación de varias. Un elemento que contribuye de manera eficiente a la transferencia de este tipo de tecnología lo constituye una organización intermedia que podemos denominar “integradora del sistema”, que actúa como un agente tecnológico para la empresa que necesita adquirir la tecnología y ayuda a que el proceso de la transferencia sea lo más rentable y eficaz posible.

La importancia de obstáculos no técnicos, sino más bien “blandos” parecería irrelevante; se reconocen por todos los teóricos los nuevos enfoques de la transferencia de tecnologías, que abandonan poco a poco la visión lineal, tradicional, y van adoptando una visión sistemática, eliminando los obstáculos o barreras que pueden entorpecer la transferencia, dentro de los que se destacan: malas comunicaciones, fallas de gestión, falta de comprensión de lo que necesita el cliente o usuario, falta de estrategia a largo plazo, e incapacidad de adaptarse al cambio.

Los proyectos que han tenido en cuenta estos obstáculos en su trabajo técnico, se han beneficiado en términos de la velocidad, amplitud, y sostenibilidad de la innovación que han producido.

La creación de grupos de innovación discontinua, no incremental, paso por paso o por saltos estimula de otra manera las políticas y procesos; además, provoca la creación de infraestructuras de innovación de alto nivel, dentro de la misma empresa u otra empresa, haciendo brotar competencias que permitan a las empresas crear nuevas dimensiones..

En los primeros años del surgimiento de las Incubadoras de empresas, nadie las acompañaba con transferencias de tecnologías, lo que fue cambiando a mediados de los años ochenta, y a fines de esa década, cuando las universidades alemanas y británicas comenzaron a utilizar las incubadoras para crear los Spin - Offs con objetivo de comercializar los resultados de investigación; en los noventa una oleada de incubadoras especializadas en tecnologías de avanzada recorre Europa, especializándose en algunos sectores como la biotecnología o empresas electrónicas.

La tecnología no permanece estática en el tiempo, sino que se está modificando de manera permanente. Por este motivo, cada proceso de transferencia de tecnología es único y de validez específica para cada empresa

que trata de incorporarla, pues cada una necesitará de una configuración específica de la tecnología.

Los tradicionales modelos de difusión de la innovación asumen que el coste es el principal motivo del cambio y que las empresas suelen responder directamente a las señales que están más directamente relacionadas con los costes. Sin embargo, evidencias empíricas ponen de manifiesto que los principales elementos que mueven a la empresa en la toma de decisiones en cuanto a la innovación se refieren, son las percepciones de hacer rentables los cambios a mediano y largo plazo.

Donde exista un modelo particular de innovación consolidado, que algunos actores denominan “trayectoria tecnológica”, éste servirá de ayuda para definir la “trayectoria”, a través de la cual otras empresas de ese determinado sector tenderán a moverse, con el fin de permanecer competitivas. No hay un modelo universal, reamente hay que adaptar cada plan a su entorno local. Al realizarse las transferencias de tecnologías tiene que estudiarse el sesgo empresarial de su diversidad de estructuras y programas de innovación de su región y las principales prioridades de desarrollo territorial.

Hay una tendencia generalizada a asumir que el proceso de la transferencia de tecnología finaliza en el momento en que la tecnología específica se ha adoptado, es decir, implantada. En la actualidad, la experiencia está demostrando que la simple posesión del recurso tecnológico no garantiza su uso efectivo y, por tanto, su rentabilidad a medio y largo plazo, lo que lleva a la idea de que constituir una competencia tecnológica requiere de un proceso de aprendizaje para absorber y optimizar la tecnología.

Existe generalmente una fuerte dimensión cultural relacionada con la tecnología, lo que implica que cuando se transfiere a una localización geográfica diferente, pueden producirse fallos en su acoplamiento. Esto está ampliamente confirmado con las experiencias negativas de transferencias de tecnologías Norte - Sur en las cuales se pueden producir fallos, porque los países del sur, menos desarrollados, están en desventaja para lograr éxitos en la introducción y apropiación de una tecnología complejas.

Finalmente, es importante examinar el tema en el contexto Latinoamericano y tercermundista, en el cual desde mediados de la década de los sesenta, se puso en boga el tema de la dependencia tecnológica (Avalos; 1994). Dicho tema adquirió relevancia en un momento caracterizado - entre otros elementos- por la irrupción de los planteamientos del tercer mundo en el escenario mundial, por sus proposiciones para crear un orden económico más justo y por sus denuncias de las prácticas económicas de los países industrializados y en particular, de las multinacionales. En la literatura especializada es posible encontrar diversos ángulos desde los que se aborda este asunto, pero en general,

todos los enfoques existentes se alimentan, directa o indirectamente, de considerar que la dependencia tecnológica no es más que una forma particular de las relaciones de dominación que los países desarrollados ejercen sobre los subdesarrollados.

De estas posiciones se han derivado diversas investigaciones dirigidas a determinar y sopesar las consecuencias de la transferencia de tecnología en las economías Latinoamericanas, casi siempre consideradas como esencialmente negativas, por razones tales como que:

- Tales tecnologías tienen la marca de fábrica de las economías de los países desarrollados;
- Están concebidas en función de sus características y objetivos y resultan por lo tanto inadecuadas para los países de la región.

Esa inadecuación viene dada por factores de variada naturaleza : el tamaño del mercado (los mercados de los países latinoamericanos resultan pequeños en comparación con los requerimientos de escala asociados a la tecnología foránea), las materias primas (en los países existen otras materias primas o tienen característica diferentes a las que se usan en los países desarrollados), la disposición relativa de factores productivos (se importan tecnologías foráneas altamente capital- intensivas que agravan el problema del desempleo en las economías de América Latina, caracterizadas por la abundancia de mano de obra en comparación con la disponibilidad de capitales), etc. En el plano político ideológico hay que sumar el peligro de la incompreensión por nuestros pueblos de la causa real de las posibilidades de generación de nuevas tecnologías en los países más desarrollados e incluso la promoción de “ robo de cerebros” ante lo atractivo para los jóvenes científicos de situarse en “el borde delantero” de la investigación científica a través del empleo de novedosos recursos de la Ciencia y la Técnica moderna.

Realmente, en opinión de los autores ante estas dificultades se abren un gran número de posibilidades de accionar de los pueblos latinoamericanos para conjurar los “peligros” de la transferencia de tecnología, entre otros debemos destacar los siguientes:

- La selección y evaluación de tecnologías a ser transferidas, para lo que requiere el desarrollo de metodologías para tal fin.
- La estructuración de mecanismos de información que posibiliten la búsqueda en el mercado internacional de aquellas opciones que resulten más convenientes para las características de las economías latinoamericanas.
- La elaboración de metodologías científicas para la adaptación y asimilación de tecnologías foráneas, modificándolas para hacerlas compatibles con la dimensión de nuestros mercados, con nuestras

materias primas, con la estructura y características de nuestra mano de obra, etc. (González, 1991).

- El diseño local de tecnologías más ajustadas a la realidad latinoamericana.

Desde luego la ejecución de tales acciones requiere indudablemente la formación de capacidades intelectuales en nuestros pueblos, es por ello que nos vemos aquí obligados a referir la estrategia seguida por Cuba en la formación de investigadores.

## **ACCIONES PARA INCREMENTAR LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

La gestión de las relaciones universidad empresa se puede ver como un ejemplo especial del proceso de transferencias de tecnología, ya que describen los mecanismos de transferencias de tecnologías como programas estructurados con vistas a capitalizar la investigación universitaria, integrados a los programas del sector privado o a los productos comerciales. Se puede plantear que la industria ha incrementado su actividad investigadora debido a la demanda, y la gestión de la información; como todo esto se refleja en la calidad de la educación, en muchos casos, cuando la cooperación va ocurriendo, principalmente en fases de I+D, se abren con la inteligencia competitiva oportunidades de participación, además, en la fase de identificación de nuevas necesidades y en consecuencia en su apoyo en la toma de decisiones de la organización.

En la literatura especializada se identifican un gran número de servicios y mecanismos de cooperación universidad - empresa. Estos servicios no pueden ser provistos por una sola institución, y todos pueden ser necesarios en la transferencia de tecnologías. Entre los más extendidos se encuentran los servicios de información y relaciones públicas, el entrenamiento y apoyo a los diferentes niveles del personal y la dirección de las empresas, las consultas y estudios de factibilidad, los contratos de I+D, la formación y entrenamiento en proyectos, en la preparación del personal de transferencia, las compañías Spin-off, los esquemas de enseñanza de la compañía y los expertos.

Las transferencias de tecnologías universitarias hacia las empresas han sido objeto de atención de muchos investigadores en los últimos años, en cuestiones relacionadas al proceso, los mecanismos, los agentes y receptores de transferencia, entre otras.



A partir de los años '90 la innovación en las empresas y la I+D, presentan una importante transición hacia una generación centrada en el conocimiento, el aprendizaje y los flujos de información entre la empresa y su entorno.

Se percibe la innovación como un proceso de acumulación de know how y de aprendizaje, donde las principales ventajas se obtienen a partir de la gestión dinámica de la información, y donde la conexión entre áreas internas y con su entorno externo (proveedores, distribuidores, clientes), juegan un papel importante.

En la actualidad se afirma que la innovación en su más pura concepción es un proceso informacional, en el cual el conocimiento, como valor agregado, es adquirido, procesado y transferido. Se hace necesario entonces que las organizaciones cuenten con novedosos sistemas de gestión de la inteligencia competitiva, concepto relativamente nuevo, que tiene como objetivos la búsqueda de la “buena” información del entorno externo de la organización, y luego la convierte en un producto inteligente para la toma de decisiones.

Los centros de investigación, incluyendo las universidades, se han propuesto cerrar el ciclo tratando de transferir las tecnologías, para en algunos casos en etapas muy incipientes y en otros con experiencias acumuladas, que sería meritorio evaluar, sobre todo en su proceso de ejecución.

Nos preguntamos ¿hasta qué punto el desarrollo de actividades de Transferencia de Tecnologías en una universidad o centro de investigación, permitiría acelerar el proceso de innovación?

¿Cómo es posible a través de esta actividad identificar socios, estrategias, necesidades del mercado, para valorizar y transferir las investigaciones?

Esta comunicación debe presentar un enfoque que permitiría dar respuesta a los requerimientos para el desarrollo de las actividades de transferencias de tecnologías desde las universidades y centros de investigación, así como su aplicación para el desarrollo como actividades de Innovación.

Las alternativas de interacción se diferencian en sus formas de organización, estilo de administración, orientación y composición de la investigación. Entre las más conocidas están los Parques Científicos y Tecnológicos y las Incubadoras de Empresas, los Institutos de Investigación, los Centros de I+D tecnológico, las Corporaciones de I+D tecnológico, los programas de I+D cooperativos, las Oficinas de Transferencia de Tecnología, y los Consejos Asesores Industriales.

Las Oficinas de Transferencias de Tecnologías serán las encargadas de monitorear en las universidades, en los centros de investigación y en los laboratorios, las actividades de investigación tecnológica, de rastrear y evaluar eventos, procurar patentes y realizar diligencias, vigilar y proteger la

propiedad intelectual e industrial, y otras actividades requeridas en el proceso de negociación y de transferencia de tecnología.

Entre los factores que obstaculizan un mayor acercamiento entre las empresas, la universidad, y los centros de investigación que se han venido identificando durante los últimos años como barreras están:

- Diferencias culturales entre el personal universitario, los centros de investigación y el empresarial.
- Diferencias de políticas tecnológicas no regidas por una estrategia de prioridad territorial.
- Diferentes expectativas, intereses y valores no conciliados lo suficiente para que respondan todos sin sustituir protagonismos.
- Distintos patrones de conducta.
- Viabilidad financiera de los proyectos.
- Diferencias en la orientación, horizonte y método.
- Investigación abierta versus confidencialidad.
- Requerimiento de exclusividad por parte de las empresas.
- Conflictos en formas y estructuras.
- Falta de reconocimiento curricular en los universitarios.
- Beneficios versus coste.

Sin embargo, frente a estas resistencias a la relación de cooperación, se han identificado también muchas razones que justifican un acercamiento entre las partes:

- Contrato de trabajos y proyectos fuera del alcance de la empresa por sí sola.
- Acceso a profesores y estudiantes, capaces de realizar actividades técnicas y de investigación.
- Acceso a información sobre el estado del arte tecnológico.
- Prestigio.
- Aprovechamiento de la instrumentación, equipamiento técnico y experiencia de la universidad y centros de investigación.
- Acceso a conocimientos técnicos específicos propios de ciertas empresas.
- Oportunidad de exponer a los estudiantes frente a situaciones prácticas reales.
- Obtención de fondos de ayuda públicos.
- Favorecimiento del empleo de post-graduados.
- Obtención de fondos económicos complementarios por vía de los pagos realizados por las empresas.

Es una realidad que las instituciones académicas no son los únicos centros de producción de los conocimientos. Pero lo que sí se afirma es que la Educación Superior es el elemento socio - institucional básico de producción de los trabajadores del conocimiento y que, junto con ello, ha cobrado cada vez más importancia el papel de las instituciones de la educación superior en la transferencia de conocimientos y de tecnologías hacia la producción y la sociedad.

La parte más dinámica se ubica en la investigación. La elevación de los costos y las posibilidades determinadas por la obtención cuantiosa de recursos físicos, humanos y financieros, representan un cambio radical, pues es necesario optimizar recursos siempre escasos, el crecimiento e importancia de la administración, sobre todo en lo relativo a la creación de instancias de gestión y transferencia de tecnología, creación de mecanismos y nuevas estructuras que relacionan Educación Superior, ciencia - tecnología, producción industrial y de servicios.

La importancia puesta en la investigación en la Educación Superior ha conducido a que las instituciones antes reproductoras de conocimiento sean ahora productoras del mismo.

Con este cambio, la Educación Superior pasa a jugar diversos y diferentes roles.

El aspecto central que hace posible el nuevo ordenamiento disciplinario, es el “acoplamiento” entre el mundo disciplinario de la academia y el mundo de la producción.

Un conjunto de nuevos componentes “bilaterales” (universidad - industria) o “trilaterales” (universidad- gobierno- industria) aparecen como mecanismos de relación directa: parques científicos, polos científicos, oficinas de gestión tecnológica, programas de investigación con apoyo gubernamental, etc.

El saber científico y tecnológico constituye un factor de producción fundamental para la competitividad de las economías y orientar decisiones en la búsqueda de la superación.

Se necesitan inversiones a largo plazo para elevar la ciencia y la innovación tecnológica a la categoría de infraestructura productiva. Con la continuidad de esas inversiones se garantiza el futuro de las universidades y centros de investigación, pero esto no es suficiente: se necesita del fortalecimiento de la gestión de la innovación en las empresas, especialmente en las medianas y pequeñas; por lo general estos cambios traen e implican procesos de reorganización y comercialización para los actores del sistema.

Los recursos de las universidades, especialmente los representados por conocimiento, pueden organizarse y representar una fortaleza para los países más pobres, en unión de actuación con las empresas, incluyendo el marco de

relaciones regionales o internacionales, al estilo que hoy lo desarrollan algunos organismos internacionales.

Por otro lado, las transformaciones que se realizan en el mundo en la actualidad se asientan en los cambios tecnológicos de los últimos años, lo que nos obliga a la necesidad de abordar el tema desde otras perspectivas y de inducir cambios sustantivos en la manera de plantearnos las acciones que conducen a la adquisición de conocimiento y a las formas de organizarlos.

Muchos son los que exigen que el espacio europeo de investigación se convierta en el espacio de la investigación e innovación, “veintidós regiones de Europa han recibido el premio de la excelencia para Regiones Innovadoras desde el 2000 - 2002; los miembros han aprendido mucho unos de los otros y pueden ahora traspasar sus experiencias y resultados a otras regiones... pero hay que hacerlo de manera que no se pierda su identidad y el atractivo para sus miembros... la innovación no es solo nueva tecnología. La innovación es más, porque despierta la capacidad de organizar y dirigir, lo que es necesario para el éxito de la innovación. Se necesita el espíritu empresarial en las empresas de producción y servicios y lo necesitamos junto con los saberes necesarios y la capacidad de innovar..

La innovación es una nueva cultura. Aunque se reconoce que el principal problema de la innovación es el financiamiento; solo unos pocos han creado una cultura eficaz de la innovación, por lo que la falta de fondos no es una de las razones principales de que no existan muchas más empresas innovadoras.

Desde hace varias décadas, la comprensión del proceso de transferencia de tecnologías ha despertado mucho interés entre los investigadores y estudiosos del tema en toda América Latina. A lo largo de este periodo se han elaborado incontable propuestas en la búsqueda de soluciones capaces de contribuir a cerrar las brechas tecnológicas existentes entre nuestros países y los desarrollados.

En este proceso de nuevas acciones para la transferencia de tecnología, es necesario considerar que, no es suficiente para posicionarnos en los competitivos mercados globales, conocer y aplicar las manifestaciones o técnicas asociadas al nuevo modelo de gerencia que se ha venido produciendo en los últimos años. No es posible pretender aplicar esas herramientas dentro del proceso de construcción de una organización sin haber previamente, reflexionado sobre la naturaleza del cambio que ello demanda, sin saber que esos instrumentos serán efectivos solamente si son aplicados en organizaciones en las cuales se han asentado previamente valores fundamentales de flexibilidad, participación y visión compartida por todos los miembros del equipo de trabajo.

Por otra parte, cada vez más, la investigación en las universidades, comenzó a manifestarse con decisión y nitidez crecientes, haciendo buena una

de las pautas más significativas de las universitarias modernas, que definen la promoción y desarrollo de la investigación científica como una misión básica irrenunciable.

De este modo se han conformado en todos los países una red de instituciones de investigación y desarrollo (I+D) que aborda un conjunto de cuestiones cuyo esclarecimiento científico y solución tecnológica demanda el progreso de la vida económica, social y espiritual de nuestras naciones.

Aquí se parte del criterio de que el progreso científico está íntimamente relacionado con la educación superior, la cual asegura la preparación de cuadros para la producción y las instituciones científico investigativas, siendo por ello clave la investigación en la educación superior; pues permite:

- Mejorar la formación de los profesionales mediante la preparación científica de los profesores y la participación directa de todos los estudiantes en el componente investigativo de su currículum.
- Formar cuadros científico - técnicos y docentes, como soporte investigativo del postgrado académico y otras formas que contribuyen a la formación de cuadros científicos que han nutrido el potencial científico del país.
- Obtener nuevos conocimientos científicos con elevada calidad y relevancia.
- Conservar, desarrollar, promover y difundir la cultura en una estrategia coordinada de extensión universitaria con una fuerte actividad de divulgación científico popular.

En todo ello está presente una premisa, que la es también de la UNESCO (Licha, 1996) en relación a que “la investigación no es sólo una de las principales funciones de la educación superior, sino también un requisito previo de su importancia social y su calidad científica (Fernández de Lucio;1996) siendo la educación superior un asociado indispensable en el fomento de los temas de interés común que la ciencia, la tecnología y la cultura han investigado conjuntamente, por ello la formación de investigadores, ha estado estrechamente relacionado con el fortalecimiento de la educación superior y su vínculo con el sector empresarial, de servicios y la sociedad en su conjunto. Se considera el trabajo común entre los centros de investigación y la educación superior y de ambos con los organismos de producción, como un factor contribuyente a un ambiente creativo.

En esta evolución y vínculo han estado y están presentes los rasgos de la ola de desarrollo tecnológico de los años noventa, entre otros:

- La globalización de los procesos productivos de consumo, de factores culturales, de conocimiento y de tecnología.

- El desarrollo tecnológico acelerado.
- Integración del diseño, la producción y la comercialización, como una única transacción.
- Una mayor importancia de la ecología.

Por otro lado, en la actualidad la práctica productiva plantea con frecuencia a la ciencia tareas que tienen un carácter estratégico y perspectivo que exigen que la ciencia se adelante a la técnica, y a la producción en su desarrollo, lo que sólo puede lograrse a través de un sólido potencial científico. El potencial científico está formado por varios elementos, entre los cuales se destacan entre otros:

- Las reservas de ideas científicas obtenidas mediante investigaciones fundamentales.
- Las investigaciones científicas aplicadas que se materializan en trabajos de proyectos y patentes de invención.

En el mundo moderno la evolución de la información y el acceso o fuentes del conocimiento geográficamente distantes hacen que muchos de los resultados científicos de investigaciones fundamentales y aplicadas sean de acceso a uno y otro país de manera incluso que tras la globalización de la economía ha surgido la globalización de la investigación y desarrollo.

Por ello al elaborar y desarrollar una Política Científica Nacional se requiere considerar al menos cuatro principios en los que se incluya la asimilación del conocimiento mundial y su adaptación a las condiciones nacionales, pues la difusión de nuevas tecnologías es tan importante como su desarrollo y como se comprende, también para la recepción eficiente de tecnologías se requiere una base de investigación.

Un segundo principio de la Política Científica de las naciones es que la ciencia tiene que responder a las necesidades del desarrollo económico del país y por ello se explica la necesidad de presencia de los centros de Investigación en todas las esferas del quehacer económico y social.

La posibilidad de generar conocimientos y tecnologías propias, lo que se incorpora como un principio en su política científica y tecnológica.

Indudablemente un principio fundamental en la Política Científica siempre ha sido la formación de recursos humanos, pues sin científicos es muy difícil hacer ciencia (Grobart; 1976), es pues sin duda la composición cualitativa y cuantitativa de los cuadros científicos el elemento más importante de la política científica cubana. Al referirnos a su composición tenemos en cuenta la existencia de escuelas y líderes científicos en una u otra rama del saber, pues por un lado, son estas escuelas, las que están en posibilidad de dar un

impacto inmediato en la producción y los servicios mediante investigaciones científicas productivas o aplicadas y además dan continuidad al conocimiento científico a través de investigaciones fundamentales y la búsqueda de métodos científicos. Aquí no debemos olvidar que desde el punto de vista de las leyes internas del desenvolvimiento de la ciencia contemporánea, adquiere gran significado la influencia de una ciencia en la otra; junto con ello, sólo líderes capaces logran con eficacia proyectar el trabajo, dirigir el grupo y asumir los compromisos importantes, por lo que se requiere en los cuadros científicos una visión abarcadora y multilateral del mundo real investigado.

Precisamente, de acuerdo con la Política Científica Nacional y a la par que ella, se requiere elaborar y llevar a la práctica una estrategia de formación de investigadores. Partiendo de los principios que fundamentan la política científica nacional se pueden definir aspectos claves para la formación de los investigadores tales como:

- El acceso a la actividad científica libre, nutriéndose la misma de las capas más amplias de toda la población. Sus resultados constituyen patrimonio de todo el pueblo y sirven a los intereses de la sociedad.
- La unidad de la teoría y la práctica; el carácter planificado del trabajo científico; la concentración de los esfuerzos en los problemas principales del progreso científico, técnico, económico y social.
- El carácter colectivo del trabajo, la colaboración y el enriquecimiento mutuo de las experiencias.

Definidas estas premisas, la elaboración de un plan de formación de cuadros científicos conlleva, como es natural a la cuestión de cómo se debe investigar y en qué se debe consistir la peculiaridad de los métodos de trabajo.

Como se ha señalado, el proceso cognoscitivo incluye dos componentes fundamentales: El volumen de conocimientos de que se dispone y las ideas fundamentales por las que se orienta el investigador. Sus resultados dependen tanto de la suma de conocimientos acumulados por la humanidad hasta el momento, como del conjunto de información de que se dispone uno u otro investigador, por ello en la formación de investigadores deben ser propósitos:

- La disponibilidad de información científico-técnica, que en consecuente interacción requiere una organización, un acceso y una utilización, además de un aporte y enriquecimiento constante.
- La preparación metodológica adecuada del investigador y del colectivo de investigación.
- Tener en consideración, que en la teoría del conocimiento, como en todos los dominios de la ciencia, hay que razonar dialécticamente, no suponer nuestro conocimiento acabado e invariable, sino analizar el

proceso gracias al cual el conocimiento nace de la ignorancia o gracias al cual el conocimiento incompleto e inexacto llega a ser conocimiento más completo y más exacto.

Esto refuerza el criterio de la necesidad de la preparación metodológica, que permite el desarrollo de las investigaciones con verdadero rigor científico, pues en la producción científica, una premisa es, conocer la esencia del proceso cognoscitivo, dominar las leyes fundamentales de la noseología y concebir los métodos y procedimientos más eficaces, que proporcionan una orientación justa en la investigación científica y ayuden a elegir el camino más corto hasta los conocimientos verdaderos.

Sin embargo, en las condiciones de escasos recursos financieros de nuestros países, como se ha dicho: “el punto fundamental para los modestos éxitos que hayamos podido obtener en la actividad científica, ha correspondido a la piedra angular de todo el sistema que se llama integración” (Simeón; 1996), pues como nadie duda ya, a un científico aislado le es imposible dar respuesta a la complejidad de los problemas que la humanidad tiene que resolver, los cuales requieren de un trabajo multidisciplinario y colaborativo.

Por lo anterior se refuerza la necesidad de una comunidad científica que en un accionar conjunto enfrente los problemas del desarrollo sostenible de la Industria Química y Fermentativa.

## **CONCLUSIONES**

- 1.- El desarrollo competitivo de la industria que utiliza la biomasa como materia prima requiere de la asimilación de los adelantos de la Ciencia y la Técnica tanto nacionales como internacionales, lo que presupone un notable esfuerzo innovador y una ardua labor de transferencia de tecnología.
- 2.- En el mundo moderno la transferencia de tecnología de los países industrializados a los latinoamericanos y tercermundistas es una realidad inevitable y también necesaria, que conlleva riesgos culturales, sociales, ambientales y políticos.
- 3.- Solo la adecuada preparación científica y técnica de nuestro pueblo permite conjurar esos peligros que necesariamente hay que enfrentar y vencer, ya que no es inteligente ni competitivo rechazar la asimilación de las nuevas tecnologías.
- 4.- En el desarrollo de los países debe seguirse una estrategia de formación de cuadros científicos acorde con la Política científica Nacional, que le



permita lograr un Potencial Científico en el cual el factor humano tiene un papel esencial.

5.- En la formación de investigadores debe tener una atención constante de la dirección de los países, haciendo hincapié en la preparación integral y metodológica de los investigadores.

6.- La formación de investigadores incluso en el sector productivo, permite lograr condiciones dignas y competitivas de asimilación de tecnologías foráneas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Avalos Gutiérrez, I. (1994)

“Transferencia de Tecnología”. En Ciencia, Tecnología y Desarrollo: interrelaciones teóricas y metodológicas. Editorial Nueva Sociedad.

Broks, H. (1966)

“A National Policy Science and Transfer of Technology”. National Science Foundation.

Fernández de Lucio, I. (1996)

“Variables a considerar en el Análisis de los Sistemas Nacionales de innovación”. Memorias de IBERGECYT'96, Habana: 15-28

Gálvez, L.O. (1986)

“Ciencia Tecnología y Desarrollo”. Editorial Científico Técnica. Habana.

González, E. (1991)

“Aplicación del Análisis de Procesos en intensificación de distintas industrias de Cuba”. Tesis de disertación de Doctor en Ciencias. Universidad Central de Las Villas.

González, E. García; J. L. Herrera, M. (1979)

“Los Modernos Métodos Cibernéticos como estaban intermedio en la aplicación de la dialéctica materialista en los métodos especiales de las ciencias particulares. Ponencia. Conferencia de Ciencias Naturales y Sociales de la Universidad Central de Las Villas.

Grobart, F. (1976)

“Elementos para la elaboración de una política científico-técnica nacional”. Economía y Desarrollo.

Licha, I. (1996)

“La investigación y las Universidades Latinoamericanas en el Umbral del Siglo XXI: Los desafíos de la Globalización”. Colección UDUAL.

Pavón Morote, J.; A. Hidalgo Nuchera (1997)

“Gestión e innovación. Un enfoque estratégico. Ediciones Pirámide.

Ruiz, M.; E. Mandado (1989)

“La innovación tecnológica y su gestión”. Editorial Marcombo. S.A. Barcelona. España Teece, D. “The Multinational Cooperation and the Resources Cost of International Technology Transfer”. Ballinger Publishing Company, Cambridge. 1976.

Simeón Negrin, R.E. (1996)

“Estrategia de la Ciencia y la Tecnología en Cuba”. Conferencia inaugural de IBERGECYT'96, La Habana.

## CAPÍTULO IV

### **Aspectos técnico económicos en la evaluación de alternativas de inversiones en la industria de procesos químicos y fermentativos**

*Dr.Sc. Ing. Erenio González Suarez*  
Universidad Central de Las Villas, Cuba.

*Dr. C. Ing. Francisco Espínola Lozano*  
*Dr. C. Ing. Manuel Moya Vilar*  
Universidad de Jaén, España.

#### **EL ORIGEN DE LOS PROYECTOS INVERSIONISTAS EN LA INDUSTRIA DE PROCESOS QUÍMICOS Y FERMENTATIVOS**

En la búsqueda de la competitividad económica de las naciones es una necesidad suplir bienes de consumo o crear nuevos fondos exportables en base del desarrollo de proyectos industriales, es decir, estos tienen como fin crear los medios de producción necesarios para la fabricación de un nuevo producto, lo que está determinado por estrategias de desarrollo encaminadas al cumplimiento de los objetivos económicos y sociales del país.

Las inversiones juegan un papel importante en el aumento de la productividad y el mejoramiento de las condiciones de trabajo, para ello se combina la reproducción intensiva y extensiva cuando ejecutamos el diseño o proyecto de nuevas instalaciones. Además como se ha dicho, la búsqueda de Tecnologías más Limpias en los procesos en etapa productiva presupone la modificación de las instalaciones existentes mediante un proceso que también requiere inversiones.

Un aspecto de vital importancia en la decisión de ejecutar un proyecto es la demanda de un producto determinado, lo que se deriva de los consecuentes estudios del mercado que se realicen para el desarrollo de la economía global del país.

Las inversiones se deciden en primera instancia mediante un proceso de análisis de factibilidad económica que se sintetiza en la Figura 4.1 (González *et al.*, 1987). La evaluación económica de proyectos de inversión es un proceso sistemático que permite identificar, medir y valorar los costos y beneficios

relevantes asociados a una decisión de inversión, para emitir un juicio objetivo sobre la conveniencia de su ejecución desde distintos puntos de vista: económico, privado o social (Aguilera y Sepúlveda, 2005).

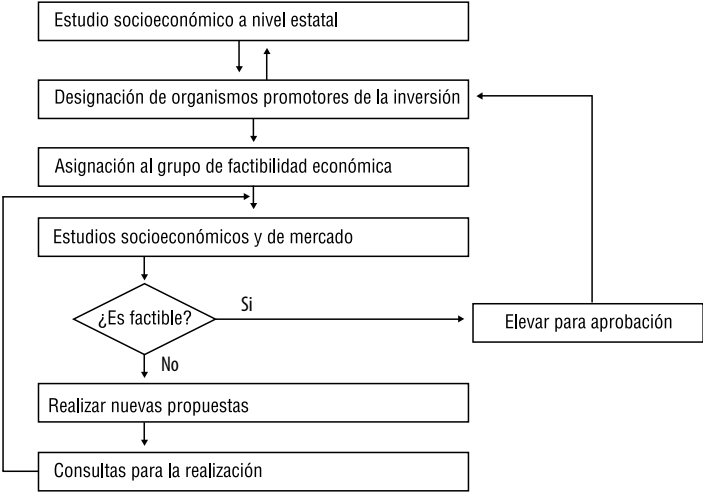
No obstante, en los últimos años se han incorporado de manera creciente los requerimientos ambientales ya desde la etapa de los estudios de prefactibilidad, lo que ha hecho que se propongan estudios que incluyen una visión prospectiva también en lo ambiental de los análisis de prefactibilidad de una inversión (Ley; 2006) (Galindo; 2008) (González; 2006).

### ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

Para lograr eficiencia en la actividad económica se requiere entre otros factores la reducción de los costos y mayores índices de rentabilidad contra lo que conspiran el bajo aprovechamiento de la capacidad instalada y que las nuevas inversiones reporten los resultados previstos.

Un análisis técnico-económico riguroso e integral del proyecto solo es factible si los profesionales que intervienen en su elaboración poseen, además de una alta calificación en su especialidad, un conocimiento adecuado sobre todo el procedimiento de análisis y procesamiento de datos económicos.

Figura 4.1.: Síntesis del análisis de la factibilidad económica de una inversión



## **Significación del análisis económico**

El análisis técnico-económico de una actividad es un estudio complejo de cada uno de los eslabones que constituyen y contribuyen a la actividad económica-productiva, siendo una de las funciones de la organización y dirección científica de la producción.

En el proceso inversionista, el análisis técnico-económico permite determinar si la inversión proyectada es capaz de satisfacer los requerimientos que lo han originado y si es viable económicamente, valorando los resultados esperados y manifestando las diferentes posibilidades.

El análisis económico del proyecto permite valorar si ese proyecto combina de forma racional, en el tiempo y el espacio, los procesos básicos auxiliares y de servicio, lo que permitirá alcanzar una mejor utilización de todos los recursos laborales y materiales de la producción cuando se ponga en práctica el proyecto.

La calidad del análisis depende de la veracidad de la información que se emplea, del nivel de preparación de los especialistas y de los que toman las decisiones basadas en los resultados del análisis. Con el análisis económico se logra el perfeccionamiento del proyecto y una utilización más racional de los recursos disponibles, la aplicación de las vías y métodos de trabajo basados en la generalización de la experiencia de vanguardia.

El estudio de evaluación de una planta propuesta cubre un amplio rango, desde un juego de datos obtenidos en el laboratorio, en pequeña escala, hasta un diseño basado en una planta piloto en condiciones semejantes a la planta que se pretende instalar. El grado de precisión de la evaluación por tanto, varía con la cantidad de datos disponibles y con la posibilidad del proyectista de pronosticar con exactitud numerosos factores de los cuales dependerán los costos finales y la ganancia, como son la calidad del producto, la localización de la planta, la localización y precios de la materia prima, y la situación económica general, que hace que la inversión para los edificios y equipos varíe en dependencia del tipo de operación, el tamaño de la planta y el tiempo en el cual se ejecuta la inversión.

En general la mayor causa de que no exista una exacta correspondencia entre los valores estimados y los que se obtiene después de instalada la planta se pueden atribuir a las condiciones sobre las que el que estima no ejerce control o más específicamente sobre las que existe incertidumbre. Entre estos factores están el aumento del precio de los materiales, inadecuados diseños, mayor demora en la construcción que lo planificado, cambio en los intereses financieros, etc. Los resultados obtenidos muestran que es razonable utilizar una buena estimación de costos por los procedimientos establecidos,

con el conocimiento de sus limitaciones y con las modificaciones que las plantas individuales y las circunstancias requieren. En realidad, los procesos de la industria química están sujetos a muchas variaciones y no siempre están disponibles todas las informaciones para el diseño de una instalación (González, 2005).

En el análisis económico de un proyecto se incluyen:

*Costo de producción:* En el proyecto se hace un estimado del costo de producción, así como de los gastos que se producen en una fábrica cuando comienza a trabajar en la elaboración de un producto.

*Inversión:* Son los recursos que se necesitan para una planta (equipos, edificios, etc.).

*Ganancia:* Es la cantidad de valores que es capaz de reintegrar una inversión cuando la planta este en funcionamiento.

La investigación y el desarrollo de la técnica propician nuevos métodos, nuevos productos y patentes los cuales son factores vitales en el desarrollo de la economía y para poder aplicarlos de forma consecuente es necesario realizar una interpretación adecuada del análisis económico.

### **Costo de producción**

Representan los gastos por valores en que incurre la empresa en un periodo dado y que son restituidos y recuperados en la realización.

En la categoría de los costos de producción podemos distinguir cuatro niveles fundamentales:

1. Costo de la producción bruta.
2. Costo fabril de la producción mercantil.
3. Costo de la producción mercantil.
4. Costo de la producción realizada.

El costo de producción tiene como finalidad:

1. Determinar los gastos.
2. Determinar las ganancias.
3. Valorar los inventarios en proceso.
4. Establecer los precios.
5. Establecer los indicadores de planificación.
6. Analizar las alternativas de inversión.

Los cálculos de la magnitud del costo planificado se utilizan en la planificación de la ganancia de la determinación de la efectividad económica de las diferentes medidas técnico-organizativas y de la producción en su

conjunto, en la planificación interna de las empresas y en el establecimiento de los precios.

### **Composición de los gastos**

Entre los gastos que no se incluyen en los costos de producción tenemos:

- Los gastos de embalaje y transportación, compensados por el comprador por encima del precio de la empresa.
- Las multas, los recargos y compensaciones por incumplimientos de obligaciones contractuales, que se imponen y pagan por la violación de las condiciones de suministro, de transportación y otras que regulan las relaciones mutuas económicas.
- Los pagos por utilización de créditos bancarios.
- Los gastos relacionados con la satisfacción de las necesidades culturales y de la vida personal de las empresas.
- Las pérdidas por pedidos anulados.
- Las pérdidas por desastres naturales.

### **Factores que afectan los costos de producción**

Existen diferentes factores que afectan el costo como son: a) Precios de fluctuación; b) Origen de los equipos; c) Tiempo de operación, d) Razón de producción, e) Regulación gubernamental.

*Precio de fluctuación:* En la economía moderna los precios varían grandemente de un periodo a otro, los factores que provocan esta variación son considerados cuando los costos de los procesos industriales son determinados.

*Origen de los equipos:* Uno de los mayores costos lo constituyen los equipos. En muchos casos son usados tipos normalizados de tanques, reactores y otros equipos. Una importante reducción de los costos puede hacerse empleando equipos ociosos.

*Tiempo de operación y razón de producción:* Ambos están estrechamente interrelacionados. El efecto de la razón de producción y el tiempo de operación en los costos debe ser reconocido.

*Regulación gubernamental:* El estado regula con efecto directo en los costos industriales.

### **Componentes del costo**

El costo es la expresión en dinero de los insumos de la empresa en la elaboración de un producto, el conjunto de todos los gastos incurridos en la empresa para la producción incluyendo la compensación de los medios de

producción gastados, salarios, gastos de dirección, pago con servicios a otras empresas, etc.

A) *Costos directos de fabricación*: son los directamente relacionados con el proceso de producción. Dentro de estos se encuentran:

1. *Costos directos del proceso*: son los relacionados con el consumo, aquella parte del costo del producto que puede identificarse en forma directa con el mismo (materia prima, mano de obra, supervisión, requerimientos, mantenimiento, suministros, etc.). (Supervisión: personal técnico que dirige la planta. Requerimientos: consumos principales, vapor, agua tratada, electricidad, combustible, aire comprimido. Suministros: estopa, aceite, papel, reactivos menores).
2. *Cargos o costos fijos*: relación con la inversión. Depreciación, impuestos, seguros. Depreciación: (amortización), análisis de la pérdida de valor durante la vida útil de la planta.
3. *Costos exteriores*: laboratorios, empaques, seguridad de la planta, aéreas de recreación.

B) *Gastos generales*: son los superestructurales de la fábrica, incluyen gastos que se estiman de forma aproximada. Representan el costo proporcional al producto del gasto incurrido en otros departamentos de la fábrica. Incluyen: a) Personal de dirección y administración, materiales de oficina, atención a los servicios de oficina, b) Gastos de distribución, de divulgación, de dirección, c) Investigación y desarrollo: personal, equipos, recursos.

### **Estimación de los costos de producción**

Los métodos para estimar costos son muy importantes, porque son utilizados en el cálculo de la factibilidad económica de un proyecto y la toma de decisiones cuando hay varias alternativas. La predicción está basada en porcentajes o factores que son aplicables generalmente.

Los rangos estimación de los diferentes componentes costos de producción según la experiencia acumulada y condensada en la literatura especializada. (Peters y Timmerhauss, 1981) (González y Castro, 2012).

### **Inversión inicial**

La determinación de la inversión necesaria es una parte importante del proyecto de diseño de una planta. La inversión total de cualquier proceso consiste en la inversión de capital fija para equipos y facilidades en la planta, además del fondo de capital que se utiliza para el pago de salarios, preservar la materia prima y los productos y otros. Se incluyen los costos de proyecto,



terreno y todos los servicios que se necesitan para que la planta sea una realidad física.

La inversión inicial está compuesta por:

*Inversión fija:* que representa el capital necesario para tener instalados los equipos de procesos principales y auxiliares que se necesitarían para un proceso de operación completo. Se divide en inversión directa e indirecta. La directa incluye costos de instrumentos, tuberías, aislantes, etc. La indirecta incluye costos de laboratorio, gastos constructivos, ingeniería y supervisión.

*Inversión de trabajo:* son los consumos de la etapa de puesta en marcha hasta que se entrega ya funcionando. Incluye:

- a) Gastos de materias primas y suministros para crear las reservas,
- b) Reserva de productos terminados y semiterminados,
- c) Fondos monetarios en la etapa de puesta en marcha,
- d) Gastos de mano de obra y otros de tipo especial durante la puesta en marcha,
- e) Impuestos o gastos especiales durante la puesta en marcha.

### **Métodos de estimación de la inversión inicial**

Existen varios métodos para estimar una inversión, siendo el que se describe a continuación, como método A, el más detallado y aproximado (Peters y Timmerhaus, 1981) (González y Castro, 2012).

**Método A.** Se parte de una cuidadosa determinación de cada uno de los elementos que se consideran en una inversión (Peters y Timmerhaus, 1981). Los materiales necesarios son estimados por dibujos y especificaciones. Debido a que se necesita gran cantidad de datos y el largo tiempo para preparar con detalles cada una de las estimaciones, este método no es muy utilizado en los cálculos de ingeniería, sólo se utiliza en caso de un trabajo de suma importancia, que requiera mucha exactitud.

**Método B.** Otro método, que llamaremos B, es más utilizado y consiste en estimar la inversión referida al costo de adquisición de los equipos que se representan como un 100 % de referencia, a partir de esto los demás componentes representan un % de ese valor.

Los valores promedios de varios por ciento pueden ser determinados para plantas químicas típicas y estos valores aparecen en la literatura especializada (Peters y Timmerhaus, 1981) (González y Castro, 2012).

**Método C.** Factor de potencia aplicado a la capacidad en la planta. Estudia la relación de inversión inicial fija de una instalación nueva y de una similar construida previamente por una razón de potencia exponencial. La inversión

de capital nueva es igual a la vieja por la razón de capacidad de una a la otra elevada a una potencia X, éstas pueden ser tomadas como promedio entre 0.6 y 0.7 y fueron presentadas con apoyo de monografías (Lang, 1960b).

$$I_n = I_0 \cdot (R)^x \quad [4.1]$$

R: Relación de capacidades

Entre los métodos que se aplican, solos o combinados según la información existente en los diferentes casos de estudio tenemos los siguientes:

1. Catálogos: son recopilaciones de precios de los diferentes equipos (Editado por empresas).
2. Ofertas: son documentos solicitados a las empresas productoras de equipos especificando condiciones y precios (lo más utilizado pues brindan información más completa y actual).
3. Gráficos y tablas: son recopilaciones estadísticas de varios años realizadas por empresas de pronóstico y aparecen en la literatura. Tienen la ventaja de ser de relativamente fácil de utilización y localización y para una primera aproximación son suficientes.

### **La regla de la potencia de la punto seis**

Cuando es necesario estimar el costo de un equipo o su precio y no sabemos dicho valor para un tamaño particular se obtienen buenos resultados usando la relación logarítmica conocida como la regla de la potencia de la punto seis. La misma permite plantear:

$$\text{Costo equipo A} = \text{Costo equipo B} \cdot \left[ \frac{\text{Capacidad equipo A}}{\text{Capacidad equipo B}} \right]^{0,6} \quad [4.2]$$

Esta ecuación indica que al graficar la capacidad contra el precio en un papel log-log, se obtiene una recta de pendiente 0,6. Esto se usa en los gráficos para la determinación del costo de adquisición de los equipos. En la Tabla 4.1 se muestran los factores para equipos frecuentemente utilizados en la industria química y fermentativa a partir de valores que han sido reportados en la literatura especializada (Perry y Chilton, 1973); (Williams, 1960); (Peters y Timmerhaus, 1981). El factor 0,6 se usa cuando no se tiene otra información.

En cualquier caso, al ser el Método B el más utilizado y poder existir diferentes fuentes para conocer el valor de un equipo se le presta especial atención a los métodos de determinación de la adquisición de equipos.

Ya desde los años cuarenta y cincuenta del pasado siglo, se reconoce, que se pueden lograr estimados del costo de una inversión con errores de más o menos el 10 por ciento. Los por cientos de composición de los costos depende principalmente del tamaño de la instalación y del tipo de proceso, sin embargo, la suma de los por cientos de costos de equipos y tuberías de un procesos son sustancialmente independientes de estos factores y promedian sobre el 50 por ciento del costo total de la planta (Lang, 1960a).

## **Otros componentes de la inversión inicial**

### **Montaje de los equipos**

Los costos de instalación de los equipos en la industria de procesos químicos implica entre 35 y el 45 por ciento de su costo de adquisición, por ello merece especial atención. La instalación del equipo involucra el costo de mano de obra, bases, soportes plataformas, construcciones auxiliares y otros factores directamente relacionados con la instalación del equipo.

Otros componentes de los gastos en la inversión de la industria química y fermentativa , tales como los gastos de aislamientos, de instrumentación y control, de tuberías, de instalaciones eléctricas, edificios de procesos y de servicios, así como las facilidades de servicio pueden ser igualmente estimados de la literatura científica-técnica internacional (Perry y Chilton, 1973; Peters y Timmerhaus, 1981).

## **INDICES DE COSTO**

La economía mundial está influida por numerosos factores, de manera que los precios de adquisición de los equipos están sujetos a una dinámica constante, por ello muchos datos de costo útiles para el diseño preliminar estimado están dados sobre la base de condiciones que son algunas veces de tiempo pasado.

La evolución de los precios de los equipos puede ser actualizada mediante el método de los índices de costo, según la expresión:

$$\text{Valor actual} = \text{Valor conocido} \cdot \left[ \frac{\text{Índice actual}}{\text{Índice valor conocido}} \right] \quad [4.3]$$

Los índices de costos para la construcción de instalaciones de la industria química son publicados semanalmente en la revista *Chemical Engineering* y son referidos a un índice base del 100 % del periodo 1957-1959 (Peters y

Timmerhaus, 1981). Una descripción completa de este índice expuso en la referida publicación periódica (Arnold y Chilton, 1963).

Desafortunadamente, todos los índices de costo son algo artificial y el abuso de su uso puede traer grandes errores, por lo que debe procurarse estimar sobre la base de valores tan recientes como se pueda.

Se sugiere que no se utilice en la estimación en un período mayor de 10 años, sin embargo algunos trabajos de verdadero interés los han utilizado para pronosticar valores inversionistas en el futuro (Aden *et al.*, 2002) lo que sin dudas es una alternativa muy provechosa.

## GANANCIA

La ganancia obtenida por la empresa es uno de los indicadores de planificación y valoración más importante de la actividad de las empresas industriales y de las ramas de la industria, el cual caracteriza el aumento del volumen de producción, reducción del precio de costo del producto y elevación de su calidad, mejoramiento del uso de los fondos básicos y de los medios de rotación. La ganancia refleja mucho más que el precio de costo, refleja resultados de la actividad económica y de producción, ya que está vinculada directamente con la venta del producto.

*Definición:* La ganancia expresa el valor del producto adicional de la empresa en forma monetaria, es decir, es el exceso monetario que se obtiene de la diferencia entre la venta o valor de la producción y los costos de producción. Representa la eficiencia de la actividad productiva y es interés de las empresas elevar su magnitud porque de ella salen los fondos de estímulos.

La ganancia se determina a través de la expresión: Valor de la producción - Costo de producción y sus componentes son:

- **Costo de producción:** Que como ya se ha dicho es uno de los indicadores económicos más importantes de la actividad de la empresa, pues es la expresión en forma monetaria de la suma de todos los gastos incurridos en la producción, tales como: medios de trabajo, objetos de trabajo, salarios, gastos de realización de la producción, gastos en la dirección y servicio de la producción, etc. El costo de producción debe ser menor que el valor de la producción. La disminución de los costos de la empresa aumenta la ganancia y su rentabilidad.
- **Valor de la producción (ventas):** Es el valor de las unidades producidas expresado en forma monetaria. Es el producto del precio de venta por el número de unidades producidas.

En el análisis económico, la ganancia tiene diversos usos. Los dos más importantes son:

***Para el análisis de la rentabilidad:*** La rentabilidad es un indicador relativo de ganancia que permite comparar la eficiencia del trabajo de las diferentes empresas con independencia de la magnitud de la ganancia. Para aumentar la rentabilidad existen diferentes vías en las empresas:

- Aumentar la producción mediante la elevación de la calidad y la productividad.
- Disminuir el costo de producción.
- Incrementar las producciones marginales de la empresa partiendo de los recursos existentes.
- Eliminar actitudes negativas, que traen consigo el pago de multas e indemnizaciones.
- Disminuir los fondos básicos ociosos y explotación de los fondos básicos ya instalados en función de sus capacidades.
- Disminuir los medios de rotación por la aceleración de la rotación y eliminando los ociosos.

***Para la valoración económica de alternativas:*** Entre los problemas más importantes encontrados en procesos de ingeniería tenemos la selección de equipos o procesos para realizar una tarea dada y la determinación de cuando una pieza o equipo determinado ya operando debe ser reemplazada por obsolescencia (desgaste) o por alto costo de operación y de ellas se escoge casi siempre la más económica. La excepción de esta regla general ocurre cuando se consideran otros factores que no son económicos, que pueden ser evaluados en términos de pesos.

Para la selección de alternativas pueden usarse varios métodos, los cuales tienen su base en la determinación del costo, la ganancia y en si es o no factible el reemplazo.

## **ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO DEL PROYECTO**

El futuro y el horizonte económico de las inversiones difícilmente puede conocerse con precisión, pues factores externos inciden sobre sus resultados, de manera que los inversionistas de los procesos de la industria química se mueven casi siempre en el campo de la incertidumbre (Bed, 1981). Existen diferentes métodos de evaluación de proyectos de inversión, tales como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Rendimiento (TIR) que son los más utilizados en estas actividades (Oquendo y González, 2005).

Estos métodos consideran la cronología de los flujos de caja, es decir, operan con los valores actuales de los flujos generados por el proyecto a lo largo de su vida, por lo que es importante conocer los aspectos relacionados con la elaboración del flujo de caja.

### **Elaboración del flujo de caja**

Para el análisis del flujo de caja se requiere la definición de algunos conceptos de interés.

*Flujo de caja o corriente de liquidez:* El Flujo de Caja es un estado financiero que mide solamente los movimientos de efectivo, excluye las depreciaciones y amortizaciones de activos porque no constituyen una salida de dinero. Del saldo operativo acumulado, debe quedar disponible para cubrir compromisos por concepto de servicios de la deuda, impuestos, dividendos y reposición de activos.

Es importante medir las necesidades de efectivo a lo largo del año, generalmente mes a mes, en función de las fechas previstas de cobro y de pago; el grado de detalle dependerá del tipo y tamaño del proyecto y de la empresa.

*Flujo de caja para evaluación:* El objetivo de este flujo de efectivo es analizar la viabilidad financiera de la empresa o del proyecto, desde el punto de vista de la generación suficiente de dinero para cumplir sus obligaciones financieras y generar efectivo para distribuir entre los socios; además, como condición *sine qua non* para medir la bondad de la inversión. Existen cuatro elementos básicos que componen el flujo de caja:

- a) Beneficios (Ingresos de Operación).
- b) Costos (Egresos de Inversión).
- c) Costos (Egresos de Operación).
- d) Valor de Salvamento.

Es importante especificar claramente el punto de vista desde el cual se está realizando la evaluación del proyecto, si es la rentabilidad del proyecto sin financiamiento, si es para los accionistas, si es para el gobierno o para la sociedad como un todo; por lo tanto, el flujo de caja debe ser cuidadosamente definido desde cada punto de vista.

1. *Flujo de caja del proyecto sin financiamiento.* Se denomina flujo del proyecto y se supone que la totalidad de la inversión proviene de fuentes propias; puede calcularse antes de impuestos y después de impuestos.

2. *Flujo de caja del proyecto financiado.* Este flujo se diferencia del anterior, por cuanto incorpora las fuentes de financiamiento del proyecto, se registra como inversión el aporte propio y se incluye el costo de servicio de

la deuda. La depreciación y amortización no son erogaciones de efectivo, en consecuencia no se consideran en dicho flujo.

3. *Flujo de caja de los accionistas*. Este flujo permite medir la viabilidad financiera del proyecto para los accionistas, es decir, en función de los fondos que ellos aportan, siempre y cuando sea deducido el mínimo de caja necesario para operar. Este flujo está compuesto por tres elementos: Aporte Accionario (Egreso), Dividendos Recibidos (Ingresos) y Valor de Salvamento (Ingresos).

### **Utilidad Neta Actualizada**

La Utilidad Neta se define por la siguiente ecuación:

$$\text{Utilidad neta} = \text{Ventas} - \text{CV} - \text{CF} \quad [4.4]$$

Donde: Ventas: Ingresos por ventas del bien o servicio.

CV: Costos Variables.

CF: Costos Fijos.

### **Razón Costo - Beneficio**

La razón costo - beneficio es el cociente entre los beneficios actualizados y los costos actualizados. La regla de decisión será “la inversión debe hacerse si los beneficios son mayores que los costos”. Este criterio es útil para decidir hacer o no un proyecto, pero puede inducir a error cuando hay que elegir entre dos proyectos mutuamente excluyentes, ya que no existe una regla única para definir tanto el numerador como el denominador.

### **Costo anual equivalente (CAE)**

El costo anual equivalente, CAE, es un indicador utilizado para comparar proyectos que tienen beneficios iguales en el tiempo. Este indicador corresponde a la anualidad de los costos actualizados. Se entiende por anualidad a una serie de valores iguales, distribuidos a intervalos iguales de tiempo. En el cálculo de este criterio no existe una regla única respecto a los costos incluidos dentro de la actualización.

Las dos formas más utilizadas para obtener el CAE son:

I) Anualizar la inversión del proyecto dentro de su vida útil y agregar a esta anualidad los costos anuales de mantenimiento y operación.

$$\text{CAE} = I \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + G \quad [4.5]$$

Donde: I = inversión

$$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \text{ Factor de recuperación del capital}$$

G = gastos de operación y/o mantención iguales a fin de año

i = tasa de interés

n = vida útil en años

II) Anualizar la inversión y el valor actual de los costos anuales de operación y mantención.

$$CAE = [I + VAC] \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad [4.6]$$

Donde: I = Inversión

VAC = Valor actualizado de los costos de operación y mantención.

La utilización más importante de este criterio es para priorizar proyectos sociales en los cuales los beneficios no son posibles de cuantificar, como es el caso de salud, educación, alcantarillado y otros.

### Valor actual neto

El valor actual neto de un proyecto de inversión se define como el valor actual de todos los flujos de caja generados por el proyecto de inversión menos el costo inicial necesario para la realización del mismo.

Este método considera la variación de dinero en el tiempo, o sea los intereses que devengan una suma de dinero según el monto en que este disponible. Como referencia se toma generalmente el valor al tiempo presente.

El valor presente (P) de una suma futura de dinero (F) se calcula multiplicándolo por el factor de descuento ( $f_d$ ), que tiene en cuenta la tasa de interés (i) durante (n) períodos iguales de tiempo:

$$P = F * f_d \text{ con: } f_d = 1 / (1 + i)^n \quad [4.7]$$

El valor actual de un flujo anual neto ( $A_{CF}$ ) denominado flujo anual neto descontado ( $A_{DCF}$ ) es el producto:

$$A_{DCF} = A_{CF} * f_d \quad [4.8]$$

De esta forma al final de un periodo de n años se tiene:



$$(A_{DCF})_n = (A_{CF})_n / (1+i)^n \quad [4.9]$$

La sumatoria de flujos anuales netos descontados a través de los años de evaluación de la rentabilidad del proyecto se denomina como el valor actual neto del proyecto (VAN):

$$VAN = \sum_0^n (A_{DCF})_n \quad [4.10]$$

Si consideramos el costo inicial necesario para la realización del proyecto, la expresión para calcular el VAN se puede definir de la siguiente forma:

$$VAN = -A + \frac{FNC_1}{(1+k)^1} + \frac{FNC_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{FNC_n}{(1+k)^n} \quad [4.11]$$

Donde:  $A$  = Capital invertido o costo inicial.

$FNC$  = Flujo neto de caja o flujo de tesorería al final de cada periodo (año, mes, etc.).

$k$  = Tipo de actualización.

$n$  = Horizonte temporal de la inversión o vida útil estimada para la inversión.

Como se observa, el valor del VAN depende de la tasa de interés que se adopte.

El criterio de decisión de este método se basa en seleccionar aquellos proyectos con VAN positivo, ya que ello contribuye a lograr el objetivo financiero de la empresa, definido en términos de maximizar el valor de la misma, debiendo ser rechazados los proyectos con VAN negativo o nulo. Además, si la empresa dispone de un conjunto de inversiones alternativas, este método propone un orden de preferencia jerarquizando los proyectos de mayor a menor VAN.

### **El Valor Actual Neto (VAN):**

- Mide en moneda de hoy cuanto más rico es el inversor.
- Traslada todos los ingresos y egresos al momento inicial (u otro).
- La clave es la elección de la tasa de descuento.
- La tasa de descuento se obtiene de alternativas de inversión similares.
- Tiene en cuenta el efecto del tiempo sobre el valor de la moneda.
- Mejor método para seleccionar entre hacer y no hacer, para seleccionar alternativas y para hacer ranking de proyectos.

## Tasa interna de rendimiento

La tasa interna de rendimiento de un proyecto de inversión se define como aquel tipo de actualización o descuento que iguala el valor actual de los flujos netos de caja con el desembolso inicial, es decir, es la tasa de actualización o descuento que iguala a cero el valor actual neto. Dicho valor correspondería a la máxima tasa de interés a la cual podría tomarse un crédito para ejercer el proyecto. La expresión que permite el cálculo de la TIR es la siguiente:

$$A = \frac{FNC_1}{(1+r)^1} + \frac{FNC_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{FNC_n}{(1+r)^n} \quad \text{o bien}$$

$$VAN = -A + \frac{FNC_1}{(1+r)^1} + \frac{FNC_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{FNC_n}{(1+r)^n} = 0 \quad [4.12]$$

El criterio de la tasa interna de rendimiento proporciona una medida de la rentabilidad relativa bruta de un proyecto de inversión. La decisión de inversión se adoptará una vez que se haya comparado la rentabilidad relativa bruta ( $r$ ) con el costo de capital ( $k$ ), estableciéndose como regla de decisión que sólo interesará llevar a cabo aquellos proyectos cuya tasa interna de rendimiento sea superior al costo de capital. Es posible jerarquizar un conjunto de inversiones alternativas, prefiriendo aquellas cuya TIR sea mayor, siempre que se considere el mismo valor para  $k$ .

La TIR se debe calcular para la inversión total (TIRIT), para el proyecto financiado y para los accionistas.

- Tasa Interna de Retorno de la Inversión Total: Se estima en base al flujo de efectivo obtenido de las inversiones derivadas de las operaciones normales de la empresa. Puede calcularse antes de impuesto y después de impuesto.
- Tasa Interna de Retorno del Proyecto Financiado: Se calcula a partir del flujo de efectivo, incluyendo los intereses y la cuota de amortización a pagar por el préstamo solicitado y se toma en cuenta la inversión realizada con aporte de los accionistas.
- Tasa Interna de Retorno de los Accionistas: Se calcula a partir del flujo de efectivo de los accionistas, incluye aporte accionario, dividendos percibidos y valor de salvamento.

## Uso complementario de VAN y el TIR

El valor actual neto y la tasa interna de rendimiento se consideran criterios complementarios que valoran los proyectos de inversión en función de su

rentabilidad, medida tanto en términos absolutos (VAN) como en términos relativos (TIR).

La Tasa Interna de Retorno (TIR):

- Mide la rentabilidad del capital invertido, mientras está realmente invertido, tras permitir el reembolso de la inversión inicial.
- Tiene en cuenta el efecto del tiempo sobre el valor de la moneda.
- Es la tasa a la cual los ingresos actualizados son iguales a los egresos actualizados.
- Es útil para seleccionar entre hacer y no hacer.
- No se debe usar para hacer ranking de proyectos.
- No se debe usar cuando el flujo de fondos presenta cambios de signo.

Si bien ambos parámetros permiten una evaluación más ajustada de rentabilidad, el valor actual neto establece un valor más preciso de comparación. Un proyecto puede arrojar un valor de una tasa interna de retorno más alta que otro pero tener un valor actual neto inferior, debido a que los flujos de caja aportan valores diferentes de acuerdo a la secuencia en que se van produciendo. Ambos métodos presentan la incertidumbre de considerar volúmenes de venta y precios de productos proyectados a periodos futuros, que solo presentan una posibilidad de ocurrencia.

Las razones que justifican la mayor utilización del VAN frente a otros métodos, incluida la tasa interna de rendimiento (TIR), son las siguientes:

- a) El VAN mide la rentabilidad absoluta neta de un proyecto, lo que está en línea con la definición de valor de la empresa en términos absolutos.
- b) El VAN supone tasas de reinversión iguales al costo de capital, hipótesis que puede ser aceptada con más facilidad que la tasa de reinversión que supone la TIR, la cual coincide con la propia tasa interna de rentabilidad del proyecto.
- c) El VAN permite evaluar tanto proyectos simples como no simples, mientras que la TIR puede presentar inconsistencias en la evaluación de estos últimos.
- d) El VAN tiene mayor facilidad de cálculo que la TIR.

Si se pretende comparar dos proyectos en base al VAN o a la TIR es preciso tener en cuenta que deben ser homogéneos en cuanto a la duración. Además, si se trata del VAN también deben ser homogéneos en cuanto al costo inicial de la inversión. No obstante, existen procedimientos sencillos que permiten homogeneizar los proyectos antes de efectuar la aplicación del método.

### **Estimación de las variables que intervienen en el VAN y en la TIR.**

Las variables que es preciso estimar para aplicar el VAN o la TIR son, de acuerdo con las expresiones anteriores: el capital invertido o costo inicial, el horizonte temporal, los flujos netos de caja después de impuestos, así como el posible valor de reventa del equipo o valor residual al final del horizonte temporal, y la tasa de actualización.

### **Punto de equilibrio (umbral de rentabilidad)**

Es importante considerar los factores que intervienen en el proyecto, así como escenarios que nos ayuden a tomar una buena decisión para que aumenten las probabilidades de éxito. El punto de equilibrio es una técnica que va en esta dirección.

El Punto de equilibrio es:

- Nivel de producción en el que son exactamente iguales los ingresos a los costos totales.
- Es el nivel de ventas de no tener pérdidas ni utilidades.

Es una técnica útil para estudiar las relaciones entre los CF, CV y los ingresos. Tiene también una representación gráfica y matemática.

Gráficamente es la intersección de las líneas de ingresos y gastos, que en este caso se define en unidades de producción. Si se conoce la capacidad de producción es fácil determinar la tasa de utilización de la capacidad en el punto de equilibrio.

$$PE = CF / [(1-CV)/V] \quad [4.13]$$

Donde: PE: Punto de Equilibrio.

CF: Costos Fijos. Son los Gastos que no varían cuando cambia la producción, e incluye:

- Depreciación de planta y equipo.
- Sueldos y salarios de personal ejecutivo y de investigación.
- Pagos por arrendamiento en contratos de arrendamiento a largo plazo.
- Gastos de propaganda (si no dependen de la producción).

V: Ventas. Es la cantidad de productos vendidos por el precio unitario del producto.

CV: Costos Variables. Son los Gastos que varían con el nivel de producción, e incluye:

- Salarios de mano de obra directa.
- Costos de materiales.
- Sueldos y comisiones de ventas.

Se reportan diferentes métodos de solución para el cálculo del punto de equilibrio (González y Castro; 2012).

## **ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD**

Los análisis de sensibilidad se realizan usualmente en condiciones de incertidumbre y riesgo. Para realizarlo es necesario, que al formular un proyecto se entreguen los máximos antecedentes y con su ejecución es posible mostrar cómo se modifica la rentabilidad del proyecto bajo diferentes escenarios en los cuales se desenvolverá el mismo en las fases de inversión y operación. Entre los elementos de mayor importancia están: la inversión, los precios de venta unitarios, volúmenes de venta, etc. A través del Análisis de Sensibilidad el inversionista puede:

- Determinar los factores que pueden afectar los flujos de beneficios y costos.
- Analizar la rentabilidad de las alternativas ante posibles variaciones de los factores que afectan los flujos de beneficios y costos, midiendo la respuesta o el cambio en la rentabilidad de un proyecto.
- Definir los rangos de variación de los factores que el proyecto podrá enfrentar sin afectar su rentabilidad social.
- Estar alerta en propuestas muy peligrosas, cuando un pequeño cambio en elementos claves, tendrían un efecto considerable sobre la rentabilidad de estas propuestas.

El análisis de sensibilidad engloba varias técnicas: a) Análisis de sensibilidad sistemática, b) Análisis de los extremos, c) Análisis probabilística, d) Análisis de conjunto. La metodología óptima es el análisis de conjunto.

Entre los aspectos importantes a conocer en un Análisis de Sensibilidad:

- Limitación: se desconoce el nivel de probabilidad de ocurrencia.
- Es importante identificar aquellas variables que contengan incertidumbre.
- Seleccionar las variables que sean importantes en el análisis.

- El % de sensibilización de las variables es subjetivo.
- Se pueden usar distintos porcentajes de variación para cada variable.

Es importante en un estudio de sensibilidad analizar todos los aspectos que influyen en el proyecto de manera simultánea con el objeto de no menospreciar algún factor que a la larga podría influir de manera indeseable en el proyecto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilera, R.; Sepúlveda, F.

La Evaluación de proyectos de inversión para la toma de decisiones.  
Disponible en: <http://www2.udec.cl/~rea/REVISTA%20PDF/Rev64/art5rea64.pdf>. Consultado el 30 de Mayo de 2012.

Aden, A.; Ruth, M.; Ibsen, K.; Jechura, J.; Neeves, K.; Sheehan, J.; Wallace, B.; Montague, L.; Slayton, A.; Lukas, J. (2002)

Lignocellulosic biomass to ethanol process design and economics utilizing co-current dilute acid prehydrolysis and enzymatic hydrolysis for corn stover. Technical Report. NREL. USA.

Arnold, T.H.; Chilton, C.H. (1963)

New Index Shows Plant Cost Trends, *Chemical Engineering* 70(4)143.

Bed, K. (1981)

Estimating performance in uncertainty. *Chemical Engineering Progress*. July 23-39.

Galindo, P. (2008)

“Análisis de procesos en la búsqueda de tecnologías más limpias”. Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad de Camagüey.

González, E. (2005)

Conocimiento, Tecnología y Economía. En: *Vías para el diseño de nuevas instalaciones de la industria de procesos químicos, fermentativos y farmacéuticos*. Editorial Científico Técnica. La Habana.

González, N. (2008)

“Estrategia de reconversión de una instalación de la industria química”. Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

- González, E.; Castro, E. (Editores) (2012)  
“Aspectos técnico económicos de los estudios previos inversionistas para la producción de etanol de caña de azúcar en el concepto de biorefinería”. Editorial Cooperación Iberoamérica y Espacio Mediterráneo. Jaén, España. ISBN: 978-84-8439-609-3.
- González, E.; González, V.; Schuart, L. (1987)  
Aspectos técnico económicos en la Proyección de Plantas químicas. Monografía. UCLV. Cuba.
- Lang, H.J. (1960a).  
Cost Relationships in Preliminary Cost Estimation. En: *Cost Engineering in the process Industries*. McGraw-Hill Books Company.
- Lang, H.J. (1960b)  
Simplified Approach to Preliminary Cost Estimates. En: *Cost Engineering in the process Industries*. McGraw-Hill Books Company.
- Ley Chong; N. (2006)  
Contribución a los métodos de asimilar de tecnologías, aplicado a un caso de producción de biocombustibles Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- Oquendo, H.; González, E. (2005)  
Consideración de la incertidumbre en el desarrollo de un proceso inversionista. En: *Vías para el diseño de nuevas instalaciones de la industria de procesos químicos, fermentativos y farmacéuticos*. Editorial Científico Técnica. La Habana.
- Peters, M.S.; Timmerhaus, K.D. (1981)  
Plant Design and Economics for Chemical Engineers. McGraw-Hill Chemical Engineering Series. Singapore.
- Perry, R.H.; Chilton, C.H. (1973)  
Chemical Engineering Handbook. McGraw-Hill Books Company.
- Williams, R. (1960)  
Six-Ten Factor. Aids in approximating Cost. En: *Cost Engineering in the Process Industries*. McGraw-Hill Books Company.





# CAPÍTULO V

## Propuesta metodológica para evaluar la producción de biocombustibles en un territorio. El caso de Guatemala

Dr.C. Ing. Romel Alaric García Prado

Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Dr.C. Lic. Juan López Bastida

Universidad de Cienfuegos, Cuba.

Dr.Sc. Ing. Erenio Gonzalez Suarez

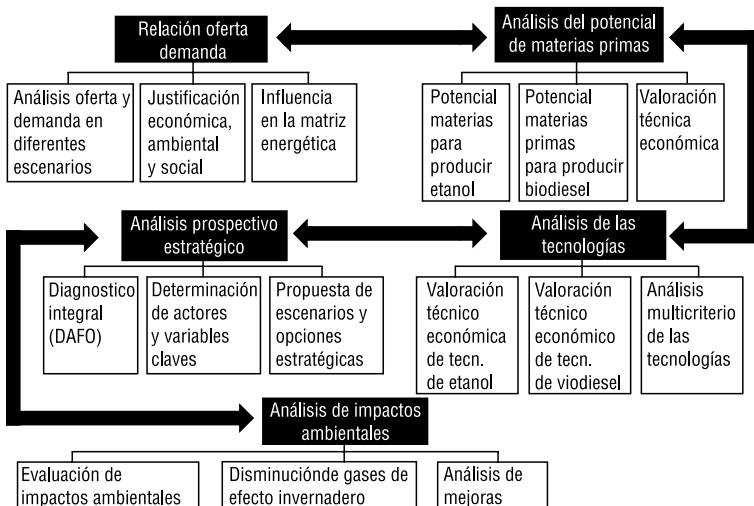
MSc. Lic. Inti González Herrera

Universidad Central de las Villas, Cuba.

### INTRODUCCIÓN

En el análisis de alternativas para la producción de biocombustibles en Guatemala se requiere aplicar una estrategia basada en análisis multilaterales que sean capaces de identificar las alternativas tecnológicas claves para el uso sustentable de los biocombustibles líquidos en Guatemala, bajo distintos escenarios y con prospectivas a corto, mediano y largo plazo.

Figura 5.1: Propuesta de estrategias para la producción sustentable de los biocombustibles en Guatemala



## ESTUDIO DE LA RELACIÓN OFERTA-DEMANDA

El estudio de la relación oferta-demanda evidenció que las actuales producciones de etanol que se hacen en Guatemala, a partir de cinco destilerías existentes, sólo con un 42% y 84% de las mismas, hubieran satisfecho los requerimientos de la totalidad del alcohol necesario para las mezclas de gasolina al 5% y 10%, respectivamente, del 2008. Según los pronósticos para el 2015, con sólo 32% y 64% de las futuras producciones se podría satisfacer esta demanda. El 80% de esta producción se exporta al extranjero, principalmente a Estados Unidos, Europa y Centroamérica para su utilización en la mayoría de los casos como biocombustibles en esos países y el 20% se utiliza en la producción nacional de bebidas alcohólicas.

Por otra parte, Guatemala satisface sólo el 9% de las necesidades de biodiesel para una posible mezcla al 5,0% con el diesel. Estas producciones se hacen, fundamentalmente, entre unas 15 y 20 medianas y pequeñas empresas, a partir de aceites usados y *Jatropha curcas*, existiendo incertidumbre en sus proyecciones futuras por falta de estudios y tecnologías eficientes que garanticen el desarrollo del país, a partir de beneficios económicos, sin dañar el ambiente. No obstante, existen en el país expectativas de producción de biodiesel, especialmente con *Jatropha curcas*.

En la Tabla 5.1 se muestran los resultados de un análisis económico a nivel de la macroeconomía del país, de la posible utilización de biocombustibles en el transporte en Guatemala.

Del análisis de los datos de la Tabla 5.1 se puede ver que de aplicarse la sustitución desde un 5 a un 10% de la gasolina, por el alcohol que actualmente se produce, traería a nivel de País un efecto económico positivo, toda vez que, además de adquirir más independencia energética, en especial de los combustibles fósiles, disminuye en forma apreciable sus importaciones y obtendría saldos positivos en su balanza de pago de varios millones de dólares por la diferencia de precios entre el etanol producido en Guatemala y los precios de la gasolina a nivel internacional. En relación a las producciones de biodiesel, se puede observar en la Tabla 5.1 que los saldos presentados son negativos o muy pequeños para obtener resultados económicos favorables, siendo necesario direccionar políticas que busquen materias primas y tecnologías más eficientes.

Se demuestra también que su uso tiene una justificación ambiental, sobre todo en la Ciudad Capital, al mejorar la combustión de los vehículos, lo que podría disminuir entre 4 y 8% de las emisiones CO<sub>2</sub> y entre un 20 y 30%, 2 y 5%, 10 y 30%, 20 y 25% de la contaminación atmosférica por CO, NO<sub>x</sub>, VOC<sub>x</sub> y smog respectivamente. También un programa sustentable de biocombustibles

en Guatemala puede generar entre 2 700 a 16 800 nuevos empleos, la mayoría en el sector rural.

**Tabla 5.1.:** Análisis económico sobre la utilización de biocombustibles en Guatemala

INDICADORES	ETANOL		BIODIESEL	
	2008 (E-5/E-10)	2015 (E-5/E-10)	2008 (E-5/E-10)	2015 (E-5/E-10)
Cantidad a sustituir (MML)	65/130	85/170	75/150	115/230
Precio de compra de gasolina-diesel (UDS/l)	0,82*	1,02**	0,91*	1,9**
Impuestos (UDS/l)	0,20*	0,20*	0,08*	0,08*
Precio de venta gasolina-diesel (UDS/l)	1,02	1,24	0,99	1,27
Total por sust. de exportaciones (MMLUSD)	53,3/106,6	86,7/173,4	74,0/149,0	136,8/173,2
% de PBI del país	2,03/4,06*	3,29/6,58*	2.82/5,64*	5.20/10,,0*
Precio de compra del biocomb. (UDS/l)	0,55*	0,60**	0,98*	1,08**
Precio total del compra biocomb. (MMUSD)	35,5/71,0	51,0/102,0	73,5/147,0	124,2/248,4
Ganancias netas del Estado (MMUSD)	17,8/25,6	35,7/71,4	-1,0/ -2,0	12,6/15,2

\*Tomado del Instituto de Estadísticas de Guatemala, 2010 y CEPAL, 2008. \*\*Tomado de Pronósticos FAO, 2009.

## **ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD DE MATERIAS PRIMAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES**

Del análisis de la Tabla 5.2 se puede decir que en el caso del etanol existe en la actualidad el potencial de tierra suficiente para satisfacer la demanda en el transporte, a precios económicamente viables y sin afectar otros usos de la tierra, partiendo del criterio de usar nacionalmente el etanol que se exporta; aunque para satisfacer futuras demandas y aumentar la ecoeficiencia de estas producciones se hace necesario introducir nuevas tecnologías, que propicien la utilización de otras materias primas derivadas de la producción de azúcar para la producción de alcohol, como otros sustratos azucarados y bagazo, buscar el aprovechamiento óptimo de los coproductos, valorando la integración productiva entre todos los ingenios y destilerías del país. En el caso de los biodiesel se considera que existe un potencial de materia prima que aunque no es suficiente para satisfacer todas las necesidades del país, resulta atractivo su aprovechamiento en una mediana escala, en especial a partir de aceites usados, jatropha y cachaza, siendo necesario hacer estudios agrícolas y tecnológicos que garanticen la asimilación y adaptación de las mejores tecnologías con una visión integral económica, ambiental y social. Con respecto a la palma africana se descarta su uso por el fuerte impacto ambiental que producen estas producciones al utilizar tierras agrícolas o boscosas de Guatemala para su producción.

**Tabla 5.2:** Resumen: potencialidades de materia prima en Guatemala para producir biocombustibles

	% de Satisfacción de las Demandas		Costo de Producción para cultivar 1 ha caña o jatropha
	2008 (E-5/E-10)	2015 (E-5/E-10)	
Caña de azúcar (1)	363/181	266/133	21USD/ha = 12 USD/ha (cosecha y transporte) + 9 USD/ha (cultivo) (5)
Bagazo 10% (3)	87- 43	6 - 33	
Rac 25% (3)	180 - 90	135 - 72	
Aceites u. (100%)	0,6 - 0,3	0,5 - 0,25	
Jatropha (2)	23 - 46	21 - 42	1 150 USD/ha + costo adicional primeros 3 años de 1 245 USD/ha (6)
Cachaza (4)	41 - 21	26 - 13	
Palma africana	No se consideró por su alto impacto ambiental		

(1) Se asume el costo de producción de la caña en Guatemala de 93,71 ton caña/ha, 6 L alcohol/ton caña. Máx. área disponible 400 000 ha). (CEPAL, 2004; SEMARNAT, 2008; Mata Sandoval, 2007; García Zamora, 2010)

(2) JATROPHA Cantidad de tierra disponible 5000 ha, 2400 L biodiesel/ha. (Stullgart, 2009)

(3) BAGAZA Y RAC: 115 L alcohol / ton. (González Suarez, 2009)

(4) CACHAZA: 54 L /ton cachaza (Villanuevas 2007)

(5) (CEPAL, 2004; SEMARNAT, 2008; Mata Sandoval, 2007 y García Zamora M, 2010)

(6) (CEPAL, 2006; ECOSOC, 2008)

## ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS

La Tabla 5.3 se obtuvo a partir de criterios de expertos una evaluación de los 16 principales criterios que debían tener como condicionantes las tecnologías para producir biocombustibles de forma ecoeficiente y sustentable (Borroto, 2007); (González, 2008 y 2009); (CEPAL, 2004); (SEMARNAT, 2008).

El resultado mostró que las tecnologías, a partir de la industria azucarera potencian la vinculación de procesos y el aprovechamiento de los coproductos, son las que obtienen mayor puntuación. Las más bajas puntuaciones fueron en la no existencia de una legislación adecuada que impulse estas tecnologías, el impacto ambiental que pudieran producir y la falta de experiencia en alguna de las nuevas tecnologías.

Los criterios 1, 2, 4, 7 y 13 inciden en la factibilidad económica; los criterios 3, 5, 6, 15 y 16 inciden en la competitividad tecnológica y de Asimilación de tecnología; los criterios 8, 9,10 y 12 inciden en la sustentabilidad ambiental y energética y los criterios 11 y 14 inciden en el aspecto social.

**Tabla 5.3.:** Análisis multicriterio de las tecnologías posibles a utilizar para producir biocombustibles en Guatemala

Aspectos a evaluar	Tecnología						
	A	B	C	D	E	F	G
01. Costo de la materia prima	4	4	5	5	3	5	3
02. Materia Prima: potencialidad	4	5	4	1	3	3	1
03. Potencialidades industriales	5	4	4	4	3	4	4
04. Costo de inversión necesaria	5	4	3	5	3	3	3
05. Experiencia en la Tecnología	5	4	2	4	3	2	3
06. Posibilidades de Cooperación Internacional	5	5	5	2	4	5	4
07. Existencia de mercado	5	5	5	4	4	4	4
08. Impacto ambiental	3	3	3	5	3	5	0
09. Posibilidad de coproductos	4	5	5	3	5	5	4
10. Posibilidad de integración de procesos	4	5	5	2	3	5	3
11. Aceptación Social	4	4	4	4	4	4	1
12. Balance Energético	4	4	5	4	4	4	4
13. Precio Competitivo	5	5	3	5	3	3	2
14. Garantía de no influir en la seguridad alimentaria	4	4	5	5	4	5	0
15. Estado de desarrollo	5	4	3	4	3	3	3
16. Legislación adecuada	3	3	3	3	3	3	2

A. Alcohol a partir de mieles finales

B. Alcohol a partir de diferentes flujos industriales

C. Alcohol a partir de bagazo y RAC

D. Biodiesel a partir de aceites usados

E. Biodiesel a partir de jatropha curcas

F. Biodiesel a partir de cachaza

G. Biodiesel a partir de palma africana

En la Tabla 5.4 se muestra un análisis técnico-económico comparativo de las diferentes tecnologías de producción de biodiesel con posibilidades de introducción en Guatemala. Del análisis de los datos de esta Tabla puede verse la necesidad de diversificar y combinar las tecnologías de producción de biodiesel con las de los otros subproductos, ya que a partir de la venta de biodiesel solamente, no llegan a ser rentables estas producciones.

**Tabla 5.4:** Análisis técnico económico de la producción de biodiesel en Guatemala

Cantidad y costo para producir 100 hl de biodiesel bajo diferentes tecnologías			
	Aceites usados	Jatropha curcas	Cachaza
Materia prima base (ton)	8.96 (Aceites)	40 (Semilla seca)	185 (Cachaza)
Coproductos (ton)			
Glicerina	1,12	1,88	
Alcoholes de alto peso molecular			0,821
Fertilizantes		28 100	
Costo de prod (usd)	5 300	9 800	
Usd venta biodiesel	10 000	10 000	10 000
Glicerina como combustible	1 112	1 888	
Usd venta del coproducto		4 215*	16 420**
Ganancias al año.	9 572	6 306	6 420
Costo de la inversión (Usd por l biodiesel al año).	2	507	93

\*Fertilizantes \*\*Alcoholes de alto peso molecular

# ANÁLISIS PROSPECTIVO ESTRATÉGICO

En junio del 2009, fue realizado con 25 expertos de Guatemala un análisis prospectivo estratégico de la producción de biocombustibles en Guatemala, basado en la metodología de Michel Godet (Godet M. 2002); (Langue F. 2005).

El análisis de la matriz ubicó la situación evaluada en el tercer cuadrante, o sea la posición estratégica es ADAPTATIVA, pero con un elevado peso en la posición del primer cuadrante, por lo que se comparte esta posición estratégica con la OFENSIVA.

La ubicación estratégica en una **posición adaptativa**, lo hace preciso enfrentar las debilidades presentes que impiden aprovechar las oportunidades. En esta situación el **problema estratégico** específico se formula de la siguiente manera: **Si** se enfrenta prioritariamente la solución de las debilidades, ausencia de una política estatal de biocombustibles, falta de financiamiento para la I+D+It y ausencia de acciones coordinadoras que consideren los aspectos sociales, entonces se podrá aprovechar la creciente importancia y necesidad del uso de energías renovables, la presencia de financiamiento externo y de potenciales compensaciones incentivos. Los expertos también identificaron y clasificaron los siguientes actores y variables que pueden influir en la introducción de las tecnologías de biocombustibles en Guatemala.

DAFO	Oportunidades					Amenazas				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Fortalezas	1									
	2									
	3		205 impactos					190 impactos		
	4									
	5									
Debilidades	1									
	2									
	3		208 impactos					174 impactos		
	4									
	5									

Actores Claves y su clasificación: (D) dominante; (M) dominado; (E) de enlace; (A) autónomo

- 1.- Congreso de la República. (A)
- 2.- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (M)

- 3.- Ministerio de Energía y Minas. (D)
- 4.- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (M)
- 5.- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (E)
- 6.- Ministerio de Finanzas Públicas. (E)
- 7.- Ministerio de Economía. (E)
- 8.- Cooperación Internacional. (D)
- 9.- Sociedad Civil. (E)
- 10.- Sector hidrocarburo (D)
- 11.- Sector Financiero (A)
- 12.- Sector Académico (D)
- 13.- Iniciativa Privada. (E)
- 14.- Cooperación Nacional (E)
- 15.- Trabajadores. (E)
- 16.- Ambientalistas. (A)

*Variables claves y su clasificación: (M) motriz, (D) dependiente, (E) enlace, (F) fuerte, (P) pelotón*

- 1.- Costo. (E)
- 2.- Disponibilidad de materias primas. (P)
- 3.- Otorgamiento de créditos ambientales. (P)
- 4.- Demanda. (P)
- 5.- Capacitación técnica y tecnológica. (D)
- 6.- Responsabilidad social. (E)
- 7.- Concertación entre actores. (E)
- 8.- Producción. (E)
- 9.- Contaminación. (M)
- 10.- Tecnología. (F)
- 11.- Precio. (E)
- 12.- Calidad. (E)
- 13.- Integración. (P)
- 14.- Educación y concientización (D)

### **Análisis del ciclo de vida**

Para el análisis de los impactos ambientales de los biocombustibles, se propuso su valoración mediante su análisis de ciclo de vida basado en las normas **ISO 14 000**. Como se conoce, una de las aplicaciones del Análisis de Ciclo de Vida ha sido una metodología aplicada al diseño o rediseño de productos, que incluso ha servido como base para el desarrollo de nuevos productos, a través del Ecodiseño. Este último ofrece una estructura práctica

para identificar, desarrollar e implementar mejoramientos competitivos en los productos, teniendo en cuenta las prioridades ambientales y el fortalecimiento de las oportunidades en la empresa.

Para el procesamiento de la información fue utilizado el software **SimaPro 7.1**, evaluando los impactos y daños ambientales mediante la metodología **Impact 2+ NC-ISO 14 043: 2001**, (Pre Consultants. Paquetes de programas SimaPro7 versión 7.1 2004; <http://www.pre.nl>. Países Bajos).

Al comparar los impactos ambientales de los biocombustibles estudiados agrupados por categoría de daño, se encontró que las producciones de alcoholes tradicionales a partir de la melaza presentó la mayor fuente de contaminación; y comparando la producción de caña, la producción de melaza y la producción de alcohol se encontró que esta última presentó mayor contaminación, producto de las materias primas y la emisión de CO<sub>2</sub> de la fermentación. Por otra parte, la mayor categoría afectada en las 3 producciones anteriores son los recursos por el aporte de las diferentes materias primas utilizadas desde el proceso de cultivo de la caña hasta la producción de alcohol y melaza. En relación al alcohol producido por bagazo, aumentaron apreciablemente los impactos ambientales, en especial los recursos por la necesidad de una mayor cantidad de materias primas para producir el alcohol, aunque hay que tener en cuenta en el análisis que no estarían presentes los impactos producidos por la caña de azúcar y la melaza, al ser el bagazo un subproducto de la misma.

En relación a las producciones de biodiesel, en sentido general se apreció un mayor valor de los impactos producidos en la mayoría de los casos, en especial la palma africana, siendo las categorías más afectadas los recursos y el cambio climático por las cantidades mayores de materias primas y energía fósil que llevan estos procesos, en comparación al alcohol.

Se determinó, para cada tecnología, las posibles emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de la producción de los biocombustibles estudiados y se compararon con el efecto producido por la gasolina o el diesel en esta misma situación, mostrando que todas las variantes tienen un aceptable comportamiento, en relación con la actividad para la que fueron concebidos, disminuyendo las emisiones de efecto invernadero del 95 % al 50 %, coincidiendo con los reportes de la literatura planteados (FAO, 2009); (Hernández G., 2008); (EPA, 2009).

A partir de los resultados obtenidos se propone un plan de mejora para mitigar estos impactos.



## CONCLUSIONES

1. Una estrategia para la introducción sustentable de los biocombustibles en Guatemala es viable con fundamento en las estrategias de procesos, constando la misma de procedimientos que determinan la relación oferta-demanda, los potenciales de materias primas, un estudio prospectivo y la evaluación de tecnologías que incluyen la propuesta de un diagrama heurístico para la solución del problema y la valoración de los impactos ambientales, a través de la determinación de su ciclo de vida.
2. La introducción de biocombustibles en el sector transporte de Guatemala, impacta positivamente la matriz energética, disminuyendo la dependencia de combustibles fósiles y reduce los niveles de contaminación ambiental atmosférica, en especial en la ciudad de Guatemala.
3. Las tecnologías, a partir de la industria azucarera y que potencian estrategias de procesos multilaterales y con aprovechamiento de los coproductos y residuos, son las mejores evaluadas en el análisis multicriterio presentado. Por esa razón, se propone un procedimiento para la asimilación de estas tecnologías que determinan las posibilidades reales del éxito de una inversión, desde los ángulos tecnológico, económico y ambiental, lo cual es factible de aplicar en Guatemala, aprovechando la colaboración Sur-Sur.
4. El análisis prospectivo sobre la introducción de los biocombustibles en Guatemala demostró su ubicación en una posición estratégica adaptativa y ofensiva, siendo necesario desplegar estrategias que potencien el talento humano existente en el país, la presencia de variedades de materias primas, la capacidad instalada y la demanda del mercado interno, y que brinden solución a las debilidades centradas en la ausencia de una política estatal, la falta de financiamiento para la Investigación-Desarrollo-Innovación y la ausencia de acciones coordinadoras.
5. Se demuestra que los mayores impactos ambientales se centran en las tecnologías del biodiesel obtenido de palma africana y en las categorías de daño a recursos naturales e incremento del Cambio Climático. Un análisis de la disminución del efecto invernadero de estas tecnologías valoró reducciones entre el 50 y 95 %, en comparación con los combustibles fósiles que sustituyen, siendo los valores más bajos los de las producciones a partir de residuales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borroto Bermúdez, A. (2007)  
Planificación energética en asentamientos rurales. Universidad de Guadalajara; México.
- González Suarez, E. Editor (2008)  
Estrategias de procesos de la industria química y fermentativa en las nuevas tecnologías para la obtención de biocombustibles/Publicación Red CYTED 3060279: Nuevas tecnologías para la obtención de biocombustibles; Cuba.
- González Suarez, E. Editor (2009)  
Asimilación (Adopción) y reconversión de tecnologías para la producción de biocombustibles/ Publicación Red CYTED 3060279: Nuevas tecnologías para la obtención de biocombustibles.
- CEPAL/Gobierno de Italia (2009)  
Costos y precios para etanol combustible en América Central/Proyecto Uso Sustentable de Hidrocarburos. República de Guatemala.
- SEMARNAT. (2008)  
Análisis integrado de las tecnológicas, el ciclo de vida y la sustentabilidad de las opciones y escenarios para el aprovechamiento de la biomasa en México/ Reporte final.- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales; México.
- Godet, Michel (2002)  
La Caja de Herramientas de la Prospectiva Estratégica/ <http://www.prospektiker.es/documentos/Caja2000.pdf>.- Francia.
- Langue Francais. Éditeur (2005)  
Manuel de Prospective Stratégique/ <http://www.amazon.fr/exec/obidos/ASIN/210003118X>.- Francia.
- FAO (2009)  
Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades/ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma; Italia. FAO, 2009.
- Hernández, G. (2008)  
Biocombustibles y ciclo de vida/ Informe Técnico.-Centro Mario Molina; México. Hernández G., 2008.
- EPA (2009)  
Lifecycle Analysis of Greenhouse Gas Emissions from Renewable Fuels/ United States Environment Protection Agency. EEUU.

## CAPÍTULO VI

### **Posibilidades de los residuales de destilerías de etanol como medio de crecimiento de microalgas con vistas a la producción de biocombustibles y coproductos**

*MSc. Ing. Leyanis Rodríguez Rodríguez*

*MSc. Ing. Ana Celia de Armas Martínez*

*Dr.Sc. Ing. Erenio González Suarez*

Universidad Central de Las Villas, Cuba

*MSc. Ing. Viviana Quintero Dallas*

*Dr. Sc. Ing. Vyatcheslav Kafarov*

Universidad Industrial de Santander, Colombia

## **INTRODUCCIÓN**

El ser humano, como todo ser vivo, depende del entorno para obtener energía. Actualmente, los combustibles fósiles y la energía nuclear proporcionan cada año alrededor del 90% de la energía que se utiliza en el mundo. Pero las reservas de combustibles fósiles son limitadas y, en mayor o menor grado, son contaminantes.

Desde mediados del siglo XX, con el crecimiento de la población, la extensión de la producción industrial y el uso masivo de tecnologías, comenzó a crecer la preocupación por el agotamiento de las reservas de petróleo y el deterioro ambiental.

Desde entonces, se impulsó el desarrollo de energías alternativas basadas en recursos naturales renovables y menos contaminantes.

Dentro de estos tipos de energía se encuentran: la solar, la eólica (viento), la hidráulica, la biomasa (materia orgánica), la geotérmica (calor de las capas internas de la tierra) y la energía oceánica, principalmente.

La biomasa, es el término genérico que se refiere al conjunto de la materia biológicamente renovable (árboles, cultivos), de la que se puede obtener biocombustibles como el biodiesel y el bioetanol.

Entre las energías alternativas, el bioetanol ha tenido una amplia participación debido a ser un biocombustible líquido que es empleado en los vehículos automotor, sin embargo, su producción ha tenido como inconveniente el alto volumen de producción de residuos líquidos que se generan como resultado de los procesos transformativos que en su obtención ocurren. Por lo anterior

grandes esfuerzos se han hecho para mitigar el impacto contaminante de sus producciones, sin embargo, una solución definitiva no siempre se ha logrado.

El surgimiento del concepto de biorefinería ha abierto una posibilidad de concebir las producciones de etanol acompañadas de coproductos químicos de alto valor agregado, integrando a las producciones de bioetanol otras producciones con apoyo de nuevas tecnologías y de agentes que contribuyan a transformar los compuestos presentes en las corrientes intermedias o en los residuos de los proceso en productos de interés comercial.

Un ejemplo de ello lo constituyen las vinazas de la destilería que en los últimos años han sido objeto de atención como elemento que facilitan el crecimiento de las microalgas.

## **POSIBILIDADES DE LAS MICROALGAS**

Las microalgas han ganado relevancia en las últimas dos décadas debido al amplio rango de aplicaciones derivado de su uso, ya que, además de dar solución a problemas ambientales, dada su utilización en el tratamiento de aguas residuales y en la fijación de CO<sub>2</sub>, constituyen una fuente prometedora de productos de alto valor agregado como:

- alimentos para humanos
- alimentos para animales,
- biocombustibles,
- medicamentos, y
- cosméticos.

De especial interés es el subconjunto de microalgas con alto contenido lipídico, que pueden ser usadas para producir biocombustibles. Combinando la necesidad de la industria alcoholera de mitigar la emisión de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera y disminuir la carga contaminante de los grandes volúmenes de vinazas generados como residuales de su producción.

Las microalgas están entre los sistemas biológicos más eficientes en cuanto a la transformación de la energía solar en compuestos orgánicos. Los estudios sobre la posibilidad de producir biocombustibles a partir de ellas proliferan en distintos países, dada la abundancia y enorme biodiversidad de las mismas. Se ha estimado que existen entre medio millón y un millón de especies.

En consecuencia, desde el punto de vista biotecnológico la propia naturaleza ofrece un “mercado de microalgas” de dimensiones extraordinarias, a la vez que impone un gran desafío tecnológico en torno a la producción y explotación

de microalgas, por lo que su desarrollo permitirá que los productos resultantes de su transformación puedan competir en el mercado.

## **POSIBILIDADES TECNOLÓGICAS DE CRECIMIENTO DE LAS MICROALGAS**

Sin embargo, los procesos tecnológicos son muy caros y se necesita optimizar y abaratar los procesos de producción. Ese es el reto que se han marcado muchos de los científicos que en la actualidad trabajan en la explotación de las posibilidades de las microalgas, especies vegetales de origen acuático que se postulan como una de las materias primas más aprovechables y abundantes en la naturaleza, que abren una nueva vía en el desarrollo sostenible de la sociedad actual.

El cultivo de microalgas, requiere el dióxido de carbono del aire y los nutrientes del agua para realizar el proceso de fotosíntesis, por lo que considerando que en la producción de alcohol etílico en una destilería de etanol se generan grandes volúmenes de residuales líquidos con un alto contenido de nutrientes y también de residuales gaseosos como el CO<sub>2</sub>, se ha considerado la producción de biomasa microalgal para la obtención de productos de alto valor agregado y a su vez disminuir la carga contaminante de los residuales de destilerías.

Las microalgas son organismos fotosintéticos microscópicos que al igual que las plantas contienen clorofila por lo que realizan el proceso de fotosíntesis, mediante el que absorben dióxido de carbono del aire y nutrientes del agua, lo que les permite acumular aceite en su interior y liberar oxígeno a la atmósfera. La simpleza de su estructura celular, combinada con su capacidad para crecer en agua, las convierte en eficientes fábricas capaces de tomar energía solar y carbono y transformarlas en energía líquida; aceite de algas, que mediante otros procesos es convertido en biocombustibles.

La eficiencia de su fotosíntesis y la velocidad con que se reproducen, colocan a las algas como la primera alternativa que logra superar el principal obstáculo para el remplazo del petróleo: la limitada cantidad de tierras fértiles disponibles.

Por otra parte (Ramón J.M., 2009) y (Santos C. A., *et al.*, 2011) coinciden en afirmar que las microalgas con el debido proceso, pueden adaptarse a distintos ambientes, no utilizan tierras fértiles, ni agua potable, su cultivo no es estacionario sino que puede cultivarse diariamente y ofrecen rendimientos alentadores en cuanto a aceite de microalgas, estimados en 5,8 l/m<sup>2</sup>, el cual es nueve veces superior al mejor rendimiento obtenido a partir de plantas (palma

0,595 l/m<sup>2</sup>) corroborando lo abordado por (Chisti Y., 2007, 2008). El hecho de no utilizar tierra intensivamente, hace posible que los biocombustibles no incentiven la deforestación para expandir la frontera agrícola y, principalmente que no generen presión sobre la demanda mundial de alimentos que sigue produciendo subidas de precio.

Según (Kumar A., *et al.*, 2010), las microalgas, *Cyanophyceae* (algas verde-azules), *Chlorophyceae* (algas verdes), *Bacillariophyceae* (incluyendo las diatomeas) y *Chrysophyceae* (incluyendo las algas doradas) son las más citadas por presentar características atractivas como buen rendimiento y capacidad de fijación de CO<sub>2</sub>; además de su utilización en el tratamiento de aguas residuales y síntesis de lípidos para la producción de biocombustibles.

Con este objetivo y teniendo en cuenta una de las problemáticas actuales de la industria alcoholera con la disposición final de los subproductos que resultan del proceso se puede decir que, tanto la vinaza como el CO<sub>2</sub> producido en la fermentación tienen potencial para ser utilizados como fuente de nutrientes para el cultivo de microorganismos fotosintéticos, logrando reducir los costos de producción debido al uso de un residuo orgánico como una fuente barata de nutriente. (Barrocal V.M., *et al.*, 2010). Ambos residuales más que una amenaza, constituyen una oportunidad para el cultivo de microalgas a la vez que disminuyen la carga contaminante de los residuales líquidos de la destilería y se mitiga la emisión de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera, por lo que se puede considerar la producción de biomasa microalgal como una alternativa muy atractiva desde el punto de vista tecnológico.

Los biocombustibles de tercera generación son llamados también biocombustibles avanzados debido a las materias primas y a los procesos tecnológicos utilizados para su producción, siendo las microalgas una materia prima promisoría para la producción de los mismos.

El uso de las microalgas como fuente de materia prima tiene sus ventajas en comparación con otras fuentes ya que son microorganismos fotosintéticos, unicelulares, se localizan en diversos ambientes bajo un amplio rango de temperaturas, pH y disponibilidad de nutrientes, poseen una velocidad de crecimiento entre 20 y 30 veces mayor que otras fuentes de biocombustibles, crecen durante todo el año en climas cálidos, tropicales y subtropicales y además poseen una mayor productividad que los cultivos terrestres y pueden cosecharse los 365 días del año, por lo cual tienen el potencial de formar una cadena de producción de biocombustibles en continuo, al igual que las refinerías tradicionales de petróleo.

## LA INTENSIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MICROALGAS

Una vez que el interés biotecnológico de muchos de estos microorganismos autótrofos ha sido reconocido, el siguiente paso es el desarrollo de bioprocesos que vinculen los descubrimientos científicos a las necesidades industriales. El diseño y la optimización de biorreactores adecuados para cultivar estos microorganismos es una parte esencial de esta estrategia.

Existen dos sistemas básicos para el cultivo de microorganismos fotoautotróficos (Grobbelaar JU., 2000):

- a) Los sistemas abiertos en los que el cultivo está expuesto a la atmósfera, que presentan la ventaja de ser de construcción fácil y barata, sin embargo presentan las desventajas que tienen dificultad para el control de la luz y la temperatura y pueden contaminarse más fácilmente.
- b) Los sistemas cerrados, comúnmente denominados fotobiorreactores (FBR) en los que el cultivo tiene poco o ningún contacto con la atmósfera. (Barbosa M.J., *et al.*, 2003; Contreras-Flores C., *et al.*, 2003). Tienen menor contaminación mejor uso de la luz, CO<sub>2</sub> y agua, mayor control del cultivo y mayor productividad con la desventaja de que son más costosos, se acumula el CO<sub>2</sub> y los microorganismos pueden sufrir daño por estrés celular.

El éxito de la producción de biomasa y compuestos químicos por las microalgas dependen en gran medida del diseño de los fotobiorreactores. Un fotobiorreactor es un dispositivo técnico cerrado diseñado para producir microorganismos fotosintéticos en colaboración con los requerimientos óptimos de luz, mezclado, transferencia de momento, masa y calor (Pulz, O.; 2001). Se refiere a un sistema cerrado, ya que este se encuentra asilado del medio ambiente sin intercambio de gases y fuentes de contaminación externas. Los FBR presentan mayores ventajas que los sistemas abiertos siendo el control de las condiciones de cultivo la de mayor importancia. Considerando también los factores económicos, los FBR son hoy en día reconocidos por su alta producción de biomasa y bajo costo comparados a los sistemas abiertos (Chisti, Y.; 2007). El crecimiento de las algas en un fotobiorreactor reduce el riesgo de contaminación, mejora la reproducibilidad de las condiciones de cultivo, brinda un mayor control de las condiciones hidrodinámicas y temperatura, además de permitir un diseño técnico apropiado (Singh RN., Sharma, S.; 2012). Este diseño puede ser plano o tubular y adoptar una gran variedad de configuraciones y modos de operación, además de ofrecer una mayor productividad y calidad de la biomasa generada. Sin embargo, a pesar de la viabilidad de los FBR, los cuales han estado bajo condiciones de desarrollo

durante la década pasada, solo algunos pueden ser utilizados para la producción de biomasa y metabolitos de interés. Por ello, se presenta de manera crítica la información acerca de los distintos diseños de fotobiorreactores, así como de los factores de cultivo que afectan a las microalgas.

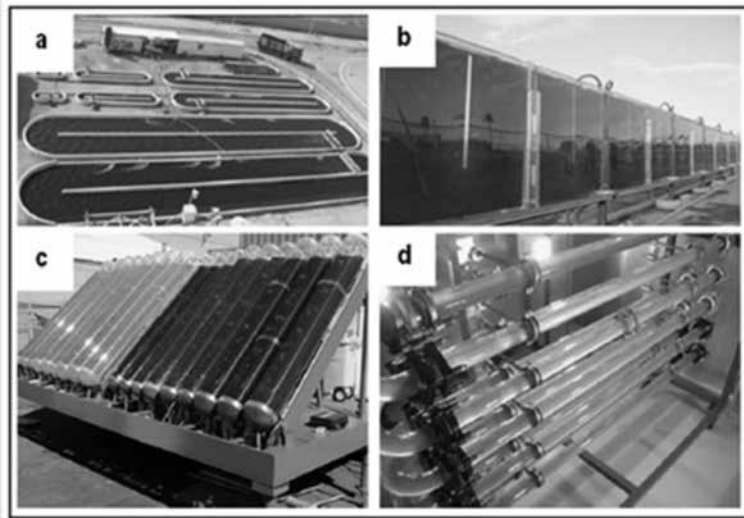
Existen diversas variables que afectan el crecimiento y la acumulación de metabolitos en las microalgas. Es importante determinar las condiciones óptimas de crecimiento, debido a que se conoce que la tasa de rendimiento (biomasa) para un mismo género de microalgas puede ser diferente de acuerdo a su lugar de origen (Andersen, R.; 2005). A continuación se presentan los distintos factores que afectan mayormente los cultivos de microalgas y sus efectos e interacciones en estos microorganismos en general.

- **La intensidad de la luz** es uno de los factores más importantes para el crecimiento fotosintético de las microalgas. Los sistemas de cultivos de microalgas pueden ser iluminados por luz artificial, luz solar o ambas. Entre los sistemas de cultivo de algas con iluminación natural con grandes áreas de iluminación se encuentran los estanques abiertos, los llamados platos planos o flat plates, los airlift tubulares o de tipo serpentin y los de tipo inclinado, entre otros (Chisti, Y.; 2007). Los sistemas de biorreactores empleados a nivel de laboratorio son iluminados interna o externamente por luz artificial con lámparas fluorescentes y diodos emisores de luz (light emitting diodes, LED) entre otros (Figura 6.1).

Para que la luz artificial sea de utilidad en el proceso fotosintético de las microalgas, los fotones generados deben encontrarse a una longitud de onda de entre los 600 y 700 nm. La tasa específica de crecimiento de las microalgas depende de la intensidad de la luz. El crecimiento de las microalgas se incrementa conforme la intensidad de luz aumenta. Cuando la tasa de crecimiento llega a su punto máximo, ésta disminuye con el incremento de la intensidad de la luz debido a la fotoinhibición (Bohne F., Linden H., 2002). Este patrón de crecimiento en relación con la intensidad de la luz se observa en la mayoría las especies de microalgas (Fábregas J., *et al.*, 1998). Se ha reportado que la producción y acumulación de metabolitos de interés comercial se ve afectada por la radiación de luz blanca en algas, hongos y bacterias (Martin, FPH.; 2010). Sin embargo, la intensidad y el régimen de la iluminación varían con el género de microalga.

- **La fotoinhibición** es un proceso dependiente del tiempo, en el cual ocurre un daño irreversible pocos minutos después de iniciado el estrés por luz, con un daño que excede el 50% después de 10 o 20 minutos (Pulz, O.; 2001). Sin embargo, se han encontrado pocas referencias disponibles acerca de la fotoadaptación, la inhibición por luz o efectos de saturación en fotobiorreactores.





**Figura 6.1.:** Fotobiorreactores utilizados en el cultivo de microalgas: (a) estanque abierto, (b) placa delgada, (c) tubular inclinado y (d) continuo horizontal (Bitog *et al.*, 2009)

• **Nutrientes:** El  $\text{CO}_2$  es la fuente de carbono más utilizada en cultivos de microalgas. Al consumirse el carbono, el oxígeno es producido por fotólisis del agua y este es diluido en el medio de cultivo (Molina GE., *et al.*, 1999). Puesto que las microalgas pueden vivir bajo altas concentraciones de dióxido de carbono, los gases de invernadero, el dióxido de nitrógeno y contaminantes en la atmósfera (a partir de diversas fuentes) pueden ser nutrimentos suficientes para las microalgas (Van Beilen, J.B., 2010). En la Tabla 6.1., se muestra la tolerancia al  $\text{CO}_2$  por diferentes especies de microalgas, en donde se observa que algunas especies como *Tetraselmis sp.*, *Chlamydomonas sp.*, y *Nannochloris sp.* necesitan una cantidad menor al 15% de  $\text{CO}_2$  para su crecimiento, mientras que especies como *Scenedesmus sp.* y *Cyanidium caldarium* toleran concentraciones desde un 80 hasta un 100% respectivamente (Ono E., Cuello JL., 2003).

**Tabla 6.1.:** Concentración de  $\text{CO}_2$  tolerable para diversas especies de microalgas

Especie	Tolerancia máxima de concentración de $\text{CO}_2$
<i>Cyanidium caldarium</i>	1000%
<i>Scenedesmus sp.</i>	80%
<i>Chlorococcus elongatus</i>	60%

<i>Synechococcus elongatus</i>	60%
<i>Euglena gracilis</i>	45%
<i>Chlorella sp.</i>	40%
Eudorina	20%
Dunaliella tertiolecta	15%
Nannochloris sp.	15%
Chlamydomonas sp.	15%
Tetraselmis sp.	14%

• **La temperatura** es uno de los factores ambientales más importantes que afectan el crecimiento y desarrollo de los organismos vivos. El crecimiento de algas depende también de la temperatura, por lo que se requiere conocer un valor óptimo para una tasa máxima de crecimiento. Los sistemas fotosintéticos siempre generan calor a causa de la ineficiencia de la fotosíntesis de convertir la energía luminosa a energía química (Bhosale, P., 2004). La conversión teórica de la luz roja en energía química es de un 31% y el 69% restante se pierde como calor. Por ello, la cantidad de enfriamiento en un sistema de cultivo dependerá de la intensidad de la luz y de la concentración celular, sin embargo, el enfriamiento del reactor es sólo utilizado en sistemas cerrados. (Andersen, 2005). La temperatura también es importante para la disociación de las moléculas de carbono, haciéndolo disponible para la fotosíntesis (Kommareddy AR., Anderson GA. 2003) La temperatura influye en la respiración y fotorespiración de manera más marcada que en la fotosíntesis. Sin embargo, si el CO<sub>2</sub> o la luz es un factor limitante para la fotosíntesis, la influencia de la temperatura resulta insignificante (Pulz, O., 2001). La temperatura óptima para el cultivo de microalgas se encuentra generalmente entre los 20 y 24 °C, no obstante, estas pueden variar dependiendo del medio de cultivo, la especie y la cepa utilizada. Comúnmente, los cultivos de microalgas toleran temperaturas de entre 16 y 27 °C, en donde a temperaturas menores a 16 °C disminuyen el crecimiento, mientras que una temperatura mayor a los 35 °C resulta ser letal para un gran número de especies (Mehlitz, TH.; 2009).

Los cambios en la temperatura también pueden causar alteraciones en muchas de las rutas metabólicas, incluyendo la biosíntesis de los carotenoides. Se han observado cambios en las características de *Chlorella zofingiensis* cuando se incrementó la temperatura, dando lugar a cambios en la eficiencia de absorción asociada a una variación en el tamaño celular y los niveles de pigmento (Martin, FPH.; 2010). De acuerdo a (Del Campo, JA.; *et al.* 2004), la acumulación celular de luteína y astaxantina en *Muriellopsis sp.* aumenta cuando es crecida a una temperatura mayor a 33 °C, sin embargo el nivel

volumétrico se incrementó hasta seis veces más cuando la temperatura fue de 28 °C. A mayores temperaturas de crecimiento, la división celular se altera pero no la síntesis de proteínas. También se ha demostrado que algunas algas aumentan la acumulación de carotenoides a una temperatura de 40 °C en comparación con la tasa obtenida a la temperatura óptima de crecimiento de 28 °C (Mosqueda-Cano G., Gutiérrez-Corona JR., 1995).

• **Requerimientos de pH:** las microalgas tienen diversos requerimientos de pH para su crecimiento. A niveles de pH alcalinos, la disponibilidad de CO<sub>2</sub> puede ser limitante para el crecimiento y la fotosíntesis de microalgas. El rango de pH para la mayoría de los cultivos de microalgas está entre 7 y 9, con un rango óptimo de 8.2 a 8.7. Un pH óptimo en el cultivo generalmente es mantenido gracias a la aeración con aire enriquecido con CO<sub>2</sub>. En el caso de los cultivos de alta densidad celular, la adición de dióxido de carbono corrige un incremento del pH, el cual puede llegar a un valor límite de 9 para el crecimiento de la microalga.

Algunos autores coinciden que el crecimiento de las microalgas es óptimo a un pH neutro de 7.5 (Linden, JS.; Hartmut., 2001; Del Río, E.; *et al.*, 2007; Martín, FPH.; 2010). Por lo general, soluciones amortiguadoras son añadidas a los medios de cultivo con la finalidad de ajustar y mantener el pH del medio (Andersen, R.; 2005). El pH se incrementa conforme la edad del cultivo es mayor, esto es debido a la acumulación de minerales y a la oxidación de nutrientes. Por lo tanto, es recomendado que el pH inicial del medio de cultivo se ajuste a 6.5 antes de ser inoculado (Martín, FPH.; 2010). Estudios con *Chlorella vulgaris* han demostrado que pH extremos (alcalinización o acidificación del medio de cultivo) incrementan la producción de calor y las tasas de respiración, comportamiento contrario al observado con *Dunaliella marítima* (Alyabyev, A., *et al.*, 2011).

• **Mezclado eficiente:** para cualquier tipo de reactor usado en el cultivo de algas un mezclado eficiente debe ser proporcionado con el fin de producir una dispersión uniforme de las microalgas en el medio de cultivo, eliminando así los gradientes de concentración de luz, nutrientes (entre ellos CO<sub>2</sub>) y temperatura. (Contreras-Flores, C.; *et al.*, 2003) informaron que el principal problema en el cultivo de algas es el daño celular causado por el esfuerzo de corte. Se conoce que el exceso de la agitación mecánica es causa de turbulencia, lo que puede originar daños permanentes en la estructura celular afectando el crecimiento y la producción de metabolitos. Por lo contrario, una agitación insuficiente provocará sedimentación y muerte celular.

Se han realizado pocos estudios cuantitativos relacionados con el estrés hidrodinámico en cultivos de microalgas en fotobiorreactores del tipo airlift los cuales son sistemas basados en la agitación del cultivo con aire o una

mezcla de gases comprimidos (Chisti, Y.; 1989; Carvalho y col., 2006). El aumento de la tasa de crecimiento de algunas especies de microalgas cuando se incrementa la turbulencia, es debida a la mejora del suministro de luz y  $\text{CO}_2$ . Sin embargo, a niveles mayores de turbulencia, el crecimiento se ve disminuido drásticamente, aumentando simultáneamente la velocidad superficial del gas causando un posible daño celular (Contreras-Flores, C.; *et al.* 2003). Los sistemas de mezclas de gases o los sistemas de columnas de burbujeo causan menor daño celular que los sistemas de agitación mecánica. Esto únicamente para el caso de unidades de bombeo de aire, en donde la mezcla se logra por el flujo de líquido que se obtiene por la aspersión del aire al centro del tubo interno, disminuyendo la densidad celular del líquido provocando que este suba. El líquido fluye hacia abajo a través del tubo exterior, creando así una circulación natural. Aunque estos sistemas parecen causar un menor daño celular, no están exentos de un esfuerzo cortante causando daño celular en menor medida (Gudin, C.; Chaumont, D.; 1991., Barbosa, MG.; *et al.*, 2004), reportaron la formación de burbujas en el difusor como el factor principal que conduce a la muerte celular. Por último, se ha reportado el efecto de sombreado mutuo, el cual implica el movimiento celular continuo desde y hacia las zonas de luz y oscuridad. Este efecto se considera esencial para garantizar la alta productividad de biomasa (Degen, J.; *et al.*, 2001; Contreras-Flores, C.; *et al.* 2003; Martin, FPH.; 2010).

Debido a que casi el 50% de la biomasa de microalgas se compone de **carbono** (Becker, EW.; 1994), este elemento es un componente importante para el crecimiento celular. Cuando se cultivan fotoautotóricamente, todas las microalgas utilizan las fuentes inorgánicas de carbono para sintetizar compuestos. A pesar de que las microalgas son capaces de utilizar el carbono inorgánico en diversas formas ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,...), estudios detallados acerca de la influencia de la fuente de carbono en la productividad (biomasa) de las microalgas indican que, a pesar de que el  $\text{HCO}_3$  es fácilmente absorbido por las células, ésta es una fuente de carbono pobre en comparación con el  $\text{CO}_2$  (Martin, FPH.; 2010). De hecho, es posible obtener una respuesta lineal en el carbono de la biomasa con el aporte de masa de carbono (que corresponde a una eficacia de prácticamente del 100%) esto sólo sucede con entradas limitadas de carbono inorgánico y rangos estrechos de pH. Para los cultivos en microalgas se emplea aire enriquecido con  $\text{CO}_2$  como aporte nutricional.

## LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL DE MICROALGAS

Particularmente, el biodiesel es una interesante alternativa para cubrir parte de la demanda energética de combustibles derivados de petróleo destinados

al transporte (Chisti, 2011). El biodiesel es un biocombustible producido principalmente de aceites de plantas oleaginosas, cuya disponibilidad es incapaz de remplazar el mercado de diesel (Timilsina y Mevel., 2010); además de no ser sustentable por competir con alimento humano y suelos cultivables (Amaro, *et al.*, 2011; Demirbas y Demirbas, 2010). Por lo que se hace necesaria la búsqueda de nuevas fuentes para su producción.

La nueva generación de biodiesel es uno de los biocombustibles que pueden considerar las microalgas como una alternativa de materia prima para su producción ya que comúnmente el biodiesel es producido solamente a partir de plantas y aceites de origen animal y no de microalgas (Behzadi, S.; Farid MM., 2007).

El uso de microalgas para la producción de biodiesel ha surgido como una opción promisoría, debido a que presentan mayor eficiencia fotosintética, son más eficaces en la asimilación de CO<sub>2</sub> y otros nutrientes con respecto a las plantas, acumulan entre 20 y 80% de triglicéridos (Chisti, 2011), no requieren tierras cultivables, demandan menor consumo de agua renovable y pueden cultivarse en agua salobre (Amaro, *et al.*, 2011; Chisti, 2007; Demirbas, 2009). La composición el medio de cultivo y las condiciones de crecimiento de microalgas tienen un efecto importante en el rendimiento de biomasa y en el contenido de lípidos (Sims y Christenson, 2011). Se ha demostrado que la limitación de nitrógeno y fósforo, incrementan el contenido lipídico en microalgas (Beer, *et al.*, 2009; Scott, *et al.*, 2010).

La biomasa proveniente de algas se ha empleado históricamente como fertilizante y como fuente de alimento tanto para animales como para humanos. Las microalgas también son empleadas en algunos procesos de la ingeniería ambiental como el tratamiento biológico de efluentes y la bio-remediación. Algunas especies producen compuestos químicos muy útiles como aminoácidos, vitaminas, carotenoides, ácidos grasos, polisacáridos y antibióticos. Los avances técnicos y biotecnológicos han permitido, y permitirán aún más en el futuro, el empleo de las microalgas en áreas tan diversas como la alimentación, la industria cosmética, la industria farmacéutica (descubrimiento de metabolitos secundarios con potencialidad farmacológica), la agricultura, la acuicultura y la remediación del medio ambiente (Richmond. 2004). En cuanto a su aplicación energética, no sólo son utilizadas como materia prima para la producción de biodiesel, también para la producción de biometano (Spolaore, 2006), biohidrógeno (Melis, 2002).

Sin embargo utilizar para la producción de biodiesel, las microalgas como materia prima resultan actualmente más caras que el cultivo agrícola tradicionalmente empleado. Habría que trabajar en el aumento de la

productividad para lo que se necesita optimizar y abaratar los procesos de producción. (Borowitzka, MA., 1992).

Actualmente existen sólo dos métodos prácticos de producción de microalgas a gran escala, los estanques raceway o sistemas abiertos y los foto-bio-reactores (FBRs) tubulares o sistemas cerrados (Molina Grima *et al.*, 1999; Tredici, 1999; Ugwu, *et al.*, 2008). Los sistemas abiertos presentan menor productividad comparados con los sistemas cerrados (Chisti, 2011). Sin embargo, su operación, limpieza, construcción y escalabilidad son aspectos más económicos a comparación de los sistemas cerrados (Ugwu, *et al.*, 2008); por lo que su desarrollo representaría una opción promisoría en la optimización de costos de producción para un bioproceso de biodiesel a nivel industrial.

Particularmente, la producción de aceites con destino a biodiesel a partir de microalgas presenta numerosas ventajas sobre los cultivos clásicos, como son:

- No necesitan del suelo fértil para desarrollarse y algunas especies crecen en agua marina o salobre. Por lo tanto, su cultivo a escala industrial no compete ni por el suelo ni por el agua de riego con las agriculturas tradicionales.
- El cultivo de las microalgas puede realizarse en grandes volúmenes de agua, como lagunas y piletones, lo que permite sembrarlas y cosecharlas desde un punto de bombeo único.
- Las microalgas crecen sin fuertes restricciones climáticas o estacionarias y permiten un aprovechamiento permanente de las áreas afectadas al cultivo.
- Las microalgas muestran tener mayor actividad fotosintética y capacidad de fijación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que las plantas terrestres (Scragg, 2002).

Esto las hace potencialmente propicias para fijar el CO<sub>2</sub> generado por fuentes contaminantes.

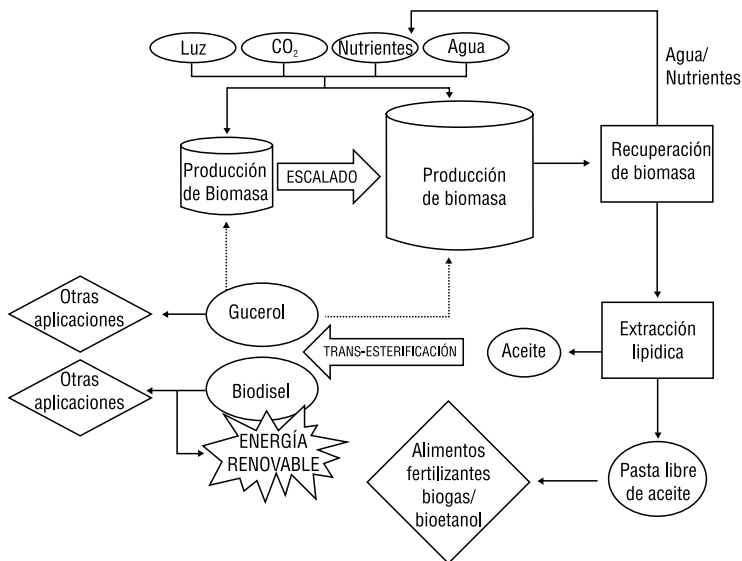
- En su estructura presentan un alto contenido de lípidos, llegando en algunas cepas a más del 80% del peso seco, y en promedio entre el 20% y 50% (Chisti, 2007; Hu. *et al.*, 2008).
- El tiempo de duplicación promedio de un cultivo de microalgas es de 24 hs, significativamente menor al correspondiente para los cultivos clásicos.
- Además del crecimiento autótrofo, en determinadas condiciones de cultivo algunas cepas pueden utilizar para su desarrollo fuentes de carbono orgánicas (cultivo mixotrófico) tales como el glicerol.

Este último punto merece una distinción particular, el glicerol es un subproducto de la transesterificación de los aceites vegetales y su volumen de producción es aproximadamente 100 kg de glicerol por cada tonelada de biodiesel producido. Su utilización (o comercialización) es una parte importante de la rentabilidad en la producción del biocombustible.

En la figura 6.2 se muestra el diagrama de producción de biodiesel y otros productos de interés industrial a partir de microalgas de forma integrada al aprovechamiento de los co-productos de manera que se asegure la rentabilidad global del proceso.

El agua, los nutrientes, el CO<sub>2</sub> y la luz, son proporcionados a los sistemas de cultivo (abierto, cerrado o híbrido) para la producción de biomasa de microalgas rica en lípidos. El CO<sub>2</sub> puede provenir del aire ambiente, o bien, los sistemas de cultivo pueden ser acoplados a flujos ricos en este gas procedente de emisiones industriales. La luz por su parte puede ser suministrada artificialmente o bien, para escalas mayores, puede aprovecharse la energía solar. La biomasa producida se separa del agua y los nutrientes residuales se recirculan hacia la etapa inicial de producción de biomasa. Los aceites se extraen a partir de la pasta de microalgas, para después transformarse en biodiesel y glicerol, mediante la reacción de transesterificación.

**Figura 6.2.:** Diagrama del proceso de producción de biodiesel y otros productos de interés industrial a partir de microalgas



Este esquema conceptual incluye etapas adicionales que posibilitan acoplar la producción de biodiesel al aprovechamiento de los coproductos de manera

de asegurar la rentabilidad global del proceso. Es decir, del glicerol y de la biomasa microalgal libre de lípidos, ya sea directamente como insumos industriales, en la alimentación humana, animal y/o acuícola, o indirectamente a través de su transformación en productos alternos tales como biogás (por digestión anaeróbica), entre otros. La energía del biogás se puede aprovechar para la producción de biomasa en el reactor (no se muestra en la figura). La flecha cortada representa la potencial aplicación del glicerol obtenido como sustrato para la producción de biomasa en el mismo reactor. El biodiesel puede aprovecharse directamente como fuente de energía o en forma alternativa, por ejemplo, como adyuvante en agroquímicos; una innovadora aplicación que será investigada a futuro.

Aunque la producción de biodiesel utilizando aceites obtenidos a partir de microalgas se identifica como una opción tangible al problema de la escasez de combustibles, sin comprometer la provisión mundial de alimentos, es importante remarcar que hay ciertos aspectos biológicos, técnicos y económicos que aún no están resueltos y que se necesitan descifrar e interpretar para lograr un proceso de producción eficiente y sustentable desde el punto de vista ambiental, energético y económico.

## **LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL DE MICROALGAS**

En estos momentos despunta como un tema de interés la obtención de alcohol utilizando como materia prima las microalgas, conocido este como alcohol de tercera generación.

En esta consideración es necesario valorar que la biomasa de microalgas está compuesta por lípidos, celulosa y hemicelulosa que se pueden utilizar como fuente de carbono en los procesos de fermentación para producir etanol, y tiene como ventaja su bajo contenido de lignina el cual llega a ser nulo en algunas cepas, esto permite suprimir la etapa de pretratamiento de la biomasa y realizar directamente la hidrólisis de este material celulósico.

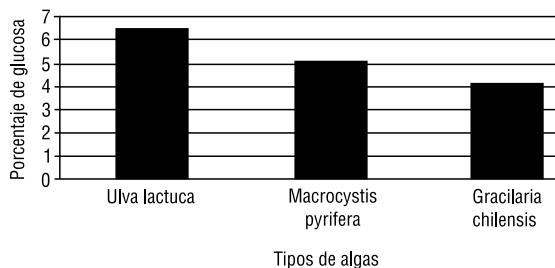
El 60% de la biomasa seca de las algas son carbohidratos fermentables y aproximadamente la mitad de ellos son alginato, pero el alginato presente hace que los microorganismos naturales sean incapaces de metabolizar eficazmente; lo cual constituye un problema por lo que en investigaciones a nivel de laboratorio se ha logrado una enzima capaz de degradar ese alginato y una vía de metabolización del mismo, lo que permite utilizar la mayor parte de los azúcares de las algas, haciendo así que su biomasa sea una fuente rentable para la producción de combustible renovable y de compuestos químicos.



En el caso de las macro algas marinas, ellas no contienen lignina, ya que en el océano necesitan ser flexibles, frente al continuo movimiento de las olas. Tampoco requieren de tierra agrícola, por lo que no compiten con los alimentos. No necesitan agua para su regadío, ni fertilizantes, todo lo cual lo provee el propio mar. Pero hay un problema: más o menos un tercio del azúcar de las algas marinas están contenidas en un complejo polímero, llamado alginatos, que los microbios industriales no son capaces de convertirlo en etanol. No obstante, recientemente Yasuo Yoshikuni de la empresa biotecnológica Bio Architecture Lab (BAL) de Berkeley, California, parecen haber conseguido solucionar el problema. Ha logrado modificar genéticamente una cepa de *Escherichia coli*, que después de ello, es capaz de romper y fermentar el alginato y todas las demás azúcares del alga marina, hasta llegar a obtener etanol. (Wargacki, A. *et al.*, 2012)

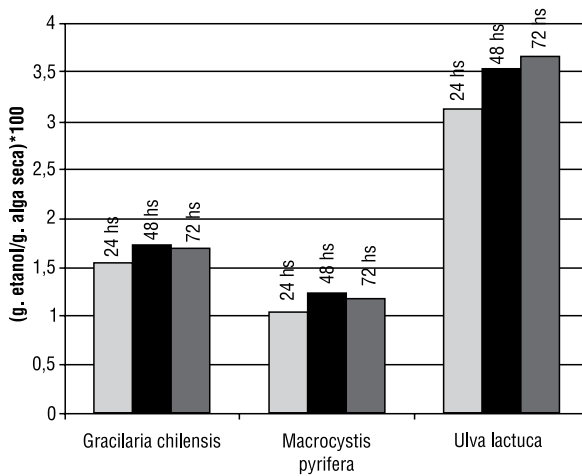
Se han aprovechado los polímeros naturales para obtener azúcares reductores de microalgas en procesos multifuncionales con miras a la producción de bioetanol. Por otra parte especies de macroalgas como *Sargassum*, *Glacilaria*, *Prymnesium parvum* y *Euglena gracilis*, se pueden utilizar para producir bioetanol pues tienen pared celular delgada y son ricas en polisacáridos (tipos de hidratos de carbono, tales como almidón y celulosa). El gráfico de la figura 3 muestra la presencia de azúcares fermentables en distintos tipos de algas.

**Figura 6.3.:** Presencia de azúcares fermentables en diferentes tipos de algas  
**Glucosa determinada por HPLC**



De igual forma, se muestra en la Figura 6.4, la cantidad de etanol producida por la fermentación de estas mismas algas en un periodo de 24, 48 y 72 horas.

**Figura 6.4.:** Cantidad de etanol producido por distintos tipos de algas en períodos de 24, 48 y 72 horas



### **Tecnología de obtención de etanol a partir de algas**

Las algas son la fuente óptima para la generación de bioetanol de tercera generación debido al alto contenido de carbohidratos, polisacáridos y celulosa que tienen (esta última presente en las paredes delgadas). Partiendo de una biomasa de microalgas con bajo contenido de lípidos, o una biomasa residual después de la extracción de aceite (resultante de la extracción del aceite para biodiesel), con alto contenido de polisacáridos, esta puede ser sometida a un proceso de hidrólisis para la obtención de monosacáridos seguido de fermentación para su transformación a etanol.

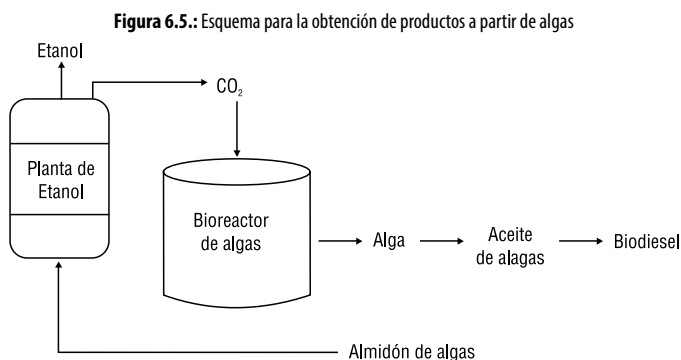
El proceso de fermentación para producir el etanol incluye las fases siguientes:

- a) Crecimiento del almidón, formación de filamentos o formación de colonias de algas en un ambiente acuoso.
- b) Secado de las algas crecidas para formar biomasa.
- c) Decrecimiento de la biomasa. La estructura de la biomasa empieza a deteriorarse (ruptura de la pared celular) y libera los hidratos de carbono.
- d) Fermentación de la biomasa con una levadura capaz de fermentarlo para formar una solución de fermentación. Las levaduras usadas son típicamente las levaduras de cerveceros (*Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces uvarum*).
- e) Separación del etanol resultante de la solución de fermentación.

El proceso de producción de etanol se puede combinar con la obtención de otros productos a partir de las algas y por tanto con sus correspondientes procesos productivos. Por ejemplo se puede obtener biodiesel a partir de los lípidos separados en las algas, mientras que los hidratos de carbono resultantes en esta separación pueden convertirse en etanol. Por otra parte, la biomasa residual de la etapa de fermentación alcohólica puede ser alimentada a un proceso de digestión anaerobia para producir metano, el cual sirve como fuente de electricidad, además la biomasa residual de la digestión anaerobia puede ser empleada para hacer fertilizantes (Ehimen, Sun & Carrington 2011). Como el dióxido de carbono es un coproducto de la reacción de fermentación de los azúcares para la producción de bioetanol este puede ser nuevamente alimentado a la etapa de cultivo como alimento para el crecimiento de las microalgas.

De forma general el proceso de obtención no es difícil y su integración con otros partiendo de la misma materia lo hace más rentable y en su conjunto se integran dentro del concepto de biorrefinería.

Un esquema de lo antes planteado se puede observar en la figura 6.5.



Un ejemplo de microalgas que se pueden utilizar para la obtención de etanol es la verde azulada, denominada cianobacteria que produce de manera natural bioetanol sin la necesidad de aplicar métodos de transformación de los componentes de la biomasa. Este bioetanol al ser producto de las actividades metabólicas de las cepas puede ser extraído *in vivo* mediante ordeño, es decir la adición de sustancias al medio de cultivo que estimulan la excreción del producto deseado sin necesidad de manipulación genética.

Hasta el momento el proceso se ha estudiado a nivel de laboratorio y de planta piloto. Los experimentos en laboratorio demuestran la viabilidad del proceso y se considera por los investigadores que si se puede llevar a escala industrial, las algas contribuirán notablemente a la producción de biocombustibles.

## CONCLUSIONES

1. Se hace necesaria la búsqueda de energías alternativas basadas en recursos naturales renovables, que no compitan con los alimentos, para la producción de biocombustibles, dado el agotamiento de los combustibles fósiles, su creciente demanda y perspectivas de expansión.
2. Se necesita optimizar y abaratar los procesos de producción de biomasa microalgal, lo cual pudiera lograrse con el uso de las vinazas como fuente barata de nutrientes.
3. De implementarse esta tecnología, además de producir biomasa, se reduciría la carga contaminante de los residuales líquidos en las destilerías y se mitigaría la emisión de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera.
4. La biotecnología de microalgas constituye una fuente prometedora para la obtención de biodiesel y bioetanol.
5. Se propone acoplar la producción de biodiesel y bioetanol al aprovechamiento de los co-productos de manera que se asegure la rentabilidad global del proceso.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alyabyev, A.; Andreyeva, I. and Rachimova, G. (2011)  
Influence of pH shift and salting on the energetics of microalgae *Chlorella vulgaris* and *Dunaliella maritima*. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 104: 201–207.
- Amaro, H.M.; Guedes, A.C. y Malcata, F.X. (2011)  
Advances and perspectives in using microalgae to produce biodiesel. *Applied Energy* 88(10): 3402–3410.
- Andersen, R. (2005)  
Algal Culturing Techniques. USA. Elsevier. Cap 1:1-12.
- Barbosa, M.J.; Hadiyanto, H. and Wijffels, R.H. (2004)  
Overcoming shear stress of microalgae cultures in sparged photobioreactors. *Biotechnology and Bioengineering* 85: 78-85.
- Barbosa, M.J.; Janssen, M.; Ham, N.; Tramper, J. and Wijffels, R.H. (2003)  
Microalgae cultivation in air-lift reactors: modeling biomass yield and growth rate as a function of mixing frequency. *Biotechnology and Bioengineering* 82: 170–179.
- Barrocal, V.M.; García-Cubero, T.; González-Benito, G. and Coca, M.  
New Biotechnology Volume 27, Number 6. December 2010.

- Becker, E.W. (1994)  
Large-scale cultivation. New York: Cambridge University Press. In  
Microalgae: Biotechnology and Microbiology Book Review: 63-171.
- Beer, L.L.; Boyd, E.S.; Peters, J.W. y Posewitz, M.C. (2009)  
Engineering algae for biohydrogen and biofuel production.  
EnergyBiotechn. 20(3): 264-271.
- Behzadi, S.; Farid, M.M. (2007)  
Review: examining the use of di Verent feedstock for the production of  
biodiesel. Asia-Pac J Chem Eng 2:480–486. doi:10.1002/apj.085
- Bioetanol desde Macroalgas, Grupo Biotecnología Algal, Proyecto ED16/ 027,  
Biotecnología en Algas: “Cultivando Soluciones Energéticas para el Futuro”.  
Chile
- Bitog, J.P.; Lee, I.B.; Yoo, J.I.; Hwang, S.B.; Hong, S.W. and Seo, I.H. (2009)  
Development of a large-sized photobioreactor for microalgae production.  
In Proceedings of the 2009 CIGR International Symposium of the  
Australian Society for Engineering in Agriculture, Brisbane, Queensland,  
Australia, September 13–16.
- Bhosale, P. (2004)  
Environmental and cultural stimulants in the production of carotenoids  
from microorganisms. Applied Microbiology and Biotechnology 63:  
351–361.
- Bohne, F. and Linden, H. (2002)  
Regulation of carotenoid biosynthesis genes in response to light in  
*Chlamydomonas reinhardtii*. Biochimica et Biophysic Acta 1579: 26–34.
- Borowitzka, M.A. (1992)  
Algal biotechnology products and pro-cesses-matching science and  
economics. J. Appl Phycol 4:267–279
- Carvalho, A.P.; Meireles, L.A. & Malcata, F.X. (2006)  
Microalgal reactors: a review of enclosed systems design and  
performances. Biotechnol. Prog. 22 (6), 1490-1506.
- Chisti, Y. (1989)  
Airlift Bioreactors. Elsevier, London, UK.
- Chisti, Y. (2007)  
Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances 25: 94–306.
- Chisti, Y. (2008)  
Response to Reijnders: do biofuels from microalgae beat biofuels from  
terrestrial plants? Trends Biotechnol 26(7):351–352.
- Chisti, Y. (2011)  
Biodiesel from microalgae beats bioethanol. Trends in Biotechnology.  
26(3): 126-131.

- Contreras-Flores, C.; Peña-Castro, J.M. and Flores-Cotera, L.B. (2003)  
Avances en el diseño conceptual de fotobiorreactores para el cultivo de microalgas. *Interciencia* 8: 450-456.
- Dan Telah D, Sintov A and Cohen E. 2004.  
The effect of salt stress on the production of canthaxanthin and astaxanthin by *Chlorella zofingiensis* grown under limited light intensity. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 20: 483–486.
- Degen, J.; Uebele, A.; Retze, A. Schmid-Staiger, U. and Trosch, W. (2001)  
A novel airlift photobioreactor with baffles for improved light utilization through the flashing light effect. *Journal of Biotechnology* 92: 89–94.
- Del Campo, J.A.; Rodríguez, H.; Moreno, J.; Vargas, M.A. and Guerrero, R. (2004)  
Accumulation of astaxanthin and lutein in *Chlorella zofingiensis* (Chlorophyta). *Applied Microbiology and Biotechnology* 64: 848-854.
- Del Río, E.; Acien, G.; Garcia-Malea, G.; Rivas, J.; Molina-Grima, E. and Guerrero, M.G. (2007)  
Efficiency assessment of the one-step production of astaxanthin by the microalga *Haematococcus pluvialis*. *Biotechnology and Bioengineering* 74: 397-402.
- Demirbas, A. y Demirbas, M.F. (2010)  
*Algae Energy: Algae as a New Source of Biodiesel*. Springer London Dordrecht Heidelberg New York. e-ISBN 978-1-84996-050-2.
- Demirbas, A. (2009)  
Political, economic and environmental impacts of biofuels. A review. *86(2009) S 108-S 117*.
- Ehimen, E.A.; Sun, Z.F.; Carrington, C.G.; Birch, E.J.; Eaton Rye, J.J. (2011)  
Anaerobic digestion of microalgae residues resulting from the biodiesel production process. *Apply Energy* 88 (10):3454-3463.
- Fábregas, J.; Domínguez, A.; García-Álvarez, D.; Lamela, T. and Otero, A. (1998)  
Induction of astaxanthin accumulation by nitrogen and magnesium deficiencies in *Haematococcus pluvialis*. *Biotechnology Letters*. 20: 623-626.
- García-Malea, M.C.; Acien, F.G.; Fernández, J.M.; Cerón, M.C. and Molina, E. (2006)  
Continuous production of green cells of *Haematococcus pluvialis*: Modeling of the irradiance effect. *Enzyme and Microbial Technology* 38: 981–989.

- Grobbelaar, J.U. (2000)  
Physiological and technological considerations for optimizing mass algal cultures. *Journal of Applied Phycology* 2: 201-206.
- Gudin, C. and Chaumont, D. (1991)  
Cell fragility-key problem of microalgae mass production on closed photobioreactors. *Bioresource Technology* 38, 145–151.
- Hu, Q.; Sommerfeld, M.; Jarvis, E.; Ghirardi, M.; Posewitz, M.; Seibert, M. y Darzins, A. (2008)  
Microalgaltriacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances. *Plant Journal*. 54: 621-639.
- Kafarov, V.; González, D.  
Microalgae based biorefinery. C.T.F Ciencia Tecnología Futuro vol. 4, N° 4. Bucaramanga, Julio/Diciembre. 2011
- Kommareddy, A.R. and Anderson, G.A. (2003)  
Study of light as a parameter in the growth of algae in a photo-bio reactor (PBR). ASAE Paper No. 034057. ASAE, St. Joseph, Michigan.
- Kumar, A.; Ergas, S.; Yuan, X.; Sahu, A.; Zhang, Q.; Dewulf, J.; Malcata, F. X. & langenhove, H. V. (2010)  
Enhanced CO<sub>2</sub> fixation and biofuel production via microalgae: recent developments and future directions. *Trends in Biotechnology*, 28 (7), 371-380.
- Linden, J.S. and Hartmut (2001)  
Regulation of two carotenoid biosynthesis genes coding for phytoene synthase and carotenoid hydroxylase during stress-induced astaxanthin formation in the green alga *Haematococcus pluvialis*. *Plant Physiology* 125: 810-817.
- Martin, F.P.H. (2010)  
Optimization of photobioreactor for astaxanthin production in *Chlorella zofingiensis*. Tesis de Maestría en Ingeniería. National University of Singapore.
- Mehlitz, T.H. (2009)  
Temperature influence and heat management requirements of microalgae cultivation in photobioreactors. Tesis de Maestría. California Polytechnic State University, USA.
- Melis, A. (2002)  
Green alga hydrogen production: progress, challenges and prospects. *Int J Hydrogen Energy*; 27:1217.
- Molina, G.E.; Acien, F.G.; Fernandez, J.; Camacho, F. and Chisti, Y. (1999)  
Photobioreactors: light regime, mass transfer and scale up. *Journal of Biotechnology* 70: 231–247.

- Mosqueda-Cano, G. and Gutierrez-Corona, J.F. (1995)  
Environmental and developmental regulation of carotenogenesis in the dimorphic fungus *Mucor rouxii*. *Current Microbiology*. 31: 141–145.
- Ono, E. and Cuello, J.L. (2003)  
Selection of optimal species for CO<sub>2</sub> sequestration. In: Second Annual Conference on Carbon Sequestration, Alexandria, Virginia, USA, May 5–8.
- Pulz, O. (2001)  
Photobioreactors: production systems for phototrophic microorganisms. *Applied Microbiology and Biotechnology* 57: 287–293.
- Qin, S.; Liu, G. and Hua, Z. (2008)  
The accumulation and metabolism of astaxanthin in *Scenedesmus obliquus* (Chlorophyceae). *Process Biochemistry* 43: 795–802.
- Ramón, J.M. (2009)  
Mercado energético y mercado de emisiones. Aproximación a las posibilidades de producción de biodiesel en la República Argentina. *Trabajos y ensayos N° 9*, enero del 2009. ISSN: 1887-5688.
- Richmond, A. (2004)  
Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology. First Edition. Blackwell Publishing company.
- Santos, C. A.; Ferreira, M.E.; Lopes da Silva, T.; Gouveia, L.; Novais, J.M.; Reis A. (2011).  
A symbiotic gas exchange between bioreactors enhances microalgal biomass and lipid productivities: taking advantage of complementary nutritional modes.
- Scott, S.A.; Davey, M.P.; Dennis, J. S. y Horst, I. (2010)  
Biodiesel from algae: challenges and prospects. *Current Opinion in Biotechnology*. 21(3): 277–286.
- Scragg, A.H.; Illman, A.M.; Carden, A.; Shales, S.W. (2002)  
Growth of microalgae with increased calorific values in a tubular bioreactor. *Biomass and Bioenergy*, Volume 23, Issue 1, 67–73.
- Sims, R. y Christenson, L. (2011)  
Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels and subproducts. *Biotechnology Advances*. 29(6): 686–702.
- Singh, R.N. and Sharma, S. (2012)  
Development of suitable photobioreactor for algae production - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 2347– 2353.
- Spolaore, P.; Joannis-Cassan, C.; Duran, E.; Isambert, A. (2006)  
Commercial applications of microalgae. *J. Biosci. Bioeng.* 101: 87–96.



- Timilsina, G.R. y Mevel, S. (2010)  
Biofuels and Climate Change mitigation: A CGE Analysis Incorporating Land-use change. Policy Research Working Paper 5672. World Bank, Washington D.C.
- Tredici, M.R. (1999)  
Bioreactors, photo. In: Flickinger MC, Drew SW (eds.) Encyclopedia of bioprocess technology: fermentation, biocatalysis and bioseparation. Vol 1. Wiley, New York. pp. 395–419.
- Ugwu, C. U.; Aoyagi, H. y Uchiyama, H. (2008)  
Photobioreactors for mass cultivation of algae. Bioresource Technology. 99(10): 4021-4028.
- Van Beilen, J.B. (2010)  
Why microalgal biofuels won't save the internal combustion machine. Biofuels, Bioproducts and Biorefining 4: 41–52.
- Wargacki, A. *et al.* (2012)  
Metabolic engineering showcases a preliminary route to generating ethanol from seaweed. Science vol. 335, p. 308.



## CAPÍTULO VII

### **Posible impacto económico de la utilización de las vinazas de destilerías de bioetanol como fuente de alimento animal una solución económica y ambiental**

*Dr. C. Ing. Víctor Manuel González Morales*

*Dr. Sc. Ing. Erenio González Suárez*

Universidad Central de Las Villas, Cuba

*Dr. C. Ing. Juan Esteban Miño Valdés*

Universidad Nacional de Misiones, Argentina.

## INTRODUCCIÓN

A partir de la década del 70 se produce una aguda escasez de proteína en el mundo, desapareciendo en 1973 la oferta de concentrados proteicos tradicionales en el mercado mundial. Los precios se incrementaron hasta tres veces de su valor original, por ello, la alternativa de utilizar las vinazas como materia prima en una mini fábrica de levadura forrajera en crema para la alimentación animal, responde a la necesidad de disponer adecuadamente de este producto alimentario y a su vez de disponer de un residual muy agresivo procedente de las destilerías de bioetanol, lo que hace que dicha mini fábrica se convierta además en una planta de tratamiento de residuales, que constituyen un gran problema para el medio ambiente.

La vinaza de destilería constituye un residual altamente contaminante, es un sustrato barato ya que es un residuo del proceso que de ser eliminado en uno u otro por ciento redundaría en un beneficio ecológico. El efluente de vinaza de las destilerías de alcohol puede llegar a ser del orden de 8 a 13 veces el volumen del etanol producido.

La mayoría de los autores coinciden en que los atributos de la vinaza pueden ser balanceados para aprovecharlos en posteriores tratamientos y lograr el equilibrio medio ambiental. (Fonseca, *et al.* 2002; Saura, G. *et al.* 2002). De ahí, que la alternativa propuesta a evaluar en este capítulo sea: la producción de biomasa proteica (levadura *Torula*), el efluente mezclado con residual del Centro porcino enviarlo a un digestor de Biogás y el efluente de este al fertirriego de la caña y/o a las lagunas de tratamiento.

Según reportes (Klibansky, 1988), se ha demostrado que la forma óptima de utilizar este sustrato en la producción de *Torula* consiste en la complementación con miel final (MF) a niveles entre 15 y 30%, aportando la miel una serie de componentes como vitaminas, minerales, aminoácidos y otros probióticos que aumentan la eficiencia biosintética de la levadura. En una mezcla 20/80 (MF/VD) la utilización de vinazas permite un ahorro cercano a 3 ton de MF/ton levadura, que puede representar un ahorro de 120 \$/ton producto, valorando la miel a 40 \$/ton.

Dado el nivel de producción proyectado de aproximadamente 8,5 ton de levadura base seca/día, que no será nunca rentable la producción de la levadura seca (base 92%), por los altos costos del sistema de concentración y secado, se realiza el proyecto para entregar crema de levadura con un 45% V/V de concentración para su uso en la alimentación porcina, de modo que el producto que se obtendrá es carne de cerdo entre 850 a 1030 ton de carne anuales, en función del periodo de operación de la destilería.

Se debe estudiar la disposición de posibles centros porcinos de la unidad ejecutora del proyecto o de otras empresas que puedan utilizar la crema de *Torula* en la alimentación porcina. Por las características de esta crema de concentración media, se exige el requerimiento comercial de que en los contratos de compra-venta firmados se establezcan cláusulas que obliguen a los compradores a la extracción sistemática del producto.

La caracterización de la vinaza de fermentación de mieles que se muestra en la siguiente Tabla 7.1, muestra los atributos negativos y positivos que posee este residual.

**Tabla 7.1:** Caracterización de la vinaza (Gnecco, J. M. 2007)

<b>Indicador</b>	<b>Promedio</b>
pH	4.2 - 5
DQO (mg/L)	25 000
DBO (mg/L)	65 000
Sólidos totales (mg/L)	81 500
Sólidos volátiles (mg/L)	60 000
Nitrógeno (mg/L)	450 - 1610
Fósforo, P2O5 (mg/L)	180 - 290
Potasio (mg/L)	450 - 5100
Relación C/N	16 - 16.3
Materia orgánica (mg/L)	63 400
Azúcares reductores (mg/L)	9 500

## BALANCES EN LA DESTILERÍA

Los balances de masa en la destilería se realizan sobre la base una hipotética producción de alcohol puro (553 hL alcohol puro/día), el % alcohólico promedio de esa campaña (5.62%) y la producción de levadura *Saccharomyces*, en sus fondajes, promedio. Se comprueba que el año considerado para diseñar la cobertura suficiente y que en todas las condiciones la vinaza producida sea asimilada por la mini planta de Torula.

**Tabla 7.2.:** Resumen de los balances de materiales en la destilería

	Ajustes para 553 hL ap/día		
<b>Vino</b>			
Caudal (m <sup>3</sup> /d)	1004		
Riqueza (%)	5,62		
Etanol (hL/d)	564,12		
		Crema de Levadura	
<b>Decantación</b>		Caudal (L/d)	17358
		Levadura Seca Eq (kg/d)	1195
Vino		Crema (kg/hL)	31
Caudal (m <sup>3</sup> /d)	999	Alcohol (°GL)	1,6
Riqueza (%)	5,62	Levadura (%)	23,0
Etanol (hL/d)	561,30		
		<b>Vinazas</b>	
<b>Destilación</b>		Flujo (ton/d)	976
		Caudal (m <sup>3</sup> /d)	943
		Caudal (m <sup>3</sup> /h)	39
Alcohol		Temp (°C)	83
Etanol (hL/d)	552,88	Brix (°Brix)	8,6

El proceso de producción de levadura Torula en crema tiene tres etapas fundamentales: preparación de las materias primas y nutrientes, fermentación y separación.

## PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Para la preparación de la materia prima se parte de una cepa de levadura desarrollada en el laboratorio en medio sólido (Cuyo píe de siembra tiene que ser adquirido en un centro que certifique el producto), la que posteriormente se pasa a un medio líquido aproximadamente en un reactor de 5L, se mantiene

durante un tiempo en que las levaduras pasan de la etapa de adaptación para emprender la fase de crecimiento exponencial. A partir de este paso se procede de igual forma a través de varios reactores donde se va aumentando el número de levaduras y el volumen del medio, donde estas a la vez se van multiplicando lo cual conlleva a la etapa de prefermentación, que la misma responde al mismo principio con valores de volúmenes de (2-3 m<sup>3</sup>) y concentración de masa biológica de (5 -6) g/l, donde para el crecimiento de las misma necesitan nutrientes como sulfato de amonio, fosfato de amonio, y un aditivo probiótico los cuales aportan el fósforo y nitrógeno necesario a la fermentación los que se mezclan conjuntamente en el tanque de sulfato de amonio.

### **Preparación de las sales nutritivas**

El objetivo es obtener la alimentación de las cantidades de nitrógeno y fósforo necesarias para la fermentación y la regulación del pH en los fermentadores.

La instalación es prevista para dosificar independientemente cada uno de los nutrientes, lo que permite hacer una distribución hacia cada uno de los dos fermentadores. Las sales nutritivas, previamente almacenada en bolsas en el almacén, se diluyen por separado con agua. Esta operación se realiza en tanques receptores provistos de un agitador. El cargamento de este tanque se efectúa mediante un elevador de tornillo sin fin equipado con una tolva, por medio de las bombas las soluciones alimentan los fermentadores, los caudales de sulfato son ajustados automáticamente en función del valor del pH en los fermentadores y el caudal de la solución de fosfato es constante hacia cada fermentador. Se ajusta y se controla manualmente.

## **FERMENTACIÓN**

Para esta etapa se dispone de 2 fermentadores los cuales trabajan en paralelo, con circulación invertida de aire, funcionan a régimen continuo con un flujo de Vinaza + nutrientes 43 m<sup>3</sup>/h, cada uno, el tiempo de residencia es de aproximadamente 3 h y una velocidad de dilución de 0.33 h<sup>-1</sup> las levaduras transforman la materia orgánica que viene en la vinaza en biomasa en un proceso aireado con el suministro de sales nutrientes y un control de temperatura en el entorno de a 38 °C, asegurado por un sistema de enfriamiento interno con un flujo de agua de 217 (m<sup>3</sup>/h); y un pH aproximadamente igual a 4,5. Luego el mosto que sale del fermentador a una concentración de (5 - 6) g/l pasa por gravedad a la Cuba de Desemulsión. Los fermentadores son equipos

abiertos y sin sistema de agitación mecánica, es decir, el aire suministrado a estos realiza las dos funciones: suministrar el oxígeno a la levadura y agitar el medio para su homogeneización.

La temperatura de la fermentación se debe mantener cerca de 38°C por el uso de agua de enfriamiento que proviene de un sistema de torre de refrigeración. El modo de enfriamiento desde el interior es mediante un cilindro instalado en el fermentador, este tiene dos objetivos: por un lado, es un intercambiador de calor, constituido de paneles tubulares en el interior de los cuales circula agua de refrigeración, y por otra parte, atendiendo a su forma y su posición actúa como cilindro director que guía la circulación del mosto en el interior del fermentador. El nivel de líquido en cada fermentador se mantiene constante por la selección de un valor dado mediante un presostato que actúa sobre la válvula de trasiego y así regula el caudal del mosto a la salida del fermentador.

### **Desemulsión del mosto**

El mosto que sale de los fermentadores, es sometido a un tratamiento de Desemulsión. La finalidad de este tratamiento es extraer del líquido el aire y el CO<sub>2</sub> cuya presencia podría molestar las operaciones que siguen. La alimentación del mosto a esta cuba se efectúa por la parte inferior donde se le adiciona un agente químico antiespumante para romper la espuma del mosto. Al mismo tiempo, se infla por la parte debajo de la cuba una pequeña cantidad de aire de borbotillo mediante una rampa interior perforada de agujeros. Una parte del líquido desemulsionado es recuperado por las bombas de las cuales una sirve de auxilio P41, 43 y es atomizada sobre la cuba y mediante una rampa perforada de agujeros, este riego tiene por objeto romper la espuma en la superficie de la cuba, luego de ser desgasificado se recupera en la parte inferior de la cuba para ser enviado mediante las bombas P42, 44 a la etapa de separación.

## **SEPARACIÓN**

La levadura contenida en el mosto desemulsionado es sometida a un tratamiento de separación por fuerza centrífuga donde se cuenta con 4 máquinas que en dependencia del flujo de mosto que se vaya a separar es la cantidad de centrifugas que se irán a utilizar. El mosto cargado en levaduras pasa previamente a cuatro filtros, los cuales se disponen en paralelo.

- Filtración: previamente el mosto es cargado por filtros tamizados con el objetivo de asegurar a los separadores una alimentación libre de cualquier

partícula grosera que perjudique las máquinas centrifugas, este mosto puede venir acompañada de otras partículas por ser los fermentadores abiertos al igual que la cuba, de aquí el mosto es dirigido hacia los separadores.

- Primera separación : el mosto filtrado pasa dentro de una primera batería de 2 separadores de tipo Alfa-Laval donde ambos funcionan en paralelo, aquí se separa el líquido del sólido, y la crema de levadura es enviada hacia los tanques receptores de la crema primera R11 -12. El efluente es enviado hacia el tanque desgasificador y de allí se incorpora a los residuales líquidos o es entregado para alimentación animal
- Segunda separación: se procede con una separadora tipo Alfa-Laval, la crema de primera de los tanques R11,12 es lavada con agua, la crema de segunda o final es recuperada en dos tanques, donde la misma es impulsada por medio de las bombas volumétricas P51-52 al TK para la entrega de producto. El efluente es enviado al receptor de residuales líquidos.
- En resumen en esta etapa de separación se utilizan separadores líquido-líquido de donde se obtiene un efluente claro prácticamente libre de levadura, que se suma a la zanja como residual (Se entrega para alimento animales vacunos, o se mezcla con el residual porcino que alimentan al Digestor de Biogás, o se usa en el fertirriego) y **crema de segunda o producto final** que contiene la levadura a una mayor concentración que a la salida de los fermentadores alrededor de los 100 g/l en dos tanques R 13,14 de 35 m<sup>3</sup> respectivamente, y un flujo de salida de 2.8 m<sup>3</sup>/h (68 m<sup>3</sup>/d). Se dispone de una 4ta máquina separadora que puede trabajar por primera o segunda. En esta área el índice de recuperación es de 96%. Resumen adaptado por el autor desde (Saura *et al.*; 2002).

## REQUERIMIENTOS DEL PROCESO

**El vapor directo** de la caldera del central o de la destilería para limpieza y esterilización. Se estima consumo entre 0.5 a 0.7 t vapor/h. En el proceso inversionista se debe considerar la alternativa de generar este vapor aprovechando el biogás obtenido

El **enfriamiento del agua** se realiza en un circuito cerrado, está alimentado a partir de una cisterna soterrada o no, localizada en el edificio, la misma es alimentada con el agua procedente del proceso por gravitación, a partir de la cisterna el agua es bombeada por bombas centrifugas, las cuales aspiran el agua a 1.20 m de fondo de la cisterna, las bombas alimentan una batería de 4



celdas de refrigeración atmosférica donde cada una de las celdas se encuentran en paralelo y en ellas el aire funciona según el principio del tiro forzado, en su parte superior está equipada con un ventilador extractor horizontal. El agua entonces se encuentra enfriada por chorreo en una corriente de aire ascendente.

**El aire** necesario para los fermentadores será suministrado por dos sopladores de capacidad 10 000 Nm<sup>3</sup>/h y 0.5 kgf/cm<sup>2</sup> de presión, aire libre de grasas y polvo. El aire necesario para el funcionamiento de todos los aparatos neumáticos de regulación es suministrado por dos compresores verticales de pistón seco que pueden suministrar 60 Nm<sup>3</sup>/h de aire seco a una presión de 7 Kgf /cm<sup>2</sup>.

**La energía eléctrica** se usa con el objetivo principal de lograr que los motores de las bombas, de los compresores y de los ventiladores funcionen correctamente, y el alumbrado de la mini planta. El sistema debe alimentarse de la pizarra de fuerza del central o la destilería. La demanda total se estima por debajo de 0.6 KVA.

## EQUIPAMIENTO TECNOLÓGICO Y AUXILIAR

Se incluye en la tabla 7.3 y 7.4 los requerimientos para la miniplanta de 8,4 ton/día.

**Tabla 7.3:** Equipos tecnológicos

Equipos	Volumen	Cantidad
Fermentadores	220 m <sup>3</sup>	2
Tk receptor Vinaza	120 m <sup>3</sup>	1
Prefermentador	22 m <sup>3</sup>	1
TK crema 1era	70 m <sup>3</sup>	1
TK crema 2da (Producto)	70 m <sup>3</sup>	2
Tk Efluente (residual)	370 m <sup>3</sup>	1
Tk Agua sistema enfriamiento	400 m <sup>3</sup>	1
Tk preparación nutrientes	5 m <sup>3</sup>	2
Cuba Desemulsionadora	77 m <sup>3</sup>	1

**Tabla 7.4:** Equipos auxiliares

Equipo		Cantidad
Bomba para vinaza	50 m <sup>3</sup> /h	2
Bomba agua enfriamiento	435 m <sup>3</sup> /h	2
Bomba para cremas	(5-20) m <sup>3</sup> /h	5
Bomba para nutrientes	1 m <sup>3</sup> /h	4
Bomba agua proceso	46 m <sup>3</sup> /h	2
Bomba para residual	95 m <sup>3</sup> /h	2
Centrifugas separadoras	20 m <sup>3</sup> /h	4
Compresor de aire (control)	60 N m <sup>3</sup> /h	2
Sopladores aire (fermentación)	10 000 N m <sup>3</sup> /h	2

## **REQUERIMIENTOS DE CALIDAD**

Para el control de las materias primas y los productos terminados. Las especificaciones de calidad de las materias primas Miel Final o Miel B del proceso azucarero del ingenio, se ajustarán a la Legislación Nacional y a las certificaciones internacionales de productos orgánicos. Las calidades de la crema de levadura Torula y la carne de cerdo serán certificadas por el Instituto Nacional de Alimentos del país. Se puede disponer del laboratorio de microbiología de la destilería para los controles necesarios.

## **RECURSOS HUMANOS**

Se ha considerado la experiencia acumulada en las plantas en explotación. Dará trabajo a 19 personas en producción: 1 jefe de planta, 4 técnicos en procesos fermentativos, 8 operadores de fermentación, 2 elaboradores expedidores y 4 auxiliares generales.

## **PRESUPUESTO INVERSIONISTA**

El costo de equipos fue estimado tomando como referencia los costos reales de los similares existentes y ajustando sus valores por la regla de la potencia a la 0.6. Los restantes componentes se estimaron mediante la hoja de trabajo del libro (Peters y Timmerhauss, 2003). En la tabla 7.5 se resume el presupuesto en moneda utilizada.

Como ya se ha dicho el proyecto considera que toda la crema Torula sea utilizada, mezclada con mieles y otros productos de la agricultura, para la producción de carne de cerdo en un Centro Porcino para la ceba de cerdos, se utiliza la experiencia acumulada para esta producción. Por esta razón en el presupuesto se ha incluido la construcción de las naves requeridas para el nivel de producción planeado.

**Tabla 7.5:** Inversión para producir 9 toneladas de torula (en base seca/día)

<b>Miniplanta de levadura Torula</b>	<b>en USD</b>
Equipos	5.127.660
Tuberías y accesorios	564.426
Instrumentación y control	317.489
Construcción y Montaje	2.587.447
Reparación y adaptación nave	423.319
Instalación eléctrica	352.766
Capacitación y adiestramiento	282.213
Ingeniería	881.915
Gastos constructivos	1.058.298
Imprevistos	529.149
Total Activo Fijo	12.124.683
Capital Trabajo (para un mes)	1.206.024
Total Inversión	13.330.707

La inversión se ejecuta básicamente en un año, en el segundo año se comienza a producir y se considera el completamiento de la capacidad necesaria del Centro Porcino.

## **COSTOS DE PRODUCCIÓN**

Para la estimación de los costos de producción se ha utilizado, como referencia, la ficha de costo contable de una unidad funcionando y se han realizado las adaptaciones necesarias, por los aumentos de precios. Costo Unitario Crema = 184,13 \$/ton.

A continuación en la Tabla N° 9 se resumen los costos de producción de la carne de cerdo producida a partir de la crema torula mezclada con mieles y otros productos vegetales. Se proyectan 10 años de producción para poder hacer el estudio de los indicadores dinámicos de rentabilidad.

**Tabla 7.6:** Proyección de los costos de producción de la carne de cerdo

<b>Costos totales del producto (en miles de pesos)</b>					
<b>Concepto/Año</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6-11</b>
Costos variables Torula crema	857,0	899,9	944,9	992,1	1 041,7
Costos Variables Carne	6 200,5	6 414,1	6 737,4	7 077,3	7 434,6
Total Costo variable	7 057,5	7 313,9	7 682,3	8 069,4	8 476,3
Costos fijos crema	142,9	150,0	157,5	165,4	173,7
Costos fijos carne	35,7	50,5	71,5	71,5	71,5
Incremento Amortización	1 283,1	1 333,1	1 333,1	1 333,1	1 333,1
Total Costo Fijo	1 118,2	1 180,1	1 208,6	1 216,4	1 224,7
Costo Bruto total	8 519,2	8 847,5	9 244,3	9 639,3	10 054,5
Costo Unitario Carne \$/ ton	10 022,6	9 913,2	9 864,6	9 796,3	9 731,6

## EVALUACIÓN ECONÓMICA

Considerando la inversión de un Centro porcino anexo a la instalación con destilería con capacidad para 7200 cerdos que use básicamente como alimento la Miel Proteica (Miel del central + Crema de levadura torula) de modo que insuma toda la crema que se produzca en la Miniplanta de torula, y se complemente con otros productos de la agricultura, se realiza la evaluación económica mediante los Programas Balances, Flujos y Deuda.

Para considerar la incertidumbre debida a la tasa de cambio del país, según lo recomendado por (González, V. 2007), se han diseñado 3 escenarios para las principales variables y se presenta el siguiente resumen para el análisis de la incertidumbre en la Tabla 7.7.

**Tabla 7.7.:** Análisis de los tres escenarios evaluados. Análisis de incertidumbre

Escenario	Tasa \$/CUC	Inversión, M\$	Precio, \$/Kg	PRD, años	TIR, %	VAN, M\$	RVAN, \$/\$
Optimista	8	9795,6	16,00	3,5	43,9	15585,4	1,43
Medio	10	13330,7	17,00	3,9	35,8	15172,9	1,04
Pesimista	12	20401,0	18,50	4,8	25,6	12421,6	0,57

El **escenario medio es el más probable**, en las Tablas 7.8 y 7.9 se resumen los resultados económicos principales.

**Tabla 7.8.:** Producción, precios y costos por año.

Resumen de la evaluación económica				
Mini torula Heriberto Duquesne				
	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5 a 11
Proyecto Producción de Carne (ton)	850,00	892,50	937,13	983,98
Precios (USD/ton)	17000,00	17000,00	17000,00	17000,00
Costo Unitario (USD/ton)	10022,61	9913,21	9864,57	9796,26

**Tabla 7.9.:** Parámetros de Rentabilidad económica

Parámetros Económicos	Monto Total	
	Para Inversión Total	
TIR, %		35,8
VAN Tasa %, Miles \$	12,0	15172,9
RVAN \$/\$		1,04
Recuperación de la inversión (en años)		3,92
	2do Año	4to año
Pto. Equilibrio. (ton producto)	168,1	178,4
Pto. Equilibrio. (% de producción)	19,8	18,1
- Costo Operación/Ingreso		0,58
- Costo Total/Ingreso		0,66

Se requiere de un crédito blando a lo sumo con interés de 8 %, con un año de gracia y repago por 5 años a partir del 3ero o se puede cubrir todo o una parte con capital social porque para créditos exigentes no alcanza la capacidad.

## **CONCLUSIONES**

1. Considerando la experiencia acumulada, la alternativa propuesta es: La producción de biomasa proteica (Levadura torula), su efluente mezclado con residual del Centro porcino enviarlo a un digestor de Biogás (existente) y el efluente de este al fertirriego de la caña y/o a las lagunas de tratamiento (existentes).
2. Se demuestra la viabilidad técnica de este proyecto, tanto en sus aspectos tecnológicos, operacionales, constructivos y de controles del proceso.
3. La solución de los residuales en forma secuencial es ambientalmente sostenible, pero requiere de alta disciplina en la consecución de las operaciones
4. La factibilidad económica es buena, para una inversión y su recuperación en menos de 4,8 años, Un valor actual neto acumulado (Van) de entre 13 y 15 MM en 10 años. La tasa de rendimiento actualizada no es alta (RVAN) entre 0,57 y 1,43 pero hay que tener en consideración que se trata de una inversión para solución de residuales.
5. Es posible ejecutar la inversión con un crédito blando de 5 a 6 años al 8% de interés o Realizar una combinación de una parte como capital social y la otra como un crédito.
6. En el proceso inversionista se debe considerar la alternativa de generar el vapor necesario aprovechando el biogás obtenido, ya que la posible microlocalización de la Miniplanta de Torula es en área aledaña al Biogás.
7. Por las características de esta crema de concentración media, se exige el requerimiento comercial de que en los contratos de compra ventas firmados se establezcan cláusulas que obliguen a los compradores a la extracción sistemática del producto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fonseca, Y.; Mayet, K. y Mc-Pherson, D. (2002)  
Evaluación de Alternativas para el Aprovechamiento del mosto alcoholero de destilerías y la reducción de la contaminación ambiental. Tecnología Química. Vol. 22 (1). Pp. 5-9.
- Gnecco, J.M. (2007)  
Composición de la vinaza. Seminario sobre el potasio y su importancia en el manejo de la caña. Asocaña, Cali.
- González, V.M. (2008)  
“Procedimiento para la ejecución de estudios previos inversionistas en la industria de procesos químicos y fermentativos”. Tesis de Master en GCIT. UCLV.
- Klibansky, M. (1998)  
“Subproductos y derivados de la agroindustria Azucarera”. Colección GEPLACEA. Serie Diversificación.
- Peters, M. S. & Timmerhaus, K. D. (2003)  
Plant Design and economics for Chemical Engineers. In: GRAW-HILL, M. (ed.)
- Saura, G.; Valdez, I.; Martínez, A.; Reyes, E.; Pascual, A. y Otero, A. (2002)  
Tecnología de producción de levadura utilizando las vinazas de destilería como fuente mayoritaria de carbono y energía. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la caña de azúcar (ICIDCA). Vol. 36 (2), p. 20.



Es un gran reto para la ciencia obtener la energía y los productos químicos que se requieren para el desarrollo sustentable de la humanidad.

En este contexto, se han recopilado algunos trabajos de una pequeña parte de la comunidad científica internacional, para contribuir a la mitigación del impacto ambiental en la industria química y fermentativa.

Permítasenos con esta obra aportar nuestro granito de arena.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE MISIONES

---

[www.editorial.unam.edu.ar](http://www.editorial.unam.edu.ar)