

Copia Nro  
IESE  
BUENOS AIRES  
010800 Mar 11  
INV – 03 / 9

**ANEXO 9 (Informe Final de la Investigación) A LA DIRECTIVA DEL RECTOR DEL IESE  
Nro 001/SI/01/11 (Procedimientos para la investigación en el ámbito del IESE)**

ESTUDIO DE PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS  
APLICADOS A LA INDUSTRIA QUÍMICA  
(EST-010)

AUTORAS DEL INFORME

Directora del proyecto: Lic. Estela Mónica López Sardi, EST.

Investigadoras: Lic. Beatriz García de Chena, EST; Lic. Leonor Bianchi de León, EST.

Auxiliar de Investigación: Srta. Antonela Marina Peralta, EST.

## **ÍNDICE:**

RESUMEN.....	PÁG. 3
INTRODUCCIÓN.....	PÁG. 4
MARCO TEÓRICO.....	PÁG. 6
MÉTODO.....	PÁG. 9
RESULTADOS.....	PÁG. 10
DETALLE DE ANEXOS.....	PÁG. 12
CONCLUSIONES.....	PÁG. 13
BIBLIOGRAFÍA.....	PÁG. 14
ANEXO 1.....	PÁG. 15
ANEXO 2.....	PÁG. 24
ANEXO 3.....	PÁG. 33
ANEXO 4.....	PÁG. 40

## **RESUMEN**

**Planteo del problema:** La biotecnología industrial consiste en la aplicación de herramientas de la biotecnología para buscar sustitutos naturales a los procesos químicos que se utilizan en la producción industrial.

El objeto de este estudio fué analizar las biotecnologías preexistentes y su grado de aplicación en las industrias químicas de nuestro medio, así como determinar la capacidad de adaptación de nuestras industrias a la implementación de este nuevo tipo de procesos.

**Metodología de trabajo:** se basó en los siguientes pilares: investigación bibliográfica, utilización de nuevas tecnologías, bases de datos de Internet, y aplicación de hardware y software simulador para el desarrollo de procesos químicos.

### **Principales resultados:**

Se ha realizado una exhaustiva investigación de aquellas áreas en que la Biotecnología se vincula con la Ingeniería y el desarrollo de mejoras en la Industria, redactándose un amplio documento con los productos de la investigación.

Se ha trabajado en forma conjunta con los docentes del Laboratorio de Simulación de Procesos Químicos de la EST, en la formulación y desarrollo de este tipo de procesos.

Se ha desarrollado una propuesta de aplicación de biotecnología a la controvertida industria del papel.

Hemos participado, con los productos de nuestro proyecto, de importantes eventos académicos, entre ellos el Congreso y Exposición Mundial de Ingeniería 2010.

### **Principales Conclusiones:**

La aplicación de procesos biotecnológicos es posible en muchas industrias donde este tipo de procesos no es habitual, resultando de ellos beneficios tecnológicos, económicos y menores costos ambientales.

## **INTRODUCCIÓN:**

### Planteo del problema:

Biotecnología es la sinopsis de “bios” que significa vida y tecnología, esta palabra engloba el concepto de aplicar a la tecnología procesos que incluyan seres vivos ó sus productos metabólicos. Este tipo de procesos tiene cada vez mayor aplicación en distintas industrias tales como: producción de alimentos, productos fermentados, medicamentos, biocombustibles, saneamiento ambiental, petroquímica y otras.

La biotecnología moderna va en camino de ser, si no lo es ya, el desarrollo más importante del siglo para lograr mejoras en la industria. La magnitud de este desarrollo dependerá en buena medida de la posibilidad que tengan los investigadores para proteger su obra y asegurar la recuperación de las altas inversiones que se requieren en investigación y desarrollo tecnológico. Nuestro país se encuentra en una posición privilegiada en el campo de aplicación y desarrollo de biotecnologías en relación al campo y la agroindustria. Es de interés estudiar otras posibilidades industriales de aplicación de este tipo de desarrollos.

En la actualidad la biotecnología puede ya ser considerada como una nueva ciencia, la cual se divide en sus particulares áreas de estudio, tales como biotransformación, bioproducción, biotecnología ambiental, biotecnología energética, y otros.

Objetivos: Fue objeto de análisis por parte del presente proyecto la determinación del grado de avance de esta ciencia en las distintas áreas industriales de aplicación, aún en aquellas en las que la biotecnología aún no se ha implementado como herramienta en la industria nacional.

Objetivo General: Estudiar el grado de avance y desarrollo de las aplicaciones biotecnológicas industriales en la Argentina y el mercado mundial.

Desarrollar diseños de procesos industriales bioproductivos de aplicación en la industria tradicional, planteando la posibilidad de adaptación de procesos tradicionales y/o reconversión de procesos.

Objetivos Específicos: Aplicar los conocimientos y desarrollos descriptos en los objetivos generales a distintas áreas industriales específicas que por su importancia, tienen preeminencia en el mercado Argentino. Dentro del grupo de emprendimientos industriales que se verían beneficiados por la aplicación de biotecnologías, podemos mencionar: desarrollo de formas alternativas de energía, saneamiento ambiental y aplicación a industrias de fuerte presencia en nuestro medio como farmacéutica, alimentación y producción de materias primas utilizando biofermentación. Dentro de los distintos grupos de procesos estudiados, realizar, utilizando como herramienta el software UNISIM, diagramas de flujo de casos industriales concretos seleccionados en base a su significación para la industria local.

También fue un importante objetivo del proyecto la transferencia de lo investigado hacia la comunidad educativa de la EST y al ámbito académico en general.

Preguntas de investigación: Hemos trabajado sobre interrogantes como los siguientes:

¿Es posible aplicar procesos biotecnológicos a industrias en las que habitualmente no se aplican?

¿Cuáles son los beneficios de su aplicación?

¿Cuáles son los riesgos de su aplicación, tomando en cuenta consideraciones técnicas, éticas, morales y ambientales?

Justificación del Estudio: El proyecto acompaña la tendencia actual de la industria hacia este tipo de desarrollos. El siglo XX se caracterizó por el auge de la industria petroquímica. En el siglo XXI será la biotecnología industrial y energética la gran suministradora de productos industriales y formas de energía novedosos, rentables y menos contaminantes.

El estudio de la factibilidad de aplicación de procesos biotecnológicos a la industria química no solo es posible y pertinente en el ámbito de la Universidad, sino que constituye una necesidad en función de la actualización de los conocimientos de docentes y alumnos incorporando a los procesos ya tradicionales, el saber sobre esta nueva tendencia mundial. De este modo, los resultados producidos a partir de la investigación, contarán con un interesante grado de transferencia hacia nuestra comunidad educativa centrada fundamentalmente en el ámbito de la Ingeniería.

Con respecto a la vinculación de estos conocimientos con los actualmente impartidos en la Unidad Académica, los resultados obtenidos en el estudio de aplicaciones biotecnológicas industriales vendrán a complementar y actualizar los conocimientos tradicionales en las áreas de Operaciones y Procesos Industriales.

Contexto General de la Investigación: El proyecto se desarrolló a través de la Secretaría de Investigaciones de la Escuela Superior Técnica (EST-IESE) entre mayo de 2009 y abril de 2011.

Limitaciones de la Investigación: La investigación fue planteada en función del estudio del estado del arte, análisis de datos y desarrollo de procesos mediante Software de Simulación. Las limitaciones de orden práctico del proyecto se plantean en función de la complejidad de los procesos biotecnológicos, los cuales han podido ser estudiados, analizados y muchas veces simulados, pero su realización efectiva requiere de un laboratorio de alta complejidad, no disponible en la Institución.

## MARCO TEÓRICO:

La biotecnología es el empleo de organismos vivos para la obtención de algún producto o servicio útil para el hombre. Así, la biotecnología tiene una larga historia, que se remonta a la fabricación del vino, el pan, el queso y el yogurt. El descubrimiento de que el jugo de uva fermentado se convierte en vino, que la leche puede convertirse en queso o yogurt, o que se puede hacer cerveza fermentando soluciones de malta y lúpulo fue el comienzo de la biotecnología, hace miles de años. Aunque en ese entonces los hombres no entendían cómo ocurrían estos procesos, podían utilizarlos para su beneficio. Estas aplicaciones constituyen lo que se conoce como *biotecnología tradicional* y se basa en el empleo de los microorganismos o de los productos que ellos fabrican.

Ahora los científicos comprenden en detalle cómo ocurren estos procesos biológicos, conocen bien a los microorganismos involucrados y a las sustancias que son capaces de fabricar. Saben, por ejemplo, que los microorganismos sintetizan compuestos químicos y enzimas que pueden emplearse eficientemente en procesos industriales.

Se cree que el primero en utilizar el término Biotecnología fue Karl Ereki, ingeniero húngaro, en 1919, al titular su libro como “Biotecnología en la producción cárnica y láctea de una gran explotación agropecuaria”.

A la biotecnología moderna, la podemos definir como el conjunto de procesos tecnológicos que involucran seres vivos o sus productos metabólicos en la producción de bienes y servicios.

La *biotecnología moderna*, surge en la década de los '80, y utiliza las técnicas de la ingeniería genética, para modificar y transferir genes de un organismo a otro. De esta manera es posible producir insulina humana en bacterias y, consecuentemente, mejorar el tratamiento de la diabetes. Por ingeniería genética también se fabrica la quimosina, enzima clave para la fabricación del queso y que evita el empleo del cuajo en este proceso. La ingeniería genética también es hoy una herramienta fundamental para el mejoramiento de los cultivos vegetales. Por ejemplo, es posible transferir un gen proveniente de una bacteria a una planta, tal es el ejemplo del maíz Bt. En este caso, los bacilos del suelo fabrican una proteína que mata a las larvas de un insecto que normalmente destruyen los cultivos de maíz. Al transferirle el gen correspondiente, ahora el maíz fabrica esta proteína y por lo tanto resulta refractaria al ataque del insecto.

Bajo la denominación de biotecnología hoy en día se incluyen una enorme variedad de procesos industriales y procedimientos diversos, tanto científicos como tecnológicos. Esta ciencia está presente en cada uno de los distintos campos de la actividad humana y forma parte de los conocimientos que deben adquirir y utilizar profesionales de muy diversos orígenes. Así vemos que la biotecnología hace su aparición en:

1. Medicina
2. Farmacéutica
3. Alimentos
4. Combustibles
5. Agroindustrias
6. Saneamiento ambiental
7. Desarrollo de nuevos materiales

Este amplio espectro de actividades hace que la biotecnología sea tema de estudio de médicos, farmacéuticos, ingenieros, especialistas en biología molecular, agrónomos, veterinarios, biólogos, etc.

Se agrupan dentro del campo de la biotecnología una variedad de técnicas diversas, tales como:

- Fermentaciones aeróbicas y anaeróbicas.
- Cultivo de tejidos.
- Aislamiento de genes, ADN recombinante e ingeniería genética.

Así, vemos que logros tan diferentes como el desarrollo de una nueva vacuna, la clonación de seres vivos, la fertilización in vitro, el cultivo de soja transgénica y la fabricación de quesos, vino y cerveza, se agrupan bajo el concepto de biotecnología.

Sin embargo, muchos estudiosos del tema aún no consideran a la biotecnología como una ciencia en sí misma, sino como un enfoque multidisciplinario que involucra ciencias variadas en la consecución de un mismo fin.

Por este motivo, se hace necesario clasificar y estudiar separadamente los procesos biotecnológicos según sus diferentes áreas de aplicación.

Son objeto de este estudio, los procesos biotecnológicos aplicados a la industria, que se conocen como Biotecnología Industrial.

Si el siglo XX se caracterizó por la importancia del sector petroquímico, es previsible que en el siglo XXI se produzca un declive de dicho sector a favor de la Biotecnología Industrial y Energética, que se situará en una posición preferente como suministradora de productos rentables, novedosos y menos contaminantes.

La *Biotecnología industrial* consiste en la aplicación de las herramientas de la Biotecnología para buscar sustitutos naturales a los procesos químicos que se utilizan en la producción industrial. La utilización de biocatalizadores y microorganismos seleccionados o modificados genéticamente, permite optimizar los procesos productivos, disminuir el consumo energético y de materias primas, así como una menor producción de residuos.

Dentro del área de la Biotecnología Industrial, los expertos identifican tres categorías de trabajo ó tendencias:

La *Bioproducción* consiste en la conversión de un compuesto químico o bioquímico en otros mediante el uso de un catalizador de origen biológico o sintético, como por ejemplo las enzimas.

La *Bioproductión* consiste en la selección o modificación de microorganismos y plantas vegetales para la producción de compuestos. De cara al futuro la producción de materiales y combustibles podrá realizarse a través de materias primas biológicas, mediante producción al aire libre (ej. cultivos y plantas); en grandes fermentadores (Ej. Microorganismos) o en condiciones de confinamiento (Ej. Insectos y animales).

La *Biotecnología ambiental* permite el tratamiento y recuperación de suelos, aguas y residuos urbanos e industriales. Entre otras aplicaciones, se utilizan microorganismos seleccionados genéticamente para digerir vertidos de petróleo o enzimas para digerir residuos de papeleras industriales.

La *Biotecnología Industrial* es llamada también *Biotecnología Blanca* porque sus procesos tienden a consumir menos recursos que las tecnologías tradicionales y al mismo tiempo suele ser menos contaminante que los procesos tecnológicos tradicionales para la producción de bienes y servicios. Por este motivo, la aplicación de procesos

biotecnológicos, da lugar a una industria más amigable con el ambiente: una industria sostenible.

Debemos, además, diferenciar la *biotecnología blanca*, de la *biotecnología roja*, vinculada a las mejoras en materia de salud humana y animal.

Para terminar con esta introducción, debemos hacer referencia a que la aplicación de procesos biotecnológicos muchas veces presenta ventajas en el terreno del avance de la ciencia, que se ven acompañadas por desventajas cuyas consecuencias no han sido aun completamente evaluadas. Ejemplo de ello podría ser que la mayor productividad y mejoras que derivan de la aplicación de biotecnología e ingeniería genética en el terreno agroindustrial de la producción de alimentos, no se ve reflejado en un mayor acceso a los alimentos por parte de los sectores más pobres de la población mundial. El alimento se encuentra hoy en día ampliamente producido pero escasamente distribuido.

Otras posibles desventajas, aún no resueltas, son los efectos adversos de las plantas transgénicas con respecto a la biodiversidad y los potenciales efectos tóxicos de los alimentos transgénicos en general sobre los individuos que los consumen.

También podemos situar en el terreno de las desventajas que el amplio costo de investigación de nuevos procesos en este campo hace que los desarrollos de esta ciencia se realicen patrocinados por grandes empresas y grupos económicos, quienes luego son “propietarios” de los conocimientos ó licencias de producción. De este modo el conocimiento, que debería ser patrimonio universal, pasa a ser del alcance de unos pocos.

Por último, no debemos olvidar que la aplicación de biotecnologías, tanto blancas como rojas, genera muchas veces serios conflictos éticos y morales que la humanidad aún está lejos de resolver, tales como: la propiedad del genoma humano, la fertilización in vitro, la creación de nuevas especies vegetales y animales, y, sobre todo, la clonación de seres vivos, entre ellos: el hombre.



## MÉTODO:

### Hipótesis de trabajo:

- La biotecnología tiene aplicaciones en importantes áreas industriales como lo son la producción de materias primas mediante la intervención de seres vivos, la agricultura con el desarrollo de cultivos y alimentos mejorados; usos no alimentarios de los cultivos, como por ejemplo plásticos biodegradables, aceites vegetales y biocombustibles; y cuidado medioambiental a través de la biorremediación, el tratamiento de residuos y la limpieza de sitios contaminados por actividades industriales.
- La biotecnología blanca, también conocida como biotecnología industrial, es aquella aplicada a procesos industriales. Un ejemplo de ello es el diseño de microorganismos para producir un producto químico o el uso de enzimas como catalizadores industriales, ya sea para producir productos químicos valiosos o destruir contaminantes químicos peligrosos (por ejemplo utilizando oxidorreductasas). También es aplicable en la industrias como la textil, en la creación de nuevos materiales, como plásticos biodegradables y en la producción de biocombustibles. *La biotecnología blanca tiende a consumir menos recursos que los procesos tradicionales utilizados para producir bienes industriales.*
- La bioingeniería es una rama de ingeniería que se centra en la biotecnología y en las ciencias biológicas. Se trata de un enfoque integrado de conocimientos que enriquecen y optimizan los principios tradicionales de la ingeniería. La aplicación de procesos biotecnológicos complementa a las tecnologías industriales tradicionales, siendo factible esta aplicación en la industria química nacional.
- La biotecnología industrial y energética son áreas de estudio y desarrollo de importancia fundamental para la industria del siglo XXI.

### Metodología:

La metodología de trabajo destinada a alcanzar los objetivos planteados para probar las anteriores hipótesis se ha basado en los siguientes pilares:

- a- Investigación bibliográfica para determinar el actual estado del arte.
- b- Investigación de la situación a nivel mundial y nacional de distintos desarrollos biotecnológicos, apelando como herramienta a las nuevas tecnologías tales como las que proporcionan la informática y el uso de Internet.
- c- El análisis de los datos obtenidos por parte de los profesionales integrantes del equipo de investigación,
- d- A partir de los datos analizados, el equipo de trabajo ha inferido la forma en que la aplicación de biotecnología se adapta y/o mejora la situación tecnológica de la industria química nacional.
- e- Desarrollo de procesos biotecnológicos industriales mediante el uso del software de simulación de procesos industriales HYSYS.

## **RESULTADOS:**

Se ha realizado una exhaustiva investigación de aquellas áreas en que la Biotecnología se vincula en forma directa con la Ingeniería y con el desarrollo y/o mejoras de la Industria.

Se ha desarrollado un extenso documento acerca de lo investigado, que será puesto a disposición de la comunidad académica de la Institución, quedando así disponible para la consulta de aquellos estudiantes que necesiten incorporar estos saberes para su futuro desarrollo profesional.

Se ha trabajado en forma conjunta con los docentes responsables del Laboratorio de Simulación de Procesos Químicos, colaborando en la adquisición de destrezas para la formulación y desarrollo de este tipo de Software.

Se ha investigado y divulgado en distintos eventos académicos, la importancia que la aplicación de biotecnologías puede tener en áreas industriales en las que no es usual su aplicación, tanto desde el punto de vista de la optimización del proceso industrial como en el valor subsidiario del cuidado del ambiente. Destacamos en este rubro, la investigación detallada sobre los beneficios que acompañarían la aplicación de procesos biotecnológicos a la industria del papel, tan controvertida en nuestro medio.

Hemos participado, con los productos de nuestro proyecto, de importantes eventos académicos, estando especialmente satisfechas de haber sido seleccionadas como uno de los proyectos que representó a la EST en el Congreso y Exposición Mundial de Ingeniería.

Otros resultados de transferencia de este proyecto son:

### **Participación en Congresos y Jornadas:**

<b>Nº</b>	<b>Estado</b>	<b>Autores</b>	<b>Título del trabajo</b>	<b>Nombre Congreso, Conferencia o Jornada, Lugar, año</b>
1	Presentado Formato: Póster	López Sardi, E.M. García; B. Peralta, A.	<b>ESTUDIO DE PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS APLICADOS A LA INDUSTRIA QUÍMICA</b>	Jornadas IESE Realizadas en EST, Cabildo 15, CABA los días 4/5 de mayo de 2010.
2	Presentado Formato: Póster	López Sardi, E.M. García; B. Peralta, A.	<b>ESTUDIO DE PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS APLICADOS A LA INDUSTRIA QUÍMICA</b>	I Jornadas de Ciencia y tecnología del Instituto Universitario Naval, CABA, 26/27 de agosto de 2010.
3	Presentado Formato: Exposición	López Sardi, E.M. García; B. Peralta, A.	<b>BIOPULPING: APLICACIÓN DE BIOTECNOLOGÍA EN LA</b>	I Congreso de Ingeniería Sustentable y Ecología Urbana,

4	Oral		<b>INDUSTRIA DEL PAPEL</b>	Universidad de Palermo, CABA, 13 al 15 de Octubre de 2010
	Presentado Formato: Póster	López Sardi, E.M. García; B. Peralta, A.	<b>PROYECTO DE INVESTIGACIÓN ESTUDIO DE PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS APLICADOS A LA INDUSTRIA QUÍMICA</b>	Congreso y Exposición Mundial de Ingeniería, La Rural, CABA, 17 al 20 de Octubre de 2010.

Publicaciones:

Nº	Estado	Autores	Título del trabajo	Ámbito, lugar, título del producto, editor, lugar, año
1	Publicado	López Sardi, E.M. García; B. Peralta, A.	“Estudio de procesos biotecnológicos aplicados a la industria química”	“La comunicación científica en el ámbito de la Armada Argentina” <a href="http://www.ara.mil.ar/pag.asp?idItem=148">http://www.ara.mil.ar/pag.asp?idItem=148</a> ISBN 1853-1377

Nº	Estado	Referato	Autores	Título artículo	Revista / Lugar / Vol / Pág / Año
1	En Prensa		López Sardi, E.M. García; B. Peralta, A.	“Biopulping: aplicación de biotecnología a la industria del papel”	Ciencia y Tecnología N° 10, Universidad de Palermo, Buenos Aires.

Otros resultados:

Las integrantes del equipo de investigación consideramos un resultado académico no menor, el haber contribuido a la formación profesional de la Sta. Antonela Peralta, flamante Ingeniera Química egresada de la EST, quien fue una brillante estudiante que acompañó todo el proceso de investigación como Investigadora Auxiliar, destacándose a través de sus aportes y predisposición al trabajo.

También destacamos la transferencia académica de los conocimientos investigados hacia los estudiantes de las distintas especialidades de Ingeniería de la EST, en nuestro carácter de docentes de la Facultad.

## **DETALLE DE ANEXOS:**

Se incluyen, al final del presente documento, los siguientes anexos, consistentes en algunas monografías y otros trabajos, publicados o inéditos, fruto del proceso de investigación. Cada uno de ellos se encuentra en el formato en que fue desarrollado en su origen.

### **ANEXO 1**

#### **ESTUDIO DE PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS APLICADOS A LA INDUSTRIA QUÍMICA**

Lic. López Sardi, Estela Mónica; Lic. García, Beatriz; Srta Peralta, Antonela.

Presentado: I Jornadas de Ciencia y tecnología del Instituto Universitario Naval, CABA, 26/27 de agosto de 2010. Modalidad: Póster.

Publicado en: “La comunicación científica en el ámbito de la Armada Argentina”

<http://www.ara.mil.ar/pag.asp?idItem=148> ISBN 1853-1377

### **ANEXO 2**

#### **BIOPULPING: APLICACIÓN DE BIOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA DEL PAPEL**

Estela M. López Sardi, Beatriz García, Antonela Peralta.

Escuela Superior Técnica, Secretaría de Investigaciones, IESE

Cabildo 15, Bs. As., Argentina, C.P. 1426,

Presentado en: I Congreso de Ingeniería Sustentable y Ecología Urbana, Universidad de Palermo, CABA, 13 al 15 de Octubre de 2010. Modalidad: exposición oral.

A publicarse en: Ciencia y Tecnología N° 10, Universidad de Palermo, Buenos Aires. (Actualmente en prensa).

### **ANEXO 3**

#### **IMPACTO SOCIAL DE LA BIOTECNOLOGÍA: EJEMPLOS DEL PASADO Y PERSPECTIVAS DE FUTURO.**

López Sardi, Estela Mónica. García de Chena, Beatriz. Peralta, Antonela.

Proyecto de Investigación “Estudio de procesos biotecnológicos aplicados a la industria química”. Escuela Superior Técnica del Ejército. IESE.

Trabajo Inédito.

### **ANEXO 4**

#### **BIOETANOL**

García, Beatriz; Bianchi, Leonor; Peralta, Antonela; López Sardi, Mónica.

EST- IESE

Trabajo Inédito.

## **CONCLUSIONES:**

El presente nos enfrenta con un planeta superpoblado. Las consecuencias directas de esta superpoblación son la demanda cada vez mayor de servicios de salud, alimentos y bienes de consumo, la generación de enormes cantidades de residuos, la contaminación del aire, el suelo y los recursos hídricos y el agotamiento de la matriz energética tradicional.

La aplicación de procesos biotecnológicos en el campo agroindustrial posibilita la producción de mayores cantidades de alimentos, en muchos casos con características mejoradas respecto del producto original.

Sin embargo, la repercusión que esta aplicación tiene en la sensación de la sociedad es, en general, negativa. Dejando de lado el análisis de factores económicos y las mejoras en la producción, la población en su conjunto reacciona con una sensación de alarma. Para la gente común, biotecnología es simplemente sinónimo de transgénico. Hay una conciencia instalada que relaciona, en el saber popular, la palabra transgénico con una sistemática vulneración de las leyes naturales.

Estas objeciones están dirigidas primordialmente hacia los alimentos obtenidos por aplicación de nuevas tecnologías, siendo aceptados con mucha menor resistencia, los avances médicos y terapéuticos generados por idéntico camino. Cae fuera del conocimiento popular las posibles aplicaciones de las biotecnologías en otros campos industriales menos explorados.

La correcta difusión de los beneficios que a futuro pueden derivar de la aplicación de la biotecnología, es un desafío para los profesionales que hoy se desempeñan en ese campo. Es importante, frente a la opinión social crítica, poder dar a conocer con claridad, los múltiples beneficios y adelantos que derivan de esta joven disciplina transversal.

La ruptura de la cadena de razonamiento popular que dice que biotecnología = transgénicos = perjuicio, implicará un enorme esfuerzo e inversión por parte de los protagonistas, y constituye un desafío que es necesario afrontar para abrir el camino de la aceptación social a los avances del futuro en este terreno.

La biotecnología pone a disposición de la sociedad una serie de herramientas que posibilitarán, no sólo adelantos en el terreno de la producción alimentaria y la medicina. Pertenecen también al terreno biotecnológico la producción de formas de energía renovable y con un mejor balance de carbono, la biorremediación ambiental y la sustitución de procesos industriales tradicionales por otros más limpios.

Algunos autores llaman, a nuestros tiempos, la era de la biotecnología. Esto nos habla de implicancias que van más allá de lo meramente científico y tecnológico. Tampoco se puede medir el impacto únicamente en función de variables económicas. El impacto social de la biotecnología involucra aspectos éticos y morales, además de lineamientos en el terreno político y debates en el campo religioso.

La mirada hacia el pasado pone de manifiesto que los avances de la ciencia, analizados a través de su impacto social, se entrelazan con otras múltiples variables para dar lugar a cambios profundos, motivo por el cual, en muchos casos, son ampliamente resistidos.

Es parte del desafío que el futuro pone a nuestra disposición, aprovechar plenamente el potencial de una disciplina que promete vastas mejoras para la calidad de vida de las personas y el cuidado ambiental.

### **BIBLIOGRAFÍA:**

Se detalla la bibliografía consultada para realizar el presente informe.

Amils, R. (2000). *Impacto de la biotecnología en el medio ambiente*. Oviedo, España. Ed. M. Palacios.

Ballesteros, J.; Fernández Ruiz Gálvez, M. E. (2007) *Biotecnología y posthumanismo*. Editorial Aranzadi.

Bergel, S. D.; Díaz, A. (2001). *Biotecnología y sociedad*. Buenos Aires. Editorial Ciudad Argentina.

Bull, A. T.; Holt, G. ; Lilly, D. (1982) *Biotechnology, international trends and perspectives*. París. OECD Publ.

Frazzetto, G. (2003). *White biotechnology*. Ed. EMBO Reports.

Ibáñez Pareja, E. (2005). *Introducción a la biotecnología*. Granada, España. Ed. Instituto de Biotecnología.

Libera Bonilla, B. E. (2007). *Impacto, impacto social y evaluación del impacto*. Editorial ECIMED.

Muñoz de Malajovich, M. A. (2004). *Biotecnología*. Quilmes, Argentina. Editorial Universidad Nacional de Quilmes.

Scragg, A. (1999). *Biotecnología medioambiental*. Editorial Acribia. Pearson Education Limited.

## **ANEXO 1**

### **ESTUDIO DE PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS APLICADOS A LA INDUSTRIA QUÍMICA**

**Lic. López Sardi, Estela Mónica; Lic. García, Beatriz; Srta Peralta, Antonela.**  
**[mlopezsardi@gmail.com](mailto:mlopezsardi@gmail.com)**

**Escuela Superior Técnica “Grl Div Manuel N. Savio”- IESE**

#### **Introducción y marco teórico**

La biotecnología es el empleo de organismos vivos para la obtención de algún producto o servicio útil para el hombre. Así, la biotecnología tiene una larga historia, que se remonta a la fabricación del vino, el pan, el queso y el yogurt. El descubrimiento de que el jugo de uva fermentado se convierte en vino, que la leche puede convertirse en queso o yogurt, o que se puede hacer cerveza fermentando soluciones de malta y lúpulo fue el comienzo de la biotecnología, hace miles de años. Aunque en ese entonces los hombres no entendían cómo ocurrían estos procesos, podían utilizarlos para su beneficio. Estas aplicaciones constituyen lo que se conoce como *biotecnología tradicional* y se basa en el empleo de los microorganismos ó de los productos que ellos fabrican.

Ahora los científicos comprenden en detalle cómo ocurren estos procesos biológicos, conocen bien a los microorganismos involucrados y a las sustancias que son capaces de fabricar. Saben, por ejemplo, que los microorganismos sintetizan compuestos químicos y enzimas que pueden emplearse eficientemente en procesos industriales.

Se cree que el primero en utilizar el término Biotecnología fue Karl Ereki, ingeniero húngaro, en 1919, al titular su libro como “Biotecnología en la producción cárnica y láctea de una gran explotación agropecuaria”.

A la biotecnología moderna, la podemos definir como el conjunto de procesos tecnológicos que involucran seres vivos ó sus productos metabólicos en la producción de bienes y servicios.

La *biotecnología moderna*, surge en la década de los '80, y utiliza las técnicas de la ingeniería genética, para modificar y transferir genes de un organismo a otro. De esta manera es posible producir insulina humana en bacterias y, consecuentemente, mejorar el tratamiento de la diabetes. Por ingeniería genética también se fabrica la quimosina, enzima clave para la fabricación del queso y que evita el empleo del cuajo en este proceso. La ingeniería genética también es hoy una herramienta fundamental para el mejoramiento de los cultivos vegetales. Por ejemplo, es posible transferir un gen proveniente de una bacteria a una planta, tal es el ejemplo del maíz Bt. En este caso, los bacilos del suelo fabrican una proteína que mata a las larvas de un insecto que normalmente destruyen los cultivos de maíz. Al transferirle el gen correspondiente, ahora el maíz fabrica esta proteína y por lo tanto resulta refractaria al ataque del insecto.

En un estudio preparado por Bull, Holt y Lilly para la Organización de Cooperación y Desarrollos Económicos (OCDE), se define a la biotecnología como “la aplicación de los principios de la ciencia y la ingeniería al tratamiento de los materiales por agentes biológicos para la producción de bienes y servicios” Bajo la denominación de biotecnología hoy en día se incluyen una enorme variedad de procesos industriales y procedimientos diversos, tanto científicos como tecnológicos. Esta ciencia está presente en cada uno de los distintos campos de la actividad humana y forma parte de los conocimientos que deben adquirir y utilizar profesionales de muy diversos orígenes. Así vemos que la biotecnología hace su aparición en:

8. Medicina
9. Farmacéutica
10. Alimentos
11. Combustibles

12. Agroindustrias
13. Saneamiento ambiental
14. Desarrollo de nuevos materiales

Este amplio espectro de actividades hace que la biotecnología sea tema de estudio de médicos, farmacéuticos, ingenieros, especialistas en biología molecular, agrónomos, veterinarios, biólogos, etc.

Se agrupan dentro del campo de la biotecnología una variedad de técnicas diversas, tales como:

- Fermentaciones aeróbicas y anaeróbicas.
- Cultivo de tejidos.
- Aislamiento de genes, ADN recombinante e ingeniería genética.

Así, vemos que logros tan diferentes como el desarrollo de una nueva vacuna, la clonación de seres vivos, la fertilización in vitro, el cultivo de soja transgénica y la fabricación de quesos, vino ó cerveza, se agrupan bajo el concepto de biotecnología.

Sin embargo, muchos estudiosos del tema aún no consideran a la biotecnología como una ciencia en sí misma, sino como un enfoque multidisciplinario que involucra ciencias variadas en la consecución de un mismo fin.

Por este motivo, se hace necesario clasificar y estudiar separadamente los procesos biotecnológicos según sus diferentes áreas de aplicación.

Son objeto de este estudio, los procesos biotecnológicos aplicados a la industria, que se conocen como Biotecnología Industrial.

Si el siglo XX se caracterizó por la importancia del sector petroquímico, es previsible que en el siglo XXI se produzca un declive de dicho sector a favor de la Biotecnología Industrial y Energética, que se situará en una posición preferente como suministradora de productos rentables, novedosos y menos contaminantes.

La *Biotecnología industrial* consiste en la aplicación de las herramientas de la Biotecnología para buscar sustitutos naturales a los procesos químicos que se utilizan en la producción industrial. La utilización de biocatalizadores y microorganismos seleccionados o modificados genéticamente, permite optimizar los procesos productivos, disminuir el consumo energético y de materias primas, así como una menor producción de residuos.

Dentro del área de la Biotecnología Industrial, los expertos identifican tres categorías de trabajo ó tendencias:

La *Biotransformación* consiste en la conversión de un compuesto químico o bioquímico en otros mediante el uso de un catalizador de origen biológico o sintético, como por ejemplo las enzimas.

La *Bioproducción* consiste en la selección o modificación de microorganismos y plantas vegetales para la producción de compuestos. De cara al futuro la producción de materiales y combustibles podrá realizarse a través de materias primas biológicas, mediante producción al aire libre (ej. cultivos y plantas); en grandes fermentadores (Ej. Microorganismos) o en condiciones de confinamiento (Ej. Insectos y animales).

La *Biotecnología ambiental* permite el tratamiento y recuperación de suelos, aguas y residuos urbanos e industriales. Entre otras aplicaciones, se utilizan microorganismos seleccionados genéticamente para digerir vertidos de petróleo o enzimas para digerir residuos de papeleras industriales.

La *Biotecnología Industrial* es llamada también *Biotecnología Blanca* porque sus procesos tienden a consumir menos recursos que las tecnologías tradicionales y al mismo tiempo suele ser menos contaminante que los procesos tecnológicos tradicionales para la producción de bienes y servicios. Por este motivo, la aplicación de procesos biotecnológicos, da lugar a una industria más amigable con el ambiente: una industria sostenible. Un ejemplo de aplicación de estos conceptos es la fabricación de vitamina B2. El rendimiento de la producción mediante múltiples reacciones químicas a partir de la D-ribosa es de sólo el 60 por ciento, mientras que la bioproducción da los siguientes resultados: 50 por ciento de reducción de costes, 36 por ciento de descenso en la producción de residuos y reducción del 25 por ciento del consumo de energía. En muchos casos, el paso de un proceso químico a un proceso biotecnológico reduce de forma significativa el consumo de recursos y el impacto ambiental sin necesidad de realizar una inversión cara y compleja.

Debemos, además, diferenciar la *biotecnología blanca*, de la *biotecnología roja*, vinculada a las mejoras en materia de salud humana y animal.



Para terminar con esta introducción, debemos hacer referencia a que la aplicación de procesos biotecnológicos muchas veces presenta ventajas en el terreno del avance de la ciencia, que se ven acompañadas por desventajas cuyas consecuencias no han sido aún completamente evaluadas. Ejemplo de ello podría ser que la mayor productividad y mejoras que derivan de la aplicación de biotecnología e ingeniería genética en el terreno agroindustrial de la producción de alimentos, no se ve reflejado en un mayor acceso a los alimentos por parte de los sectores más pobres de la población mundial. El alimento se encuentra hoy en día ampliamente producido pero escasamente distribuido.

Otras posibles desventajas, aún no resueltas, son los efectos adversos de las plantas transgénicas con respecto a la biodiversidad y los potenciales efectos tóxicos de los alimentos transgénicos en general sobre los individuos que los consumen.

También podemos situar en el terreno de las desventajas que el amplio costo de investigación de nuevos procesos en este campo hace que los desarrollos de esta ciencia se realicen patrocinados por grandes empresas y grupos económicos, quienes luego son "propietarios" de los conocimientos ó licencias de producción. De este modo el conocimiento, que debería ser patrimonio universal, pasa a ser del alcance de unos pocos.

Por último, no debemos olvidar que la aplicación de biotecnologías, tanto blancas como rojas, genera muchas veces serios conflictos éticos y morales que la humanidad aún está lejos de resolver, tales como: la propiedad del genoma humano, la fertilización in vitro, la creación de nuevas especies vegetales y animales, y, sobre todo, la clonación de seres vivos, entre ellos: el hombre.

### **Objetivos**

Nuestro proyecto se encuentra en sus etapas iniciales. Es objetivo del presente trabajo presentar el análisis realizado acerca de la posible aplicación de los conocimientos y desarrollos biotecnológicos investigados a distintas áreas industriales específicas que por su importancia, tienen preeminencia en el mercado Argentino. Nos hemos centrado en la sustitución de tecnologías tradicionales por otras que utilizan biotecnología, especialmente orientadas a las áreas industriales vinculadas con procesos químicos.

Dentro de los campos de aplicación estudiados hasta el momento se encuentran la industria de los alimentos, las fermentaciones industriales y la sustitución de tecnologías en la controvertida industria de la fabricación de pasta de celulosa.

### **Metodología**

La metodología aplicada para realizar el siguiente trabajo se basó en los siguientes pilares:

- Investigación bibliográfica.
- Investigación de la situación a nivel mundial y nacional de los desarrollos biotecnológicos bajo estudio, apelando como herramienta a las nuevas tecnologías tales como las que proporcionan la informática y el uso de Internet.
- El análisis de los datos obtenidos por parte de los integrantes del equipo de investigación.
- A partir de los datos analizados, el equipo de trabajo procedió a inferir la forma en que la aplicación de biotecnología se adapta y/o mejora la situación tecnológica de la industrias ó procesos químicos descritos en los objetivos.
- Se procedió al desarrollo de algunos de estos procesos biotecnológicos industriales mediante el uso del software de simulación de procesos industriales UNISIM.

### **Principales resultados obtenidos**

#### **a) Aplicación de biotecnología en la Industria del papel.**

La elaboración de pasta de celulosa para la industria del papel es una importante actividad productiva para distintas empresas en América Latina. En los últimos años este tipo de desarrollos ha sido fuertemente cuestionado en nuestra región a raíz de la instalación de dos grandes pasteras en territorio uruguayo, cuyo funcionamiento aún es resistido por un conjunto de grupos ambientalistas argentinos. El fundamento de las campañas de oposición a la instalación y funcionamiento de este tipo de emprendimientos es el alto grado de contaminación ambiental que deriva de las distintas etapas de preparación de la pasta de celulosa por los actuales procedimientos termoquímicos y mecánicos.

El procedimiento conocido como biopulping, al que podemos definir como la bioproducción de la pasta de celulosa gracias a la acción de distintos hongos de la putrefacción blanca de la madera, no sólo disminuye el uso de sustancias químicas y por ende la contaminación subsiguiente del medio ambiente, sino que tiene ventajas adicionales tales como una importante disminución en el consumo energético de la planta elaboradora. El proceso se comenzó a investigar en 1986 por el Forest Products Laboratory (FPL), USDA Forest Service, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, sumándose a las investigaciones, las universidades de Wisconsin y Siracusa, con el aporte de una serie de compañías relacionadas con la actividad.

La madera contiene celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa es la materia prima para la producción del papel debido a que su larga fibra puede dispersarse con facilidad en el agua y tiene la capacidad de formar una trama cerrada al secarse. La hemicelulosa tiene propiedades similares, pero su fibra es mucho más corta. La lignina es una molécula grande que forma enlaces cruzados con la hemicelulosa y le da a la madera su dureza y color oscuro. La ruptura de los enlaces con la lignina y su posterior degradación hace posible extraer celulosa y hemicelulosa limpias de la madera. Tradicionalmente esto se logra mediante el tratamiento de los chips de madera con hidróxido de sodio y sulfato de sodio para la degradación de los enlaces de lignina mientras que se recurre al blanqueo por cloro para eliminar el color oscuro de este compuesto.

Estos compuestos químicos son ambientalmente peligrosos y perjudiciales para la salud. Los productos derivados de este tratamiento tienen olor desagradable, son cancerígenos, tóxicos y contaminantes. Por este motivo, las investigaciones vinculadas a la industria de la madera estudian la remoción de la lignina mediante el biotratamiento. En la industria tradicional, uno de los costos más elevados deriva del uso de sustancias químicas y del gran gasto de energía eléctrica para preparar una pasta de celulosa exenta de lignina y con baja cantidad de hemicelulosa. En un proceso alternativo, se pueden utilizar diversos microorganismos que actúan como fuente potencial de enzimas capaces de degradar estos enlaces complejos lignina-hemicelulosa.

Biopulping es el tratamiento de los materiales lignocelulósicos con los hongos filamentosos que participan en los procesos naturales de putrefacción de la madera, conocida como putrefacción blanca. Este procedimiento biotecnológico se realiza previo al tratamiento termo-mecánico de los chips de madera para ser transformados en pulpa y más adelante en papel. La aplicación del procedimiento de biopulping, disminuye ó elimina la necesidad del uso de químicos alcalinos en la etapa de cocción y de cloro en la etapa de blanqueo.

Los hongos modifican enzimáticamente la lignina de las paredes celulares de la madera, lo cual tiene el efecto de suavizar o tiernizar las astillas de madera trituradas (chips). Este ablandamiento de los materiales lignocelulósicos, reduce substancialmente la energía eléctrica necesaria para la obtención mecánica de la pulpa de celulosa y permite obtener mejoras en la fuerza y calidad del papel obtenido.

El biopulping es un pretratamiento natural, que carece de consecuencias adversas para el medio ambiente.

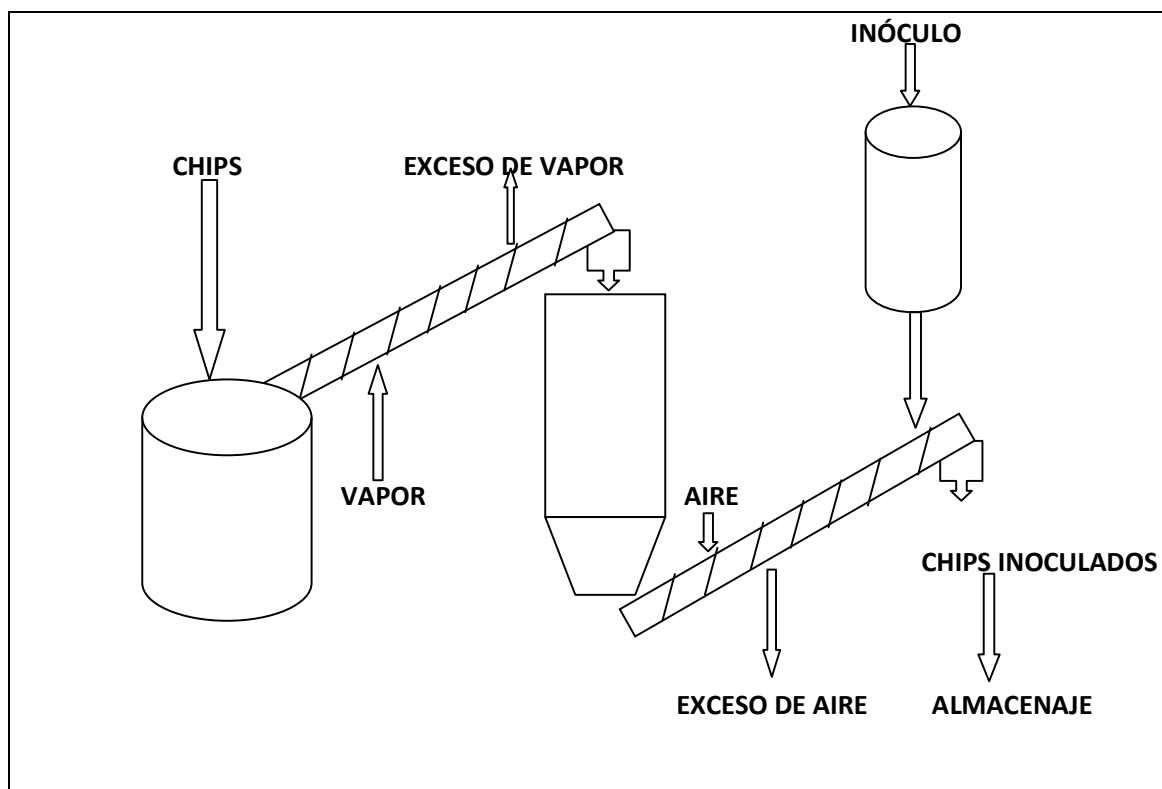
En el proceso de tratamiento fúngico la madera se descortiza y tritura para la obtención de los chips, acorde al proceso de producción normal. Luego los chips son tratados con vapor para reducir la tasa de microorganismos naturales de la madera y posteriormente enfriados con aire a presión e inoculados con los hongos específicos del proceso. Para la descontaminación de los chips es suficiente con el uso de vapor a baja presión. Los chips inoculados se almacenan de una a cuatro semanas para que actúen las enzimas de los hongos. Estos chips se ventilan con aire filtrado (para evitar contaminación) y humidificado (para favorecer el desarrollo fúngico). La ventilación tiene como finalidad el mantenimiento de una temperatura adecuada al crecimiento de los hongos.

Las instalaciones y etapas del proceso de biopulping pueden fácilmente insertas en una planta tradicional de fabricación de pulpa de celulosa. El esquema desarrollado a continuación nos muestra como se inserta el proceso de tratamiento biológico en relación con las instalaciones preexistentes.

MADERA → RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE → MÁQUINA DESCORTEZADORA → TRITURADORA → DECONTAMINACIÓN POR VAPOR → ENFRIAMIENTO DE LOS CHIPS (POR AIRE FILTRADO) → INOCULACIÓN DE LOS HONGOS → ALMACENAJE DE LOS CHIPS

## INOCULADOS (VENTILADOS Y HUMIDIFICADOS) →OBTENCIÓN DE CHIPS TIERNIZADOS→FABRICACIÓN DE PASTA DE CELULOSA POR PROCESOS TRADICIONALES

El material se recoge, transporta a la planta elaboradora, descorteza y astilla, siendo transformado en chips. Hasta aquí, se trata de etapas habituales en este tipo de industria. A continuación los chips se someten a la descontaminación por vapor. Se debe mantener una alta temperatura (por aplicación del vapor) el tiempo suficiente como para eliminar la microflora autóctona de la superficie de los chips y luego enfriar para poder inocular las cepas de hongos. En plantas a gran escala los procesos de descontaminación e inoculación se pueden realizar por procedimientos continuos, mediante la utilización de un sistema basado en dos transportadores de tornillo, que trasladan los chips al mismo tiempo que funcionan como cámaras de tratamiento. En el primero de estos transportadores a tornillo se inyecta el vapor, allí se calienta y descontamina la superficie de los chips. El exceso de vapor es ventilado hacia afuera mediante ductos adecuados. Entre ambos transportadores a tornillo hay una tolva y un depósito vertical que actúa como buffer. Por allí caen los chips. De la parte inferior de este depósito sale el segundo transportador a tornillo en cuya primera sección los chips son enfriados con aire a presión filtrado y más adelante, hacia el final de la misma cámara se inocula la suspensión que contiene los hongos, y se agrega agua y maíz macerado ó remojado, lo cual se mezcla con los chips, gracias a la acción giratoria del tornillo.



A continuación los chips se almacenan en forma de pilas ó montones, que puedan ser ventilados como para mantener la temperatura y humedad adecuadas para el crecimiento de los hongos y subsecuente biopulping. El tiempo de retención para este proceso es de una a cuatro semanas, variación que depende del tipo de madera empleada y de las cepas de hongos utilizadas. Este almacenamiento se debe realizar en silos, depósitos ó almacenes cerrados y no al aire libre. El motivo de esta recomendación es porque la acción de los hongos sobre los chips se ve seriamente afectada por las variaciones de temperatura entre el día y la noche que implica un almacenamiento al aire libre. La temperatura ideal para este almacenamiento ronda los 27°C. Una vez finalizado el período de almacenamiento, los chips tratados biológicamente siguen la vía habitual de tratamiento termo-mecánico para su transformación en pasta de celulosa.

El tratamiento biológico de los chips de madera reduce notablemente la utilización de reactivos químicos en la preparación de la pasta de celulosa, en especial aquellos que participan en la etapa de cocción (hidróxido de sodio y sulfato de sodio) y en la etapa de blanqueo (cloro, hipoclorito de sodio, dióxido de cloro). Esto no solo disminuye el costo de compra de estos reactivos sino que reduce notablemente los costos ambientales del proceso derivados de estas operaciones, tales como la producción de dioxinas y otros contaminantes, malos olores y productos tóxicos y cancerígenos. Ésta es la principal ventaja desde el punto de vista ambiental.

El uso de chips tratados biológicamente disminuye el gasto de energía eléctrica del proceso de la fabricación de pasta de celulosa, dado que se facilita su posterior tratamiento termo-mecánico. La proyección de los cálculos de escala experimental a escala industrial indica un ahorro de entre el 26 y el 31% de la energía eléctrica necesaria, siendo ésta una de las principales ventajas que este método presenta a nivel económico.

El papel fabricado con pasta que ha sido tratada bajo este proceso presenta mejor índice de resistencia a la tensión que el papel kraft, sin embargo, se nota un oscurecimiento en el color del papel. Este oscurecimiento se evita con un breve tratamiento de blanqueo ó mediante el uso de una mezcla al 50% de pasta biotratada y pasta kraft.

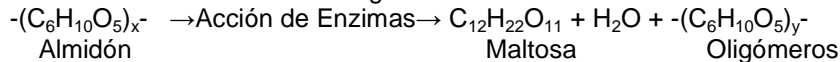
Entre las desventajas del proceso, podemos citar que la necesidad de almacenar los chips durante varias semanas para su biotratamiento, incrementa las necesidades iniciales de materia prima en planta, hasta que el ciclo productivo se establece. Por otra parte, el proceso fúngico ocurre mejor cuando los chips se tratan en depósitos que al aire libre, por ser los hongos muy sensibles a las variaciones exteriores de temperatura. Todo esto hace necesaria una inversión en la construcción de galpones adecuados para las operaciones, así como la inversión en los dispositivos continuos de descontaminación e inoculación de los chips. Sin embargo, las inversiones de reconversión de la planta se recuperan durante su operación, mediante el ahorro de energía.

**b) Biofermentaciones: obtención de etanol**

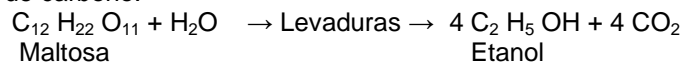
El alcohol etílico se puede producir a partir de varias fuentes, entre ellas, la fermentación de carbohidratos derivados de almidón de granos como el maíz, de papas, de azúcar de caña y remolacha, de residuos de celulosa de la agricultura, como el bagazo y tallo de maíz, y de madera y subproductos de ésta.

Los azúcares vegetales que constituyen el sustrato para la producción de bioetanol son, sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa. Estos azúcares son producidos por la planta durante el proceso de fotosíntesis, donde la energía solar es capturada bajo la forma de uniones químicas formándose las moléculas orgánicas vegetales mediante el CO<sub>2</sub> atmosférico, el agua y los nutrientes del suelo. Actualmente, ya existen levaduras genéticamente modificadas capaces de producir bioetanol a partir de residuos celulósicos como la paja del trigo y con un 40% más de rendimiento en etanol que las levaduras naturales. Esto es debido a que las nuevas levaduras son capaces de actuar no sólo sobre la glucosa sino también sobre la xilosa, hidrato de carbono que constituye el 30% de los desechos celulósicos y que no puede ser transformado por las levaduras comunes. Se está experimentando en Holanda, con una levadura capaz de generar biocombustibles a partir de la celulosa que constituye el papel.

El sustrato vegetal debe ser sometido a una primera etapa conocida con la denominación de sacarificación, donde la acción de las enzimas sacarificantes, tales como la α-amilasa y la amiloglicosidasa, hidrolizan los polisacáridos hasta llegar a mono ó disacáridos. La necesidad de este tratamiento radica en que, la obtención del bioetanol requiere la acción de levaduras que no pueden tomar como sustrato a los polisacáridos tales como el almidón. La degradación enzimática del almidón genera maltosa (un disacárido formado por dos unidades de glucosa) y oligómeros consistentes en varias unidades de glucosa.



El proceso de fermentación se basa en el crecimiento de un cultivo de levadura que actuará sobre este sustrato (maltosa) en un medio anaeróbico (en ausencia de aire). Así se convertirá la maltosa en etanol y dióxido de carbono.



El bioetanol así obtenido tiene usos como combustible sustituto de la gasolina en los motores de combustión interna. Brasil es el primer productor mundial de este tipo de combustibles seguido por Estados Unidos.

Mientras que en Brasil la producción de bioetanol se basa en la producción a partir de azúcar de caña, en los Estados Unidos la principal materia prima es el almidón de maíz.

Algunas de las ventajas que aporta el uso de este combustible son:

- Es renovable.
- Tiene mayor octanaje que las naftas de petróleo
- Su mayor contenido en oxígeno por molécula, disminuye las emisiones de CO, gas con mayor toxicidad que el CO<sub>2</sub>.

### c) Alimentos

Las primeras aplicaciones biotecnológicas de la historia surgen, precisamente en el campo de los alimentos mucho tiempo antes de que el hombre supiera qué tipo de fenómeno era el que estaba utilizando. Así, cómo mencionamos al principio, nos remontamos a la fabricación del pan, el queso, el vino y el yogurt.

Los aportes de la biotecnología para apoyar los procesos productivos de la industria bioalimentaria y agroalimentaria se apoyan en dos líneas de investigación

- Tecnología enzimática y biocatálisis.
- Alimentos genéticamente modificados.

A continuación enumeraremos la amplia gama de aplicaciones biotecnológicas al campo de los alimentos:

Fermentaciones no alcohólicas: panadería, encurtidos, ensilados (fermentación de forraje).

Fermentaciones alcohólicas: vino, cerveza, sidra, bebidas destiladas y vinagre (fermentación alcohólica y posterior transformación en ácido por acetobacter).

Fermentaciones cárnicas: embutidos y jamones curados.

Fermentaciones lácticas: leche, yogur, quesos, kéfir.

Fermentaciones especiales: salsa de soja, tofu.

Aplicación de enzimas: como por ejemplo transglutaminasas, enzimas capaces de “pegar” proteínas mediante la unión del grupo amino del aminoácido lisina y el grupo carboxamida de un resto del aminoácido glutamina, produciendo una unión altamente resistente a la proteólisis. Esta técnica se utiliza en la producción de alimentos cárnicos de fantasía tales como hamburguesas de carne o formitas de pollo, de elevada consistencia. Se producen también enzimas que hidrolizan la lactosa de la leche, volviéndola digerible para personas con problemas de tolerancia a este azúcar, enzimas de aplicación en enología, y otras.

También se experimenta con enzimas que facilitan la extracción de principios activos vegetales, como en la producción del aceite de coco, evitándose de este modo el uso de solventes orgánicos de extracción.

Un amplio campo también lo constituyen el desarrollo de los probióticos, la nutraceutica y la mejora genética de los alimentos vegetales.

Probióticos son microorganismos vivos que se adicionan a alimentos, generalmente lácteos, como la leche y el yogur. Estos microorganismos permanecen vivos en el intestino, contribuyen al equilibrio de la flora intestinal y potencian el sistema inmunológico. Son capaces de atravesar el tubo digestivo, recuperarse vivos en las heces y adherirse a la mucosa intestinal. No son patógenos, excepto en casos en que se suministran a individuos inmunodeficientes.

De acuerdo a la OMS son “microorganismos vivos que cuando son suministrados en cantidades adecuadas promueven beneficios en la salud del organismo huésped”. Las bacterias que cumplen esta función en el organismo son las bifidobacterias y los lactobacilos. A su vez, se llaman prebióticos a los alimentos que contienen hidratos de carbono no digeribles que favorecen el desarrollo de la flora intestinal benéfica. Se llaman simbióticos ó alimentos funcionales a los que poseen estos dos componentes, no nutrientes, debido a que se los ingiere para que cumplan en el organismo una función benéfica sobre la salud. Estos alimentos rondan el campo de la nutraceutica, nueva rama de la industria alimenticia que produce alimentos a los que se atribuyen propiedades terapéuticas. Sin embargo, según la legislación, no se los puede promocionar como sustancias que curan enfermedades, porque en ese caso pasaría a ser medicamentos, debiendo extremarse los controles para su producción y expendio.

Por último mencionaremos la producción de alimentos genéticamente modificados, campo bastante desarrollado, llamados también alimentos transgénicos. Dada la corta historia de este avance de la ingeniería genética, existe poca ó nula regulación con respecto a su desarrollo y utilización.

### **Bibliografía**

Commercialization of biopulping for mechanical pulping. Akhtar, M. Scott, G. Lentz, M. Horn, E. Swaney, R. Kirk, T.K. 7a Conferencia en Biotecnología en la Industria de la pulpa y del papel. Vancouver, Canadá. 1998.

Techline: decay processes and bioprocessing. Biopulping: “Technology learded from nature that gives back to nature” Ken Hammel. Dan Cullen. Gary Myers. Gary Scott. Massod Akhtar. United States Department of Agriculture. 1998.

Degradación de aromáticos por hongos de la podredumbre blanca. Dr. Juan Manuel Sánchez Yáñez. D. García Hernández. R. Sosa. C.R. Aguirre. 1997.

Biopulping and Biobleaching: An Energy and environment . Saving Technology for Indian Pulp and Paper Industry. O. P. Shukla, U.N. Rai. S. V. Subramanyam. Environews. Newsletter of ISEB. India. 2004.

New Enzymes for Biopulping. Forest Bioproducts Research Initiative.

Biotecnology. Industry and Environment. Fiber: biopulping. The national health museum resource center.

Producción de enzimas lignolíticas por basidiomycetes mediante la técnica de fermentación en sustrato sólido. Angélica María García Torres. Rodrigo Gonzalo torres Sáe. Revista Colombiana de Biotecnología. Vol. 5.Nº 1. 2003.

Fabricación de Pasta de Celulosa, aspectos técnicos y contaminación ambiental. López Sardi, Estela Mónica. Ciencia y Tecnología Nº 6. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Palermo.

Impacto de la biotecnología en los sectores industrial y energético. Fundación OPTI (Observatorio de la Prospectiva Tecnológica Industrial). España.

Bull, Holt, Lilly, *Biotechnology, internacional trenes and perspectivas*, OECD, París, 1982.

Noelia García Noguera, Abogada Especialista Derecho Nuevas Tecnologías, Aspectos legales de la Biotecnología.

<http://www.portaley.com/biotecnologia/bio1.shtml>

Biotecnología: Conceptos, ventajas, desventajas y Legislación en el ámbito Internacional  
Elaborado por: Giovanni Rodríguez Rodríguez Investigador del CEDIL

<http://www.asamblea.go.cr/biblio/cedil/estudios/biotecnolegisinternal.htm>

<http://www.argenbio.org/index.php?action=novedades&note=199>

<http://www.porquebiotecnologia.com.ar/doc/biotecnologia/biotec.asp>

<http://www.interempresas.net/plastico/Articulos/Articulo.asp?A=22522>

[www.agrobio.org](http://www.agrobio.org)

De Ross NM, Katan MB. Effects of probiotic bacteria on diarrhea, lipid metabolism, and carcinogenesis: a review of papers published between 1988 and 1998. *Am. J. Clin. Nutr.* 71, 405-411, 2000.

Alimentos funcionales probióticos. ANMAT.

## ANEXO 2

# **BIOPULPING: APLICACIÓN DE BIOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA DEL PAPEL**

**Estela M. López Sardi**

Escuela Superior Técnica, Secretaría de Investigaciones, IESE  
Cabildo 15, Bs. As., Argentina, C.P. 1426,  
[lsmonica@hotmail.com](mailto:lsmonica@hotmail.com)

**Beatriz García**

Escuela Superior Técnica, Secretaría de Investigaciones, IESE  
Cabildo 15, Bs. As., Argentina, C.P. 1426,  
[beatrizgarcia@live.com.ar](mailto:beatrizgarcia@live.com.ar)

**Antonela Peralta**

Escuela Superior Técnica, Secretaría de Investigaciones, IESE  
Cabildo 15, Bs. As., Argentina, C.P. 1426,  
[anto\\_mp15@hotmail.com](mailto:anto_mp15@hotmail.com)

## **Abstract**

The production of pulp for paper industry is a major production activity for several companies in Latin America. In recent years this kind of development has been strongly questioned in our region following the installation of two pulp mills in Uruguay, whose operation is still resisted by a group of Argentine environmental groups. The foundation of the campaign of opposition to the installation and operation of such enterprises is the high degree of environmental pollution that results from the various stages of preparation of cellulose pulp by current thermochemical and mechanical procedures. The procedure known as biopulping, which we define as the biomanufacturing of cellulose pulp by the action of various fungi of the white putrefaction of wood, not only reduces the use of chemicals and therefore the subsequent pollution of the environment but has additional advantages such as a significant reduction in energy consumption of the processing plant.

**Keywords:** biotechnology, paper pulp, fungi, environment, energy consumption.



## Resumen

La elaboración de pasta de celulosa para la industria del papel es una importante actividad productiva para distintas empresas en América Latina. En los últimos años este tipo de desarrollos ha sido fuertemente cuestionado en nuestra región a raíz de la instalación de dos grandes pasteras en territorio uruguayo, cuyo funcionamiento aún es resistido por un conjunto de grupos ambientalistas argentinos. El fundamento de las campañas de oposición a la instalación y funcionamiento de este tipo de emprendimientos es el alto grado de contaminación ambiental que deriva de las distintas etapas de preparación de la pasta de celulosa por los actuales procedimientos termoquímicos y mecánicos.

El procedimiento conocido como biopulping, al que podemos definir como la bioproducción de la pasta de celulosa gracias a la acción de distintos hongos de la putrefacción blanca de la madera, no sólo disminuye el uso de sustancias químicas y por ende la contaminación subsiguiente del medio ambiente, sino que tiene ventajas adicionales tales como una importante disminución en el consumo energético de la planta elaboradora.

**Palabras Clave:** biotecnología, pasta de papel, hongos, medio ambiente, consumo energético.

### 1 Introducción:

La elaboración de pasta de celulosa para la industria del papel es una importante actividad productiva para distintas empresas en América Latina. En los últimos años este tipo de desarrollos ha sido fuertemente cuestionado en nuestra región a raíz de la instalación de dos grandes pasteras en territorio uruguayo, cuyo funcionamiento aún es resistido por un conjunto de grupos ambientalistas argentinos. El fundamento de las campañas de oposición a la instalación y funcionamiento de este tipo de emprendimientos es el alto grado de contaminación ambiental que deriva de las distintas etapas de preparación de la pasta de celulosa por los actuales procedimientos termoquímicos y mecánicos.

El procedimiento conocido como biopulping, al que podemos definir como la bioproducción de la pasta de celulosa gracias a la acción de distintos hongos de la putrefacción blanca de la madera, no sólo disminuye el uso de sustancias químicas y por ende la contaminación subsiguiente del medio ambiente, sino que tiene ventajas adicionales tales como una importante disminución en el consumo energético de la planta elaboradora. El proceso se comenzó a investigar en 1986 por el Forest Products Laboratory (FPL), USDA Forest Service, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, sumándose a las investigaciones, las universidades de Wisconsin y Siracusa, con el aporte de una serie de compañías relacionadas con la actividad.

El presente estudio abarca los diferentes aspectos del problema:

- Reseña de las tecnologías actuales en la fabricación de la pasta de celulosa.
- Análisis de la contaminación ambiental que deriva de los procesos tradicionales de fabricación de papel.
- Descripción de la técnica de biopulping.
- Posibilidad de reconversión de las plantas.
- Hongos y enzimas participantes en el proceso.
- Ventajas y desventajas de la aplicación de biopulping.

En la segunda sección del presente trabajo se trata acerca del estado actual de la fabricación de pasta de celulosa y el estado del arte referido al tratamiento biológico de los chips de madera. La tercera sección está referida a posible contribución de esta tecnología a la citada industria. La cuarta sección contiene la conclusión del presente trabajo.

## 2 Estado del arte

### 2.1 Fabricación de pasta de celulosa

La fabricación del papel consta principalmente de dos etapas

- 1.- Fabricación de pasta de celulosa.
- 2.- Elaboración del papel.

Las materias primas para la elaboración de la pasta de celulosa son, en un 95% pulpa de madera y el 5 % restante trapos de lino o algodón que se reciclan.

En la elaboración de pasta a partir de madera (truncos) se siguen los siguientes pasos:

- Se descortezan los troncos en máquinas llamadas descortezadoras.
- Se los troza y tritura en máquinas troceadoras y trituradoras (molinos).
- La pasta resultante está compuesta de celulosa y lignina. Se trata la pasta en una etapa llamada blanqueo para eliminar la lignina.

En la pasta de papel se encuentran como componentes principales dos clases de fibras: fibras de celulosa y fibras de lignina.

La celulosa, un hidrato de carbono, es el constituyente más abundante de esta pasta. Está formada por unidades de glucosa, al igual que el almidón. La diferencia está en el tipo de unión química existente entre dichas unidades. Mientras que en el almidón existe un tipo de unión entre unidades de glucosa llamada  $\alpha$  1-4 que puede ser degradada por nuestras enzimas digestivas a glucosa y ser asimilada nutricionalmente, en la celulosa las unidades de glucosa están unidas por enlaces  $\beta$  1-4 que no pueden ser degradados por las enzimas digestivas humanas. En los animales herbívoros es asimilada en forma indirecta en el tubo digestivo por acción de microorganismos naturalmente presentes en él.

La lignina (25 % de la madera) es un tipo de celulosa compuesta, combinada con moléculas de otras sustancias químicas llamadas pentosanos y compuestos químicos aromáticos ó cíclicos. Esta composición la vuelve más rígida y oscura, por lo que debe ser separada y/o blanqueada para poder obtener una pasta de papel de calidad adecuada.

Existen distintos tipos de procesos para el blanqueo de la pasta de celulosa, a saber:

**2.1.1. Proceso TMP:** papel termomecánico. Es el proceso más simple. Con él se fabrica papel de baja calidad, por ejemplo el papel para periódicos (diarios).

MADERA → SE DESCORTEZA → SE TRITURA → SE BLANQUEA CON AIRE U OXIGENO → SE FILTRA, SECA Y PROCESA EN LOS RODILLOS → PAPEL

Solo se pueden usar en este proceso maderas blandas como las de pino, no así eucaliptos que son maderas duras.

Ventaja de este proceso: se emplea toda la madera excepto la corteza.

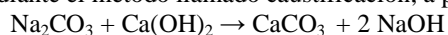
Desventaja: Debido a que se forman fibras cortas se obtiene un papel de propiedades mecánicas pobres y baja calidad de reciclado. Parte de la lignina permanece en el papel TMP, que aunque blanqueada, se vuelve rápidamente amarilla cuando se expone a la luz.

Esto no supone un problema para los periódicos que solo deben sobrevivir un día, pero no es útil para papel destinado a otros usos tales como: papel blanco para libros, papel resistente para cartón.

**2.1.2 Proceso Kraft:** Combina buena calidad con bajo costo. Pueden usarse tanto maderas blandas como duras (pinos ó eucaliptos).

MADERA → DESCORTEZAR → ASTILLAR → COCCIÓN EN SOSA CAUSTICA (NaOH) PARA SEPARAR LA LIGNINA

La pulpa obtenida hasta aquí es de gran resistencia debido a la calidad y longitud de sus fibras, pero aún es oscura, puede usarse así para la fabricación de cartón. En cuanto a la sosa cáustica se la obtiene por lo general mediante el método llamado caustificación, a partir de soda Solvay



Pero también se la puede obtener por electrólisis a partir de una salmuera (SOLUCIÓN ACUOSA DE SAL COMÚN CLORURO DE SODIO), este segundo método permite obtener en la misma planta el cloro, elemento controversial que se emplea en el blanqueo posterior de la pasta.



El proceso de electrólisis en si mismo, puede llevarse a cabo mediante dos tecnologías distintas : celdas de diafragma poroso y celda con cátodo de mercurio. Este segundo procedimiento resulta altamente contaminante por las filtraciones de mercurio al ambiente a través de los efluentes ( aguas residuales) por ser un metal pesado con alto grado de toxicidad.

En esta etapa de cocción se usan también (para favorecer la disolución de la lignina) sulfato de sodio  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$ , trabajando a 200°C y alta presión para formar la pulpa. Se generan en este proceso gases sulfhídricos, característicos por su mal olor. Liberados al ambiente, estos gases son contaminantes atmosféricos, precursores de lluvia ácida (con consecuencias para estructuras de edificios, maquinarias y daños a la vegetación) , y también a partir de ciertos niveles de concentración, tóxicos para el ser humano causando cefaleas, náuseas y trastornos hepáticos. Estos gases, por lo tanto, no deberían ser vertidos al ambiente sin tratamiento. En muchos casos se los incinera para su oxidación, lo que disminuye los sulfuros, se los filtra o trata por medios electrostáticos.

La segunda etapa del blanqueo en el método Kraft se puede llevar a efecto utilizando cloro  $\text{Cl}_2$ , dióxido de cloro  $\text{ClO}_2$ , ozono  $\text{O}_3$  y/o agua oxigenada  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

**BLANQUEO CON CLORO:** Son necesarios de 30 a 80 kg de cloro para fabricar una tonelada de pasta Kraft. Este mecanismo proporciona el mejor resultado con respecto a la calidad del papel porque disuelve toda la lignina sin que se ataque a la celulosa y el resultado es un papel blanco brillante que mantiene su aspecto durante décadas. Se procede de la siguiente manera:

PULPA → ENJUAGUE CON AGUA → PASTA → SE FILTRA Y ESPESA QUITANDO AGUA → UNIDAD DE BLANQUEO

En la unidad de blanqueo se alternan fases de cloración con fases de lavados con sosa cáustica (extracción) para retirar lignina.

El cloro utilizado (en estado gaseoso) en un 90% se transforman en iones cloruro (no tóxicos), 0,5 % se queda en la pasta, y el 9,5% restante se convierte en compuestos químicos organoclorados (AOX : Halógenos orgánicos absorbibles) entre los que se incluyen las dioxinas. Una muy pequeña proporción de estos AOX queda en el papel y la gran parte de los mismos queda en los residuos que la planta debería reciclar, tratar o retener antes de volcar los efluentes al medio ambiente.

El uso de dióxido de cloro  $\text{ClO}_2$  o de hipoclorito  $\text{NaClO}$ , permiten obtener una calidad de papel similar pero no modifican el problema de los AOX.

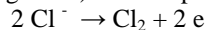
**2.1.3. Método ECF:** (parcialmente exento de cloro) Fue desarrollado por cooperación entre las fábricas de papel y distintas universidades, especialmente en Suecia y Finlandia. Este método propicia tiempos de cocción más prolongados y un preblanqueo con oxígeno seguido de una etapa más corta de blanqueo con dióxido de cloro. Con este método no aparecen niveles detectables de dioxina ni en la pulpa ni en el efluente y se redujo la cantidad de AOX de 5 kg/ ton de pulpa a 800g/ ton de pulpa. El uso del oxígeno constituye un paso delicado puesto que degrada a la celulosa, por lo que es necesario encontrar un punto de equilibrio para que el proceso sea rentable.

**2.1.4. Método TCF:** (totalmente exento de cloro) Es el método promocionado por Green Peace. Se usa agua oxigenada u ozono para el blanqueo. Este proceso incrementa el brillo de la pulpa pero no separa lignina adicional, por lo que es necesario el uso de un 10% más de madera para la obtención de la misma cantidad de papel. La pasta obtenida está constituida por fibras más cortas lo cual limita las posibilidades de reciclado. No se detectan ni dioxinas ni AOX en el efluente, pero los niveles de dioxinas retenidos por el papel son más altos que en los métodos anteriores. Este método fue desarrollado por la empresa sueca SODRA, mayor productora europea de pasta de celulosa, y es el que aplica ENCE en su planta de Pontevedra.

Este método permite cerrar el ciclo de las aguas residuales de la planta, al no existir AOX en los vertidos.

Curiosamente se detectó que el papel procesado por el método TCF presenta un nivel de dioxinas residuales en el propio papel que es mayor al nivel de dioxinas residuales en el papel Kraft obtenido por otras tecnologías. La pregunta es ¿de dónde proviene el cloro?

En primer lugar se pensó que el cloro provenía de los tratamientos potabilizadores del agua utilizada en la planta, pero esta posibilidad se descartó porque el nivel de dioxinas presentes en el papel tiene una cantidad de cloro superior a la que aparece en el agua potable al inicio del proceso. Esta pregunta sigue sin respuesta y en investigación, pero actualmente se cree que el cloro se forma durante el proceso a partir de la sal  $\text{NaCl}$  presente ya sea como materia prima (en la soda cáustica) o como componente contaminante habitual. Esta sal sufriría un proceso de oxidación a cloro por reacción química de óxido reducción con el peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) en la etapa de blanqueo.



**2.1.5. Papel Reciclado:** Al fabricar pulpa se recurre, no solo a madera nueva, sino también al reciclado añadiendo a la pasta telas de lino y algodón y gran cantidad de papel viejo. El reciclado genera un 11% en masa de desechos contaminados con metales pesados que provienen ya sea de las tintas usadas anteriormente como del caolín utilizado para absorberlas.

## 2.2. Problemas medioambientales asociados a la producción de papel

1.- El mayor problema ambiental derivado de esta industria es el gran consumo de madera, se deforestan bosques enteros, generalmente de pino o eucaliptos. Una gestión sostenible de este tipo de emprendimientos debe incluir la adecuada reforestación de las zonas con especies destinadas a este fin.

2.- Liberación de  $\text{CO}_2$  (gas con efecto invernadero) por quema de la hojarasca, ramas y otras partes del árbol que no se usan.

3.- Elevado consumo de agua (hasta  $60 \text{ m}^3$ / ton de pasta)

4.- Contaminación derivada de la etapa de cocción (ya detallada al explicar el proceso Kraft).

5.- Vertidos. Presentan distintos tipos de contaminación:

- Partículas sedimentables y en suspensión.
- Sustancias que consumen oxígeno modificando DBO(demanda biológica de oxígeno) y DQO (demanda química de oxígeno) en las aguas residuales.
- Compuestos químicos organoclorados (principalmente del grupo de las dioxinas). Se conocen más de 11000 productos organoclorados diferentes. Las dioxinas y los furanos resultan ser los más tóxicos. Los organoclorados emitidos al aire ó al agua en los vertidos industriales tienen la propiedad de ser fotoactivos, reaccionando con la luz junto a otros agentes químicos o biológicos del medio ambiente, volviendo a generar más productos de este tipo. Presentan las siguientes características: .Son liposolubles por lo que tienden a acumularse en los tejidos grasos de los seres vivos. Según un informe de la EPA (Environment Policy Agency de los EEUU) sobre las dioxinas (9/94) estas producen cáncer en el ser humano. En dosis inferiores a las asociadas con cáncer ocasionan alteraciones en el sistema inmunitario, reproductor y endócrino. Los fetos y embriones de peces, aves, mamíferos y seres humanos son muy sensibles a sus efectos tóxicos. No existe un nivel seguro de exposición a las dioxinas. El mismo informe afirma que las principales fuentes de generación de dioxinas son, por orden de importancia la incineración de residuos y las fábricas de pasta de papel. Las dioxinas son muy estables. Pueden permanecer en aire, agua y suelo durante cientos de años, resistiendo tanto a la degradación física como química. Por no existir estos compuestos en la naturaleza los seres vivos no han desarrollado mecanismos para la biodegradación metabólica de estos compuestos. Por lo tanto resisten a la degradación biológica.
- Colorantes.
- Compuestos de la madera (ácidos de la resina y ácidos grasos insaturados como oleico, linoleico, palmitoleico, etc)
- Nutrientes (nitrógeno y fósforo) que conducen a la eutrofización de los cursos de agua.
- Modificación del pH.
- Aumento de la temperatura de los cursos de agua.

6.- Emisiones atmosféricas: SO<sub>2</sub>, malos olores por sulfuros, partículas de hollín, CO, compuestos orgánicos volátiles, compuestos clorados, óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

### 2.3. Biopulping

La madera contiene celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa es la materia prima para la producción del papel debido a que su larga fibra puede dispersarse con facilidad en el agua y tiene la capacidad de formar una trama cerrada al secarse. La hemicelulosa tiene propiedades similares, pero su fibra es mucho más corta. La lignina es una molécula grande que forma enlaces cruzados con la hemicelulosa y le da a la madera su dureza y color oscuro. La ruptura de los enlaces con la lignina y su posterior degradación hace posible extraer celulosa y hemicelulosa limpias de la madera. Tradicionalmente esto se logra mediante el tratamiento de los chips de madera con hidróxido de sodio y sulfato de sodio para la degradación de los enlaces de lignina mientras que se recurre al blanqueo por cloro para eliminar el color oscuro de este compuesto.

Estos compuestos químicos son ambientalmente peligrosos y perjudiciales para la salud. Los productos derivados de este tratamiento tienen olor desagradable, son cancerígenos, tóxicos y contaminantes. Por este motivo, las investigaciones vinculadas a la industria de la madera estudian la remoción de la lignina mediante el biotratamiento. En la industria tradicional, uno de los costos más elevados deriva del uso de sustancias químicas y del gran gasto de energía eléctrica para preparar una pasta de celulosa exenta de lignina y con baja cantidad de hemicelulosa. En un proceso alternativo, se pueden utilizar diversos microorganismos que actúan como fuente potencial de enzimas capaces de degradar estos enlaces complejos lignina-hemicelulosa.

Biopulping es el tratamiento de los materiales lignocelulósicos con los hongos filamentosos que participan en los procesos naturales de putrefacción de la madera, conocida como putrefacción blanca. Este procedimiento biotecnológico se realiza previo al tratamiento termo-mecánico de los chips de madera para ser transformados en pulpa y más adelante en papel. La aplicación del procedimiento de biopulping, disminuye ó elimina la necesidad del uso de químicos alcalinos en la etapa de cocción y de cloro en la etapa de blanqueo.

Los hongos modifican enzimáticamente la lignina de las paredes celulares de la madera, lo cual tiene el efecto de suavizar o tiernizar las astillas de madera trituradas (chips). Este ablandamiento de los materiales lignocelulósicos, reduce substancialmente la energía eléctrica necesaria para la obtención mecánica de la pulpa de celulosa y permite obtener mejoras en la fuerza y calidad del papel obtenido.

El biopulping es un pretratamiento natural, que carece de consecuencias adversas para el medio ambiente.

En el proceso de tratamiento fúngico la madera se descorteza y tritura para la obtención de los chips, acorde al proceso de producción normal. Luego los chips son tratados con vapor para reducir la tasa de microorganismos naturales de la madera y posteriormente enfriados con aire a presión e inoculados con los

hongos específicos del proceso. Para la descontaminación de los chips es suficiente con el uso de vapor a baja presión. Los chips inoculados se almacenan de una a cuatro semanas para que actúen las enzimas de los hongos. Estos chips se ventilan con aire filtrado (para evitar contaminación) y humidificado (para favorecer el desarrollo fúngico). La ventilación tiene como finalidad el mantenimiento de una temperatura adecuada al crecimiento de los hongos.

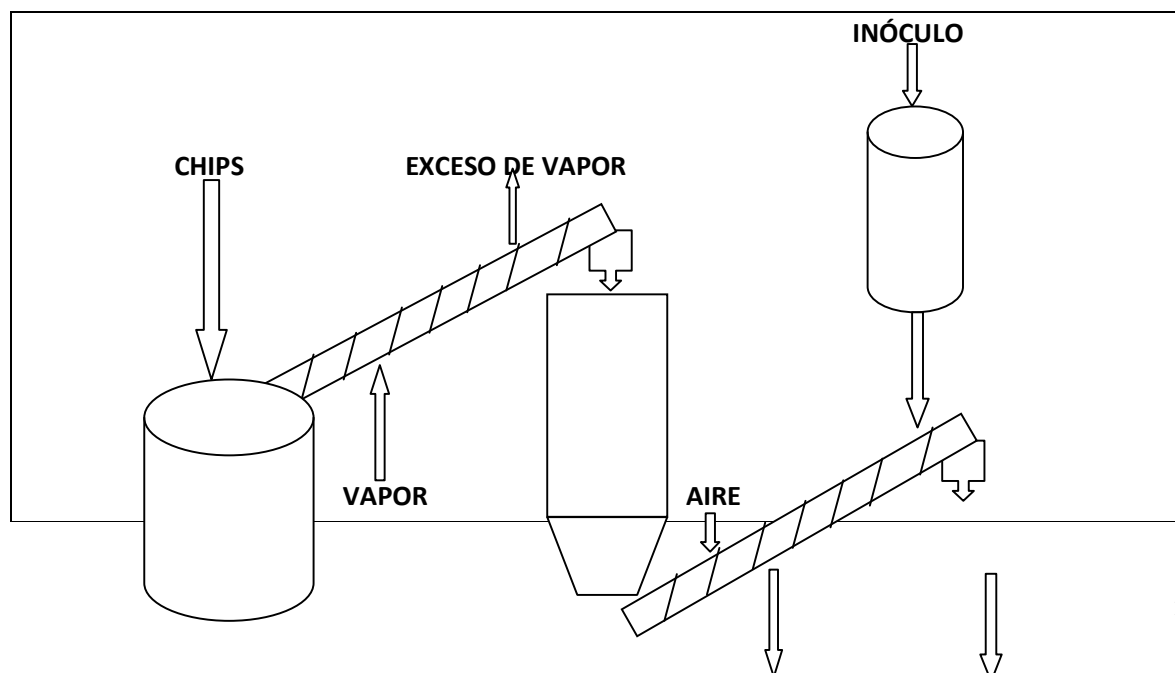
### 3 Contribución

#### 3.1. Proceso y reconversión de plantas

Las instalaciones y etapas del proceso de biopulping pueden fácilmente insertas en una planta tradicional de fabricación de pulpa de celulosa. El esquema desarrollado a continuación nos muestra cómo se inserta el proceso de tratamiento biológico en relación con las instalaciones preexistentes.

MADERA → RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE → MÁQUINA DESCORTEZADORA → TRITURADORA → DECONTAMINACIÓN POR VAPOR → ENFRIAMIENTO DE LOS CHIPS (POR AIRE FILTRADO) → INOCULACIÓN DE LOS HONGOS → ALMACENAJE DE LOS CHIPS INOCULADOS (VENTILADOS Y HUMIDIFICADOS) → OBTENCIÓN DE CHIPS TIERNIZADOS → FABRICACIÓN DE PASTA DE CELULOSA POR PROCESOS TRADICIONALES

El material se recoge, transporta a la planta elaboradora, descortezas y astilla, siendo transformado en chips. Hasta aquí, se trata de etapas habituales en este tipo de industria. A continuación los chips se someten a la descontaminación por vapor. Se debe mantener una alta temperatura (por aplicación del vapor) el tiempo suficiente como para eliminar la microflora autóctona de la superficie de los chips y luego enfriar para poder inocular las cepas de hongos. En plantas a gran escala los procesos de descontaminación e inoculación se pueden realizar por procedimientos continuos, mediante la utilización de un sistema basado en dos transportadores de tornillo, que trasladan los chips al mismo tiempo que funcionan como cámaras de tratamiento. En el primero de estos transportadores a tornillo se inyecta el vapor, allí se calienta y descontamina la superficie de los chips. El exceso de vapor es ventilado hacia afuera mediante ductos adecuados. Entre ambos transportadores a tornillo hay una tolva y un depósito vertical que actúa como buffer. Por allí caen los chips. De la parte inferior de este depósito sale el segundo transportador a tornillo en cuya primera sección los chips son enfriados con aire a presión filtrado y más adelante, hacia el final de la misma cámara se inocula la suspensión que contiene los hongos, y se agrega agua y maíz macerado ó remojado, lo cual se mezcla con los chips, gracias a la acción giratoria del tornillo.



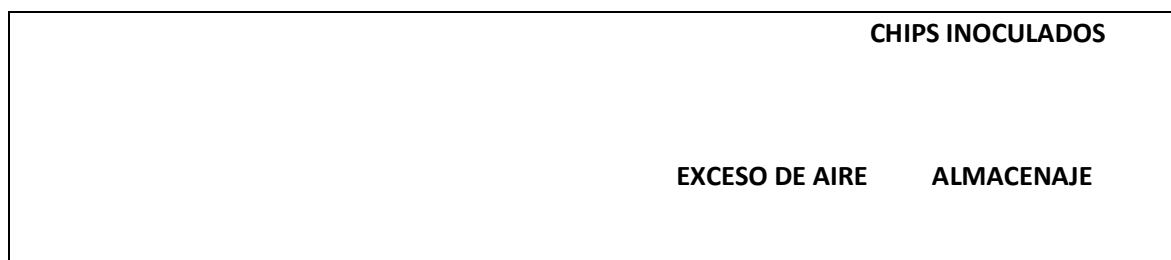


Figura 1.- Sistema de tratamiento continuo para descontaminar e inocular los chips de madera.

A continuación los chips se almacenan en forma de pilas ó montones, que puedan ser ventilados como para mantener la temperatura y humedad adecuadas para el crecimiento de los hongos y subsecuente biopulping. El tiempo de retención para este proceso es de una a cuatro semanas, variación que depende del tipo de madera empleada y de las cepas de hongos utilizadas. Este almacenamiento se debe realizar en silos, depósitos ó almacenes cerrados y no al aire libre. El motivo de esta recomendación es porque la acción de los hongos sobre los chips se ve seriamente afectada por las variaciones de temperatura entre el día y la noche que implica un almacenamiento al aire libre. La temperatura ideal para este almacenamiento ronda los 27°C. Una vez finalizado el período de almacenamiento, los chips tratados biológicamente siguen la vía habitual de tratamiento termo-mecánico para su transformación en pasta de celulosa.

Si bien la adaptación descrita muestra un concepto básico del proceso, distintas variaciones pueden realizarse fácilmente. Por ejemplo, aquellas plantas que no inician su proceso a partir de madera en troncos, sino que compran los chips ya elaborados, iniciarán su operación en la etapa de descontaminación.

Las etapas de descontaminación, enfriado e inoculación pueden realizarse en transportadores de tornillo, como hemos descrito antes, o en cintas transportadoras que atraviesan las distintas cámaras. Si bien las instalaciones descritas pueden encontrarse al aire libre, es recomendable su instalación bajo techo ó aún mejor, en galpones cerrados.

### **3.2. Hongos y enzimas participantes del proceso**

Los hongos de la putrefacción blanca de la madera producen enzimas oxidativas extracelulares que provocan la oxidación de la lignina.

En general, estos hongos de la podredumbre blanca son basidiomicetos como *Trametes versicolor*, *Pleurotus floridae* y *Phanerochaete chrysosporium*, comunes en bosques de pinos y encinos. Su acción sobre la lignina le da a la madera un aspecto blanquecino, de allí su nombre. La lignina es un compuesto polifenólico heterogéneo cuya degradación oxidativa por parte de los hongos es parte del ciclo natural del carbono en bosques y otros ecosistemas.

Se han llevado a cabo distintas investigaciones microbiológicas para identificar cuáles son las especies con mayor habilidad para la decoloración y remoción de la lignina, con un mínimo efecto de degradación de la celulosa. Se conocen distintas especies de hongos que tienen estas propiedades: *Pleurotus* para el tratamiento de la paja de cereales y *Phanerochaete chrysosporium*, *P. magnolia*, *Pycnoporus cinnabarinus*, *Aspergillus* y *Penicillium* para el tratamiento de chips de madera de eucaliptos. La especie *Ceriporiopsis subvermispora* permite obtener un papel más brillante aunque afecta levemente el contenido de celulosa de la pulpa disuelta.

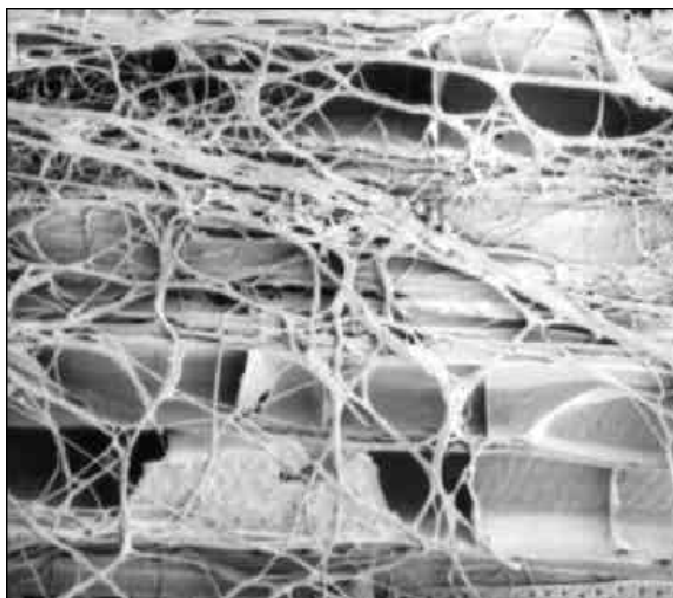


Figura 3.- Filamentos de hongos creciendo sobre la madera.

Las enzimas que participan en la degradación oxidativa de la lignina y la ruptura de los enlaces cruzados con la hemicelulosa son, principalmente tres: lignina peroxidasa, LiP, que oxida compuestos aromáticos no fenólicos, manganeso peroxidasa, MnP, que oxida componentes fenólicos de la lignina y la lacasa, Lac, una fenol oxidasa que oxida anillos presentes en la lignina. Otras enzimas indirectamente asociadas a la mineralización de la lignina son la glioxal oxidasa y la superóxido dismutasa. Existen enzimas fúngicas funcionan como enlace entre las rutas de mineralización de la lignocelulosa, son: la glucosa oxidasa, la aril alcohol oxidasa, la celobiosa quinona oxidorreductasa y la celobiosa deshidrogenasa.

De las distintas materias primas que se utilizan para producir los chips, se encuentra que los más difíciles de tratar por biodegradación son los chips de eucalipto, por presentar una resistencia levemente más alta al ataque de los hongos que otros que otros tipos de maderas.

### **3.3. Ventajas y desventajas de la aplicación de biopulping**

El tratamiento biológico de los chips de madera reduce notablemente la utilización de reactivos químicos en la preparación de la pasta de celulosa, en especial aquellos que participan en la etapa de cocción (hidróxido de sodio y sulfato de sodio) y en la etapa de blanqueo (cloro, hipoclorito de sodio, dióxido de cloro). Esto no solo disminuye el costo de compra de estos reactivos sino que reduce notablemente los costos ambientales del proceso derivados de estas operaciones, tales como la producción de dioxinas y otros contaminantes, malos olores y productos tóxicos y cancerígenos. Ésta es la principal ventaja desde el punto de vista ambiental.

El uso de chips tratados biológicamente disminuye el gasto de energía eléctrica del proceso de la fabricación de pasta de celulosa, dado que se facilita su posterior tratamiento termo-mecánico. La proyección de los cálculos de escala experimental a escala industrial indica un ahorro de entre el 26 y el 31% de la energía eléctrica necesaria, siendo ésta una de las principales ventajas que este método presenta a nivel económico.

El papel fabricado con pasta que ha sido tratada bajo este proceso presenta mejor índice de resistencia a la tensión que el papel kraft, sin embargo, se nota un oscurecimiento en el color del papel. Este oscurecimiento se evita con un breve tratamiento de blanqueo ó mediante el uso de una mezcla al 50% de pasta biotratada y pasta kraft.

Entre las desventajas del proceso, podemos citar que la necesidad de almacenar los chips durante varias semanas para su biotratamiento, incrementa las necesidades iniciales de materia prima en planta, hasta que el ciclo productivo se establece. Por otra parte, el proceso fúngico ocurre mejor cuando los chips se tratan en depósitos que al aire libre, por ser los hongos muy sensibles a las variaciones exteriores de temperatura. Todo esto hace necesaria una inversión en la construcción de galpones adecuados para las operaciones, así como la inversión en los dispositivos continuos de descontaminación e inoculación de los chips. Sin embargo, las inversiones de reconversión de la planta se recuperan durante su operación, mediante el ahorro de energía.

## **4. Conclusión**

El proceso de biopulping es tecnológicamente posible y económicamente beneficioso en un plazo mediano y largo. El ahorro de energía es la clave de la ecuación costo-beneficio del proceso.

También es necesario tener en cuenta el ahorro en costos ambientales que resulta de la aplicación de esta biotecnología. Sin embargo, la puesta en marcha definitiva de este proceso en plantas de papel kraft a gran escala, requiere aún de mayor investigación.

### **Agradecimientos**

Queremos agradecer a las autoridades de la Escuela Superior Técnica, y muy especialmente, a quienes dirigen la Secretaría de Investigaciones, por la confianza y apoyo brindados en todo momento a nuestro proyecto de investigación “Estudio de procesos biotecnológicos aplicados a la industria química”.

### **Referencias**

Akhtar, M. Scott, G. Lentz, M. Horn, E. Swaney, R. Kirk, T.K. “Commercialization of biopulping for mechanical pulping”. 7a Conferencia en Biotecnología en la Industria de la pulpa y del papel. Vancouver, Canadá. 1998.

Ken Hammel. Dan Cullen. Gary Myers. Gary Scott. Massod Akhtar. “Decay processes and bioprocessing. Biopulping: Technology learned from nature that gives back to nature”. Techkine. United States Department of Agriculture. 1998.

Sánchez Yáñez, J.M., García Hernández, D. Sosa, R. Aguirre, C. “Degradación de aromáticos por hongos de la podredumbre blanca”. 1997.

Shukla, U.N. Rai., S.V. “Biopulping and Biobleaching: An Energy and environment . Saving Technology for Indian Pulp and Paper Industry”. Subramanyam. Environews. Newsletter of ISEB. India. 2004.

García Torres, A.M. Torres Sáe, R.G. “Producción de enzimas lignolíticas por basidiomycetes mediante la técnica de fermentación en sustrato sólido”. Revista Colombiana de Biotecnología. Vol. 5.Nº 1. 2003.

López Sardi, E.M. “Fabricación de Pasta de Celulosa, aspectos técnicos y contaminación ambiental”. Ciencia y Tecnología Nº 6. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Palermo. 2007.



### ANEXO 3

## **IMPACTO SOCIAL DE LA BIOTECNOLOGÍA: EJEMPLOS DEL PASADO Y PERSPECTIVAS DE FUTURO.**

López Sardi, Estela Mónica. [mlopezsardi@gmail.com](mailto:mlopezsardi@gmail.com)

García de Chena, Beatriz. [beatrizgarcia@live.com.ar](mailto:beatrizgarcia@live.com.ar)

Peralta, Antonela. [anto\\_mp15@hotmail.com](mailto:anto_mp15@hotmail.com)

## **IMPACTO SOCIAL DE LA BIOTECNOLOGÍA: EJEMPLOS DEL PASADO Y PERSPECTIVAS DE FUTURO.**

### **Introducción**

Se cree que el primero en utilizar el término Biotecnología fue Karl Ereki, ingeniero húngaro, en 1919, en su libro “Biotecnología en la producción cárnica y láctea de una gran explotación agropecuaria”.

La biotecnología no es una ciencia en sí misma, dado que se nutre en las fuentes de muchas otras ciencias largamente conocidas. Por lo tanto, es posible describirla como una disciplina

transversal, que opera con base en los conocimientos de los seres vivos ó sus partes, para obtener bienes y servicios en áreas tan dispares como salud, industria, agricultura y medio ambiente.

Muchos de los descubrimientos más relevantes del pasado de la ciencia, que han influido en el curso de la historia por su fuerte impacto social, podemos hoy incluirlos en el amplio campo de las innovaciones biotecnológicas. Baste mencionar el descubrimiento y producción de la penicilina, o la comprensión y posterior desarrollo técnico de los procesos de fermentación.

El impacto social que, en el pasado, tuvieron descubrimientos como los antes mencionados, prolonga sus efectos sobre nuestros días. A la luz de estos ejemplos ¿podremos ser capaces de prever los impactos futuros de los actuales avances biotecnológicos?

### **Evolución**

En su etapa más antigua, hablaremos de biotécnica y no de biotecnología. Estas biotécnicas le permitieron al hombre aprovechar fenómenos naturales, inexplicados por entonces, para la producción sobre todo, de alimentos. Así cerveza, pan, vino y otros, han sido producidos durante milenios, ignorando los principios biológicos subyacentes, mediante la repetición y muchas veces mejora, de las técnicas artesanales de fabricación.

A fines del siglo XIX, con la aparición de la microbiología, la genética y la biología celular, empieza a desarrollarse un nuevo tipo de tecnologías de aplicación, principalmente, a las áreas de salud y agropecuarias.

El impulso definitivo para lo que se conoce hoy como biotecnología, llegará de la mano de la biología molecular. Muchos avances importantes cabrían ser citados, pero dos se destacan sobre los demás, como iniciadores de esta etapa:

En 1953, Watson y Crick proponen un modelo para la estructura del ADN.

En 1973 Cohen y Boyer, luego de desarrollar técnicas de corte y ligazón de ADN, transfieren un gen de una especie a otra, iniciando la era del ADN recombinante, y posibilitando el posterior desarrollo de los organismos genéticamente modificados.

### **Impacto Social. Un ejemplo del pasado.**

Al hablar de impacto, derivado del latín tardío “*impactus*”, nos referimos a la impresión ó efectos intensos y posteriores a una determinada acción ó suceso.

Esta acepción, en el terreno del estudio social, y en el caso específico que nos ocupa, podemos extenderla a todos aquellos efectos y consecuencias que se producen a partir del uso masivo de una nueva biotecnología, en el conjunto de la sociedad donde fue aplicada.

Para evaluar adecuadamente estos impactos, es necesario hacerlo bajo una mirada amplia. No podemos limitarnos a determinar si efectivamente se han producido o no, los efectos que “a priori” se esperaba ver ocurrir. Muchas veces a consecuencia de una acción se presentan sucesos inesperados, ó lejanos en tiempo y lugar, difíciles de vincular con la acción inicial, pero que una vez analizados se hace evidente entre ellos la relación “causa-efecto”. La Asociación Internacional de Evaluación de Impacto ofrece, en los *Principios Internacionales de la Evaluación del Impacto*, una definición en la que se consigna que “...La evaluación del impacto social (EIS) comprende los procesos de análisis, seguimiento y gestión de las consecuencias sociales, voluntarias e involuntarias, tanto positivas como negativas, de las intervenciones planeadas (políticas, programas, planes, proyectos), así como cualquier proceso de cambio social, invocado por dichas intervenciones...”

Como ejemplo histórico, analizaremos brevemente uno de los casos paradigmáticos de la historia de la biotecnología y sus consecuencias sociales a corto y largo plazo: el descubrimiento y posterior producción masiva de la penicilina.

En su momento, el propio Alexander Fleming declaró “Yo no intentaba descubrir la penicilina, me tropecé con ella”. Con ese tropiezo se refería a lo ocurrido durante la reproducción de ciertas experiencias rutinarias sobre unos cultivos de estafilococos que el científico estaba llevando adelante. Hacía ese trabajo para satisfacer el pedido de un colega de preparar un capítulo para un tratado de bacteriología. Los cultivos quedaron abandonados en el laboratorio durante las vacaciones estivales de 1928. A su retorno, en septiembre del mismo año, Fleming sintió curiosidad por la aparición de una mancha verde azulada en el borde de una de las placas, y observó la lisis del cultivo de estafilococos en sus adyacencias. Aquí prevaleció la curiosidad del científico. Así, aisló, con ayuda de un micólogo, la cepa del hongo del aire *Penicilium Notatum*, causante del efecto observado. El médico australiano Howard Walter Florey y el bioquímico alemán Ernst Boris Chain, investigadores de la Universidad de Oxford, fueron quienes

desarrollaron hacia 1939, el método para aislar la sustancia que destruía a las bacterias, a la que se llamó penicilina. Sin embargo, lejos se estaba del momento en que la penicilina pudiera ser producida masivamente. Debido a la crisis que Inglaterra enfrentaba por aquellos años de agitación política en Europa, las investigaciones prosiguieron en los Estados Unidos. Los primeros ensayos clínicos del nuevo medicamento se realizaron recién en 1941, viéndose favorecidas las investigaciones por la necesidad del gobierno de encontrar una medicina de fabricación masiva para combatir las infecciones. El laboratorio Pfizer desarrolló el proceso de fabricación y el gobierno de los Estados Unidos autorizó a 19 empresas farmacéuticas para su producción. A partir de ese momento, el antibiótico se hizo presente en todos los frentes de batalla donde combatían los aliados. Esto la transformó en un “arma estratégica” de importancia no menor. Muchos fueron los esfuerzos que se realizaron desde el frente alemán, para producir y disponer de este revolucionario medicamento, más efectivo que las sulfonamidas de las que disponían para el tratamiento de las infecciones. Estos impactos a corto plazo sobre la contienda bélica, si bien significativos, empalidecen frente a los efectos que a largo plazo derivan de este descubrimiento.

La penicilina revolucionó a la medicina: permitió el tratamiento a gran escala de enfermedades infecciosas que hasta mediados del siglo pasado sólo se podían tratar mediante reposo y cuya evolución dependía de las condiciones físicas y de la alimentación de los pacientes.

Poco a poco, el uso de antibióticos se convirtió en un fenómeno a escala mundial y el término antibiótico entró en el vocabulario común. Así, para muchas personas, los antibióticos ascendieron, erróneamente, a la categoría de panacea universal.

La difusión del uso de los antibióticos no sólo hizo su impacto en el campo de la medicina. Los efectos sinérgicos generados entre los avances médicos, las mejoras en higiene, alimentación y confort observadas a lo largo del siglo pasado fueron provocando el descenso gradual de las tasas de mortalidad en la población mundial. Al analizar esa tendencia descendente, se observa que el descenso más acelerado se observa en el período 1937-1953, lo que es atribuible a la aparición de sulfamidas (1935), penicilina (1941), estreptomina (1943) e isoniazida (1952).

Curiosamente, también es atribuible a los antibióticos, el repunte ascendente que se observa en la tasa de mortalidad a partir de 1980. Este aumento en la frecuencia de fallecimientos se atribuye a la adquisición de resistencia a los antibióticos por parte de las bacterias patógenas. La condición de panacea universal antes mencionada, derivó en un abusivo uso de los antibióticos, provocando estos impactos negativos.

Así vemos, como un mismo adelanto biotecnológico, se pone de manifiesto como causante de efectos opuestos sobre una misma variable en el transcurso del tiempo.

### **Presente y futuro. Los nuevos desafíos.**

El presente nos enfrenta con un planeta superpoblado. Las consecuencias directas de esta superpoblación son la demanda cada vez mayor de servicios de salud, alimentos y bienes de consumo, la generación de enormes cantidades de residuos, la contaminación del aire, el suelo y los recursos hídricos y el agotamiento de la matriz energética tradicional.

Mientras que la población mundial aumenta en forma exponencial, el incremento en la producción de alimentos siguió durante mucho tiempo una progresión aritmética. Cuando ya se estimaba, de acuerdo con la teoría de Malthus, que en un breve lapso de tiempo los alimentos pasarían a ser totalmente insuficientes para el número de habitantes, los adelantos de la tecnología se interpusieron en el camino de las predicciones. Nuevos desarrollos biotecnológicos han propiciado un crecimiento sostenido de la productividad relacionada con la agricultura y las agroindustrias, así, la producción actual de alimentos alcanza rendimientos nunca antes vistos. Sin embargo, no debemos ignorar la gran paradoja de nuestros tiempos: mientras que los excedentes de producción agrícola en muchas regiones del planeta hacen disminuir los precios por debajo de la línea de rentabilidad, otras vastas regiones del planeta se encuentran asoladas por el hambre. Diariamente se desechan enormes cantidades de alimentos que han llegado a su fecha de vencimiento mientras que, muy cerca de donde esto ocurre, hay gente que muere a consecuencia de su bajo nivel de vida.

La aplicación de procesos biotecnológicos en el campo agroindustrial posibilita la producción de mayores cantidades de alimentos, en muchos casos con características mejoradas respecto del producto original.

Sin embargo, la repercusión que esta aplicación tiene en la sensación de la sociedad es, en general, negativa. Dejando de lado el análisis de factores económicos y las mejoras en la

producción, la población en su conjunto reacciona con una sensación de alarma. Para la gente común, biotecnología es simplemente sinónimo de transgénico. Hay una conciencia instalada que relaciona, en el saber popular, la palabra transgénico con una sistemática vulneración de las leyes naturales.

Estas objeciones están dirigidas primordialmente hacia los alimentos obtenidos por aplicación de nuevas tecnologías, siendo aceptados con mucha menor resistencia, los avances médicos y terapéuticos generados por idéntico camino.

En la comunidad europea, debido a la fuerte presión de los consumidores, se trabaja en la legislación que obliga a identificar los alimentos genéticamente modificados mediante información en su etiquetado.

En Argentina, los consumidores, preocupados por otro tipo de cuestiones más básicas y urgentes, aún no generalizan un reclamo en este sentido. Sin embargo, dadas las características de país productor, especialmente de soja genéticamente modificada, en las poblaciones rurales se está instalando una conciencia de rechazo, no sobre la soja en sí misma, sino hacia los productos herbicidas asociados al cultivo intensivo, en especial, el glifosato.

No es la primera vez, en la historia de la humanidad, que se asocia, en el inconsciente colectivo, una cierta tecnología sólo con los posibles males que de ella derivan. Un ejemplo de esto es la aplicación de la energía atómica, asociada inmediatamente con destrucción, malformaciones, cáncer y muerte. Este preconcepto deja de lado, en forma sistemática, los beneficios que derivan del uso de esta tecnología, aplicada en forma correcta, como una fuente de energía limpia y eficiente o sus múltiples usos terapéuticos.

La correcta difusión de los beneficios que a futuro pueden derivar de la aplicación de la biotecnología, es un desafío para los profesionales que hoy se desempeñan en ese campo. Es importante, frente a la opinión social crítica, poder dar a conocer con claridad, los múltiples beneficios y adelantos que derivan de esta joven disciplina transversal.

La ruptura de la cadena de razonamiento popular que dice que biotecnología = transgénicos = perjuicio, implicará un enorme esfuerzo e inversión por parte de los protagonistas, y constituye un desafío que es necesario afrontar para abrir el camino de la aceptación social a los avances del futuro en este terreno.

La biotecnología pone a disposición de la sociedad una serie de herramientas que posibilitarán, no sólo adelantos en el terreno de la producción alimentaria y la medicina. Pertenecen también al terreno biotecnológico la producción de formas de energía renovable y con un mejor balance de carbono, la biorremediación ambiental y la sustitución de procesos industriales tradicionales por otros más limpios.

Algunos autores llaman, a nuestros tiempos, la era de la biotecnología. Esto nos habla de implicancias que van más allá de lo meramente científico y tecnológico. Tampoco se puede medir el impacto únicamente en función de variables económicas. El impacto social de la biotecnología involucra aspectos éticos y morales, además de lineamientos en el terreno político y debates en el campo religioso.

### **Conclusión**

La mirada hacia el pasado pone de manifiesto que los avances de la ciencia, analizados a través de su impacto social, se entrelazan con otras múltiples variables para dar lugar a cambios profundos, motivo por el cual, en muchos casos, son ampliamente resistidos.

Es parte del desafío que el futuro pone a nuestra disposición, aprovechar plenamente el potencial de una disciplina que promete vastas mejoras para la calidad de vida de las personas y el cuidado ambiental.

El debate ya está instalado en la sociedad global. Es una discusión compleja e interdisciplinaria, que busca dar un marco ético y jurídico a la aplicación práctica de estas nuevas tecnologías, donde, con prevalencia del respeto hacia las distintas formas de vida, esperemos se dé lugar a los avances que la biotecnología del futuro pondrá a nuestra disposición.

### **Bibliografía**

Alan Scragg. 1999. Biotecnología medioambiental. Editorial Acribia. Pearson Education Limited.

Ana Julia Correa Garda. 2005. Alimentos transgénicos. Curso de Regulación Jurídica de las Biotecnologías. Equipo de investigación UBA, Derecho. Colección Derecho, Economía y Sociedad. Bioética.org.

Blanca Esther Libera Bonilla. 2007. Impacto, impacto social y evaluación del impacto. ECIMED.

Francisco Casero Rodríguez. 2002. Alimentos transgénicos: una polémica presente y futura. IDEAL.

José Angel García Rodríguez y José Prieto Prieto. 2004. Una historia verdaderamente fascinante: 75 años del descubrimiento de los antibióticos. GlaxoSmithKline y Sociedad Española de Quimioterapia.

Luis Orozco. 2008. Biotecnología e impacto social. Jornadas sobre ciencia, tecnología y desarrollo social. Universidad de los Andes. Cartagena de Indias.

María Antonia Muñoz de Malajovich. 2004. Biotecnología. Argenbio y Editorial Universidad Nacional de Quilmes.

Miguel Vicente. 2008. Vida confortable, enfermedad y medicinas: la historia del siglo XX en un gráfico. Blogs Microbiología.

## **ANEXO 4**

### ***BIOETANOL***

García, Beatriz; Bianchi, Leonor; Peralta, Antonela; López Sardi, Mónica.  
EST- IESE

### ***INTRODUCCIÓN***

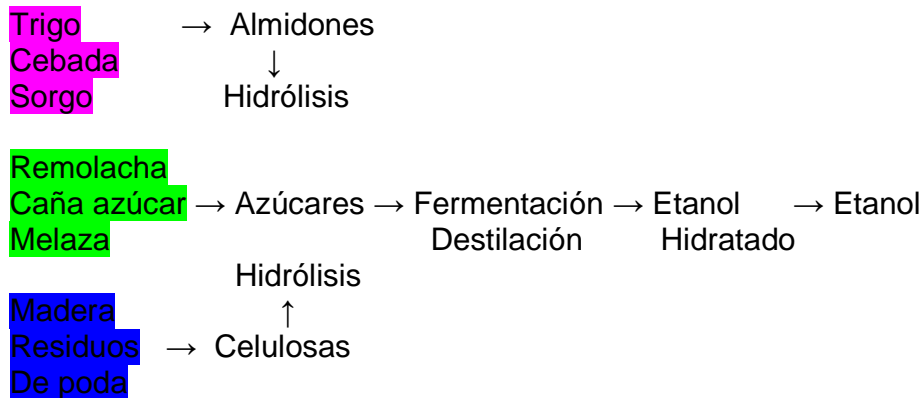
El bioetanol se produce por la fermentación de los azúcares contenidos en la materia orgánica de las plantas. En este proceso se obtiene el alcohol hidratado, con un contenido aproximado del 5% de agua, que tras ser deshidratado se puede utilizar como combustible.

### ***PRODUCCIÓN DE BIOETANOL***

Se puede ver, de forma esquemática, el proceso completo de obtención del alcohol, a partir de las principales materias primas que se utilizan para su producción:

**Maíz**





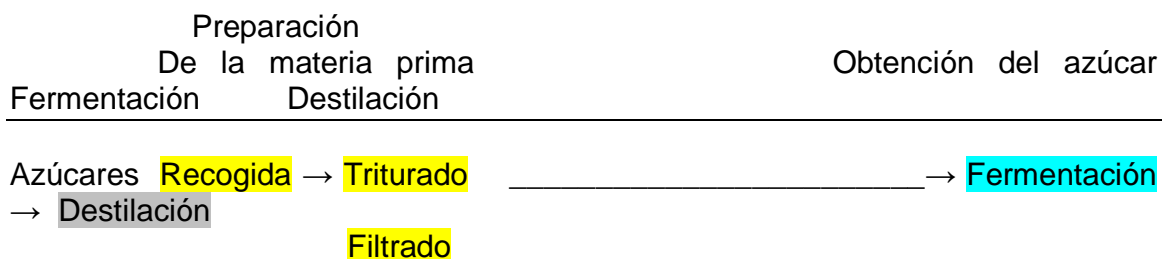
Principalmente se utilizan tres familias de productos para la obtención del alcohol:

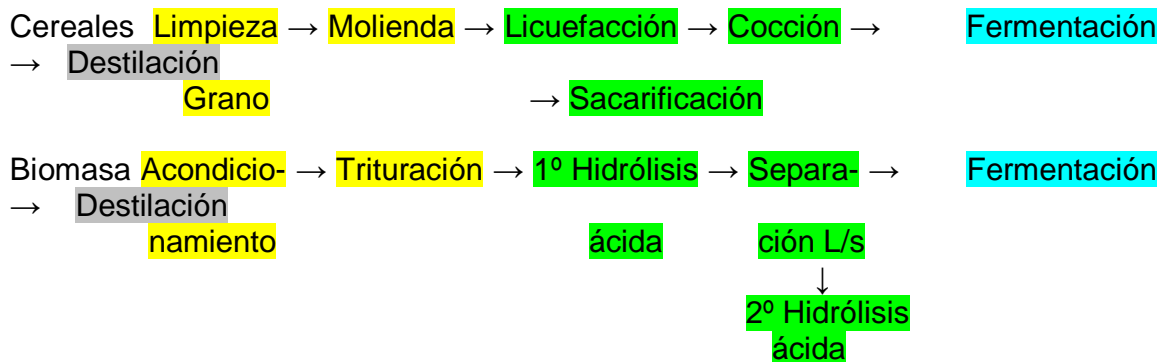
- Azúcares, procedentes de la caña o la remolacha, por ejemplo.
- Cereales, mediante la fermentación de los azúcares del almidón.
- Biomasa, por la fermentación de los azúcares contenidos en la celulosa y hemicelulosa.

Los materiales lignocelulósicos son los que ofrecen un mayor potencial para la producción de bioetanol. Una gran parte de los materiales con alto contenido en celulosa, susceptibles de ser utilizados para estos fines, se generan como residuos en los procesos productivos de los sectores agrícola, forestal e industrial. Los residuos agrícolas proceden de cultivos leñosos y herbáceos y, entre otros, hay que destacar los producidos en los cultivos de cereal. Por su parte, los residuos de origen forestal proceden de los tratamientos silvícola y de mejora o mantenimiento de los montes y masas forestales. También pueden utilizarse residuos generados en algunas industrias, como la papelera, la hortofrutícola o la fracción orgánica de residuos sólidos industriales. Muchos de estos residuos no sólo tienen valor económico en el contexto donde se generan sino que pueden ser causa de problemas ambientales durante su eliminación [Cabrera, J. A., 2006].

Los residuos de biomasa contienen mezclas complejas de carbohidratos, llamados celulosa, hemicelulosa y lignina. Para obtener los azúcares de la biomasa, esta es tratada con ácidos o enzimas que facilitan su obtención. La celulosa y hemicelulosa son hidrolizadas por enzimas o diluidas por ácidos para obtener sacarosa, que es entonces fermentada. Tres son los principales métodos para extraer estos azúcares: la hidrólisis con ácidos concentrados, la hidrólisis con ácidos diluidos y la hidrólisis enzimática.

Las diferentes formas de procesar las materias primas, en función de su origen, para la obtención de sus azúcares son:





A continuación se describen los pasos implicados en los procesos más relevantes de cada una de estas alternativas para la elaboración del alcohol.

### ACONDICIONAMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS

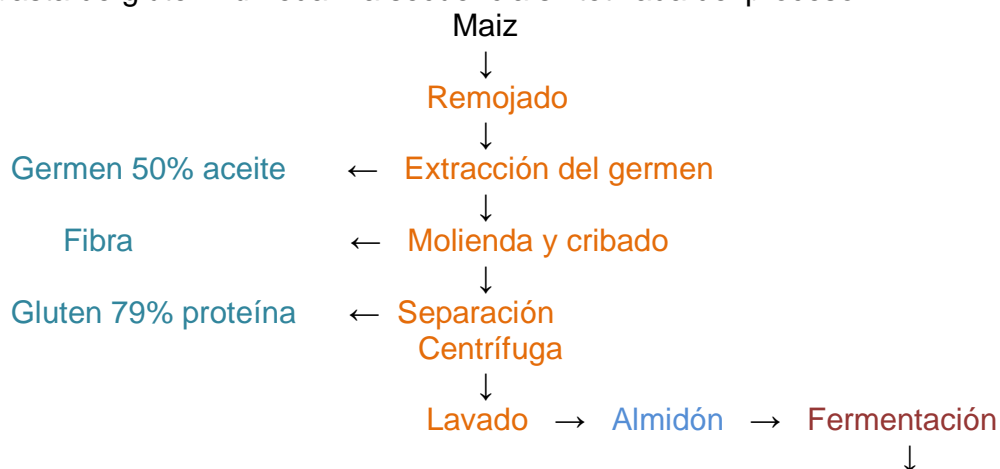
Los cereales son la principal fuente para la producción de bioetanol, destacando el uso del maíz en EE.UU. y la cebada y el trigo en las plantas instaladas en España. En el caso de los cereales, para los procesos de preparación de la materia prima y la obtención de los azúcares que contienen, se utilizan principalmente dos tecnologías:

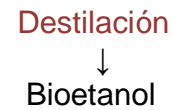
Wet milling y Dry milling.

#### Proceso de molido húmedo (Wet Milling Processes)

Esta tecnología se aplica normalmente en plantas con grandes producciones de alcohol y es utilizada por aproximadamente dos tercios de los productores en EE.UU. Este sistema es elegido cuando se quieren obtener otros subproductos, tales como el sirope, fructosa, dextrosa, etc. además de la producción del alcohol. Es un proceso complejo, dado el elevado número de pasos a seguir en el pretratamiento del maíz y su separación en sus diferentes componentes.

En este proceso, el maíz es “escaldado” en agua caliente, lo que ayuda a romper las proteínas, liberar el almidón presente en el maíz y ablandar el grano para el proceso de molido. El maíz es molido para obtener el germen, la fibra y la fécula. Con el germen se obtiene aceite y la fécula se centrifuga y sacarifica para producir una pasta de gluten húmeda. La secuencia sintetizada del proceso:



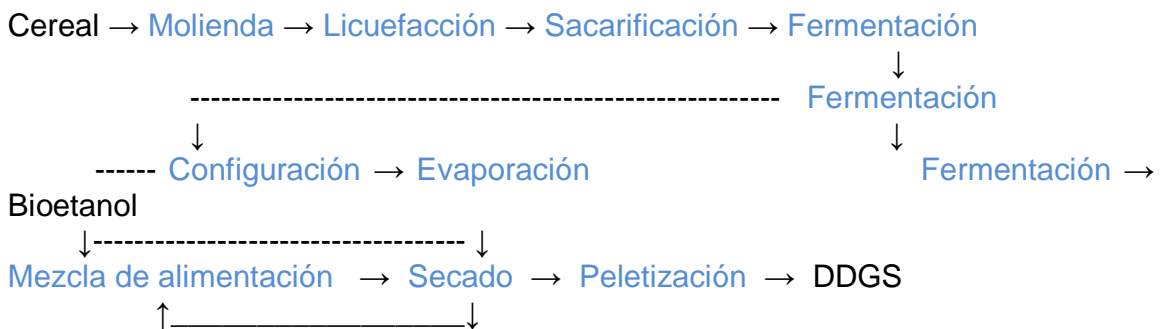


El proceso comienza con el secado de los granos, posteriormente se inspeccionan automáticamente y se limpian de piedras, trozos de caña o paja y cualquier otra impureza.

El maíz se remoja en grandes tanques en una solución que contiene pequeñas cantidades de dióxido de azufre y ácido láctico. Estos dos productos químicos, en agua a una temperatura de unos 50 °C, ayudan a ablandar los granos, en un proceso que puede durar entre uno y dos días. Durante este tiempo el maíz se hincha, luego se ablanda y debido a las condiciones ligeramente ácidas de la disolución se libera el almidón. La siguiente parte del proceso es pasarlo a través de un separador que, principalmente, hace que el germen de los granos flote en la parte superior de la mezcla y sea posible recogerlos fácilmente (debido al contenido de aceite de estos). A partir de ahí primeramente se obtiene la parte fibrosa y posteriormente se separa el almidón de las proteínas por un proceso de centrifugación.

*Proceso de molido en seco (Dry Milling Process)*

Este proceso consiste en limpiar y moler los granos de cereal hasta reducirlos a finas partículas por un sistema mecánico. Se produce una harina con el germen, la fibra y la fécula del maíz. Para producir una solución ‘azucarada’ la harina es hidrolizada o convertida en sacarosa usando enzimas o una disolución ácida. La mezcla es enfriada y se le añade la levadura para que comience a fermentar. El proceso detallado es:



De la masa resultante, una vez obtenido el alcohol, se obtiene un subproducto (DDGS, en inglés Dried Distiller Grains of Solubles, granos secos, solubles, de destilería, que se distribuyen en forma de pellets) que se puede utilizar como alimentación para ganado.

Esta tecnología es usada en plantas de pequeño y medio tamaño.

**HIDRÓLISIS**

Las celulosas no pueden ser fermentadas directamente, es necesario convertirla en azúcares más sencillos para su conversión en alcohol. La hidrólisis es un proceso químico que divide la molécula de celulosa por la acción de la molécula

de agua. Las complejas estructuras de la celulosa (celulosa, hemicelulosa y lignina) son divididas en diferentes procesos para conseguir una solución azucarada, y eliminar productos de descomposición de los azúcares que pueden inhibir o, al menos, dificultar el proceso de fermentación. Principalmente se realizan procesos de hidrólisis de ácidos concentrados y bajas temperaturas, de ácidos diluidos y altas temperaturas y enzimáticos.

#### *Hidrólisis con ácidos concentrados*

En este proceso se añade entre 70-77% de ácido sulfúrico a la biomasa, que ha sido secada previamente hasta obtener una humedad menor del 10%. La proporción de ácido es de 1:25 por cada parte de biomasa y se mantiene a una temperatura controlada de 50°C.

Entonces se añade agua, para diluir el ácido a un 20-30% de la mezcla, aumentando su temperatura hasta los 100°C. El gel producido en este proceso es prensado para obtener la mezcla de ácido y azúcar, que finalmente son separados. Este es un proceso del que se obtiene rendimientos muy elevados pero a un coste igualmente muy elevado, por lo que industrialmente no se realiza.

#### *Hidrólisis con ácidos diluidos.*

Es uno de los procesos de hidrólisis más antiguos, simples y eficientes para la producción del alcohol. El primer paso es mezclar una proporción de 0,7% de ácido sulfúrico con la hemicelulosa presente en la biomasa, para que se hidrolice a 190°C. La segunda parte consiste en optimizar el rendimiento de la reacción con la parte de la celulosa más resistente, para ello se usa un 0,4% de ácido sulfúrico a 215°C.

Finalmente los líquidos hidrolizados son neutralizados y recuperados, normalmente mediante percolación.

#### *Hidrólisis enzimática*

Consiste en “romper” (hidrolizar) la celulosa por la adición de determinadas enzimas.

La celulosa es degradada por las celulasas a azúcares, que pueden ser fermentados por levaduras o bacterias para producir etanol.

En síntesis, el proceso consiste en descomponer la celulosa y la hemicelulosa del residuo en azúcares sencillos y transformarlos en etanol por fermentación. En primer lugar se lleva a cabo un pretratamiento del residuo cuyo objetivo es alcanzar los mejores resultados en las etapas siguientes (hidrólisis y fermentación). Desde el punto de vista económico, esta etapa es crítica, puesto que gran parte del coste total del proceso estaría en esta primera etapa.

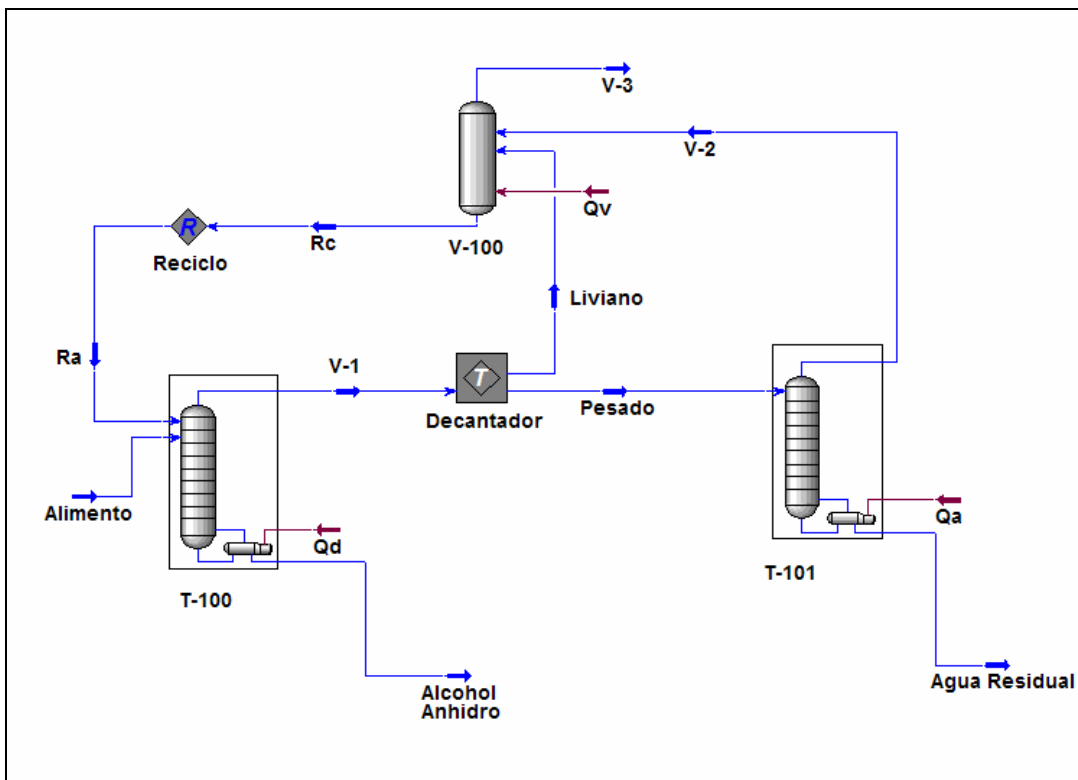
Como resultado del pretratamiento se obtiene una disolución de azúcares provenientes de la ruptura de la hemicelulosa y un residuo sólido (constituido principalmente por la celulosa del residuo original).

La hidrólisis enzimática presenta ventajas frente a la hidrólisis química, como menores costes de equipamiento (debido a que se realiza a presión atmosférica y a temperatura próxima a la ambiental), mayores rendimientos y no necesita utilizar agentes químicos.



construir un sub-diagrama de flujo. En este sub-diagrama de etanol-agua, utilizando un agente de arrastre, se utilizarán parámetros de interacción diferentes. La fase acuosa predominante denominada "Pesada" es procesada aún más en una columna de agotamiento, "T-101" cuyo producto de cabeza, "V-2" se mezcla en un recipiente "V-100" con la fase líquida liviana, "Liviano", que sale del Decantador y, entonces, recirculada a la columna deshidratadora, sirviendo como el reflujo a dicha columna.

Este caso se creará mediante sub-diagramas de flujo estándares y los resultados se transferirán al diagrama de flujo principal. HYSYS tiene la habilidad de resolver los procesos a través de varios niveles de sub-diagramas de flujo. La siguiente figura muestra el diagrama de flujo final de la planta de deshidratación de etanol simulada



Se requieren dos paquetes fluidos en este ejemplo. Ambos paquetes fluidos usarán el modelo de actividad NRTL, y contienen los componentes etanol, agua y arrastrador.

El primer paquete fluido nombrado como "VLE-BASIS" usará los parámetros de interacción binarios de la librería VLE que aparecen por defecto. El segundo paquete fluido nombrado como "LLE-BASIS" reemplazará aquellos coeficientes de interacción con coeficientes de interacción binarios estimados con UNIFAC-LLE. VLE-BASIS se utilizará para la mayor parte de la simulación, mientras que LLE-BASIS se utilizará como el paquete fluido para el subdiagrama de flujo Decanter. El tope de la columna deshidratadora contendrá una mezcla de arrastrador, etanol

y agua. Se recuperará todo el arrastrador y etanol más algo del agua en las operaciones corrientes abajo. La columna deshidratadora es modelada como un absorbedor con rehervidor.

### **BIOETANOL COMO COMBUSTIBLE ETANOL COMO COMBUSTIBLE ÚNICO**

Históricamente, el primer vehículo que se diseñó para el uso de etanol fue una variante del Modelo T de Henry Ford, que estaba pensado para ser utilizado en las granjas, de forma que sus propios dueños pudieran producir el alcohol a partir de la fermentación del maíz. Posteriormente se desarrolló el Modelo A, que también podía usar tanto etanol como gasolina. Actualmente, para que los vehículos de explosión puedan funcionar con etanol es necesaria una serie de modificaciones, que incluyen el depósito, las conducciones de combustible, los inyectores, el sistema informático de gestión del motor y el sistema anti-sifón. En los últimos años se han desarrollado una serie de vehículos capaces de funcionar tanto con gasolina como con etanol o una mezcla de ambos. Se denominan *Flexible Fuel Vehicles* (FFV). Estos automóviles disponen de un sensor que detecta la relación etanol/gasolina y en función de la mezcla ajustan la carburación del motor. La utilización del etanol modifica la mezcla de aire y combustible tratando de mantener la potencia y el consumo del automóvil en un valor óptimo.

El etanol, como combustible único, es utilizado principalmente en Brasil y Argentina.

Su uso con temperaturas inferiores a 15°C puede dar lugar a problemas de encendido, para que esto no ocurra el método más común de solucionarlo es añadirle una pequeña parte de gasolina. La mezcla que se usa más ampliamente es el E85 que está compuesto de un 85% de etanol y un 15% de gasolina.

Desafortunadamente el etanol contiene menos energía por litro que las gasolinas, con lo que su rendimiento es menor, pudiendo llegar hasta un 30% menos, principalmente en modelos antiguos, cuando se utiliza el E85. Saab [SAAB] produce el modelo 95 turboalimentado que asegura una mayor economía que los motores de gasolina, utilizando una mayor relación de compresión, ofreciendo rendimientos semejantes a sus equivalentes con combustibles convencionales.

El etanol tiene un octanaje mucho mayor que la gasolina –en torno a 110- lo que hace que no se quemara de forma tan eficiente en los motores convencionales. El uso continuado de combustibles con una alta proporción de etanol, como el E85, produce corrosiones en el metal y en las piezas de goma.

### **MEZCLA DIRECTA DE ETANOL Y GASOLINA**

Los motores de encendido pueden funcionar con mezclas de hasta el 25% de alcohol deshidratado sin que sean necesarias modificaciones en el motor. No obstante su rendimiento varía respecto al combustible convencional. Estas son algunas de las diferencias [Ballesteros I., 2002]:

- Reducción de la potencia y el par motor (aproximadamente un 2% para mezclas al 15%)
- Aumento del consumo (4% para mezclas del 15%)
- Aumento de la corrosión de las partes metálicas y componentes de caucho.

Sin embargo, si se ajusta el motor aumentando la relación de compresión, y adaptando la carburación a la nueva relación estequiométrica, se consigue una mayor potencia y par motor (9% con una mezcla del 20% de alcohol), mejora el rendimiento térmico y reduce el consumo (7% con respecto a lo que se obtendría solo con gasolina) y una combustión más perfecta, con menor índice de carbonización y emisión de gases contaminantes (reducción de CO y HC a medida que aumenta el porcentaje de alcohol en la mezcla) [Ballesteros I., 2002]

Brasil es el país que más ha experimentado con la mezcla de alcohol y gasolina, aumentado su proporción hasta un valor del 25%, como se ve en la siguiente progresión:

- 1977 4.5%
- 1979 15%
- 1981 20%
- 1985 22%
- 1998 25%
- Desde el año 2002 entre el 20 y el 25%

Otros países que utilizan estas mezclas son Nicaragua, EEUU, Colombia, Argentina, Australia e India, por poner algunos ejemplos.

Sin embargo, el límite máximo de etanol en Europa está limitado por la especificación del contenido en oxígeno de 2.7%, que supone limitar el uso del etanol al 7.8%. No se proporciona ninguna excepción para la mezcla de etanol por encima del 7.8%. En algunos países europeos se utiliza normalmente una mezcla del 5% de etanol.

### **FUENTES CONSULTADAS**

<http://www.itdg.org.pe/publicaciones/pdf/prousbio.pdf>

[http://www.viajerosperu.com/articulo.asp?cod\\_cat=10&cod\\_art=477](http://www.viajerosperu.com/articulo.asp?cod_cat=10&cod_art=477)

<http://www.minem.gob.pe/archivos/ogp/publicaciones/biodiesel.pdf>

<http://www.yoteca.com/pg/Informacion-de-ventajas-y-desventajas-del-biodiesel.asp>

<http://biodieselhoy.blogspot.com/2007/03/ventajas-e-inconvenientes-del-biodiesel.html>

<http://www.dei.uc.edu.py/tai2003->

[2/biodiesel/ventajas\\_y\\_desventajas\\_del\\_biodi.htm](http://www.dei.uc.edu.py/tai2003-2/biodiesel/ventajas_y_desventajas_del_biodi.htm)

<http://www.eve.es/ecomovil/biodiesel/cas/ventajas.aspx>

<http://biodieselhoy.blogspot.com/2007/03/ventajas-e-inconvenientes-del-biodiesel.html>

<http://www.ecoterra.org/data/pa24e.pdf>



