
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

TESIS
LA INGENIERÍA QUÍMICA Y LA BIOTECNOLOGÍA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA
BERNARDINO TREJO GONZÁLEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado:

Presidente Prof. EDUARDO BARZANA GARCIA

Vocal Prof. EDUARDO ROJO Y DE REGIL

Secretario Prof. REYNALDO SANDOVAL GONZALEZ

1er. Suplente Prof. JOSE ANTONIO ORTIZ RAMIREZ

2°. Suplente Prof. ALEJANDRO LEON IÑIGUEZ HERNANDEZ

Sitio en donde se desarrolló el tema: Coordinación de la carrera de Ingeniería Química, Edificio E, Facultad de Química, Ciudad Universitaria.

Asesor: Reynaldo Sandoval González _____

Sustentante: Bernardino Trejo González _____

DEDICATORIA.

A mis padres: Sergio Trejo Figueroa y Carmen González Honorato.

A mi hermano: José Orlando Emanuel Trejo González.

Por su constante apoyo hasta el día de hoy, y sobre todo, por confiar en mí.

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
HISTORIA DE LA BIOTECNOLOGÍA	6
• Los microorganismos antes de la biotecnología	6
• ¿Qué es la biotecnología?	7
• La biotecnología en el pasado	8
• El vino y sus orígenes	9
• La cerveza y sus orígenes	13
• El Pozol en México	25
• La elaboración de pozol en los Altos de Chiapas	33
• El desarrollo de la biotecnología	38
CAPÍTULO II	
PANORAMA GENERAL DE LA BIOTECNOLOGÍA	47
• Aprovechando la célula	47
• Levaduras y enzimas	51
• Producción de células de origen animal	55
• Reactores vivos	57
• La naturaleza de la biotecnología	59
• Tres componentes centrales de la disciplina	66
• Biotecnología agrícola	68
• Biotecnología alimentaria	69

- Biotecnología marina70
- Ingeniería genética70
- Reemplazo de órganos humanos72

CAPÍTULO III

FUNCIONES DEL INGENIERO QUÍMICO DENTRO

DEL CAMPO DE LA BIOTECNOLOGÍA.....	74
• Importancia de la ingeniería en la sociedad	74
• La ingeniería química en la sociedad mexicana.....	75
• La ingeniería bioquímica	76
• El ingeniero químico y la biotecnología.....	78
• Las operaciones unitarias.....	80
• Producción a gran escala.....	82

CAPÍTULO IV

LA BIOTECNOLOGÍA EN PROCESOS

DE INGENIERÍA QUÍMICA	85
• Una fábrica de todo	85
• Sustratos para la biotecnología	86
• Materias primas naturales	87
• Energías alternas	88
• Tecnología de la fermentación o bioproceso	90
• Proceso de elaboración de vinos.....	97
• Bioreactores	102
• Procesamiento posterior	107
• Tecnología en la producción de enzimas	108

• Generación biológica de combustible.....	112
• Etanol a partir de la biomasa	115
• Metano a partir de la biomasa	121
CAPÍTULO V	
PROSPECTIVA DE LA BIOTECNOLOGÍA	124
• La biotecnología actual.....	124
• La biotecnología en América del Sur.....	128
• La biotecnología en Europa.....	131
• La bioinformática.....	132
• La biotecnología en México.....	137
• Las materias primas y el futuro de la biotecnología.....	146
CONCLUSIONES.....	150
RECOMENDACIONES.....	158
BIBLIOGRAFÍA.....	159

INTRODUCCIÓN

La biotecnología es un conjunto de técnicas con las que se pueden producir sustancias o productos a partir de células vivas, se caracteriza por el uso de los microorganismos como bacterias, levaduras, hongos, células vegetales y animales en cultivo, de los que se aprovecha su metabolismo y su capacidad de biosíntesis como instrumentos de producción para la obtención de productos específicos; nos permite aumentar la producción de alimentos, la producción de medicamentos en cantidad y calidad a un bajo costo, la producción de nuevos materiales, crear nuevas formas para obtener energía, solucionar problemas ambientales, y así, combatir al hambre, la insalubridad y mejorar las condiciones de vida que se tienen en este mundo actual.

En el pasado la biotecnología se aplicaba sin saber a procesos de producción de alimentos y bebidas. Ahora, con el descubrimiento de las células, el descubrimiento de los cromosomas, el papel de éstos en la transmisión de caracteres hereditarios, de la identificación del ácido desoxirribonucleico (ADN) como componente de los cromosomas, con la definición de su estructura en 1974, con la regulación de su expresión y con el conocimiento de su conducta química podemos usar todos estos conocimientos en una técnica de trabajo llamada ingeniería genética, que es uno de los pilares o fundamentos de la biotecnología.

Hace dos décadas la explotación de la célula alcanzó un extraordinario potencial cuando las herramientas de la biología molecular se incorporaron a los procesos biotecnológicos, así surge la biotecnología moderna, cuya aplicación se ha extendido rápidamente a todo tipo de

células; incluidas las provenientes de organismos pluricelulares, como las plantas, los animales y el ser humano mismo.

Recientemente la comunidad científica mundial, gobiernos y empresas, principalmente de los países desarrollados, han dado a la biología molecular y a la ingeniería genética un fuerte impulso que nos está orientando a una bioindustria basada en el conocimiento de carácter multidisciplinario y sistemático, cuyo sustento es el conocimiento de frontera generado en diversas disciplinas, entre otras, la biología molecular, la bioquímica, la ingeniería bioquímica, la microbiología, la química, la ingeniería química, la ingeniería genética, la inmunología, la informática y la economía. Todos estos conocimientos permiten el estudio integral y la manipulación de los sistemas biológicos como son microbios, plantas y animales. Por esta razón es interesante trabajar y desarrollar el tema de la biotecnología. Es aquí donde la carrera de ingeniería química tiene una gran colaboración y un gran reto para llevar a cabo de forma macro esta tarea.

La biotecnología moderna en forma general, se compone de dos procesos principales, el que se refiere a la fermentación y el referente a la separación y purificación del producto deseado. Este último, será un tema tratado, ya que dicho proceso es principalmente una serie de arreglos o trenes de operaciones unitarias, que ocupan un lugar fundamental en los estudios a nivel profesional del ingeniero químico, el cual tiene un conocimiento prácticamente nulo de la relación existente entre las operaciones unitarias y la biotecnología cuando es recién egresado del nivel licenciatura.

Indudablemente, la biotecnología se incorpora a diario con un ritmo acelerado a nuestra vida cotidiana, gracias al gran potencial de beneficios que ofrece en disciplinas y áreas imprescindibles tales como la agroalimentaria, la farmacéutica, la ecológica y la química para el desarrollo humano.

En México, el conocimiento e información sobre la biotecnología ha sido pobre y en el ámbito industrial no se ha prestado interés y mucho menos inversión en ella, como sucede en los países desarrollados. Su atraso es inherente. En contraste, los campos de investigación, desarrollo y aplicación de la biotecnología ofrecen a corto y mediano plazo amplias oportunidades, que obedecen a la necesidad comercial de incorporarse a los sistemas mundiales de alta competitividad, lo que implicaría una lenta, pero progresiva recuperación económica del país.

Nuestro país constituye la quinta región más rica en biodiversidad del planeta; esta es una riqueza estratégica tan importante como el petróleo. Se cuenta con plantas, animales, insectos y microbios únicos en el planeta, recursos renovables a partir de los cuales se podrían plantear estrategias para su uso racional y sustentable, con la aplicación de la biotecnología moderna.

Aun cuando en nuestro país el subdesarrollo provoca que las empresas sean en su mayoría transnacionales, no se debe conformar con ser exportadores de materias primas, recursos humanos y productos naturales, entre otros. De seguir así, seremos eternamente importadores de conocimiento, investigaciones, productos químicos de alto valor agregado y productos industriales obtenidos mediante las tecnologías de punta.

Con sus innumerables posibilidades y sus evidentes riesgos, esta disciplina se ha convertido en una poderosa herramienta para afrontar los retos del desarrollo. Todavía hace falta mucho por descubrir y por aplicar, aún no se usa toda la biotecnología con provecho. Estados Unidos de América lleva la delantera en esta técnica, seguido de Japón y Europa.

El quehacer profesional del ingeniero químico es el diseño, manejo, optimización, control y administración de procesos y proyectos, para la transformación física y química de materias primas, y la obtención de productos y servicios útiles al hombre. Entre sus principales actividades están: el diseño y cálculo de procesos químicos; el diseño, cálculo y montaje de equipos; Investigación de tecnologías de aplicación; manejo y control de la producción en la industria de la transformación; Asesoramiento técnico en ventas; administración, planificación y desarrollo de las industrias de proceso.

Su ejercicio profesional está directamente relacionado con las industrias y compañías encargadas de la planeación y diseño de plantas químicas, así como con aquellas industrias dedicadas a la producción de sustancias químicas; Las principales técnicas que emplea este profesional para el desarrollo de su trabajo están basadas en conceptos de física, química, fisicoquímica, matemáticas, operaciones unitarias, economía y administración.

El ingeniero químico se relaciona con profesionales de las áreas de: Ingeniería Química Metalúrgica, Química, Ingeniería de Minas y Metalurgia, Ingeniería Geológica, Ingeniería Petrolera, Ingeniería Geofísica, Ingeniería Mecánica Electricista, Ingeniería en Computación, Ingeniería Civil, Física y Diseño Industrial.

La población del país recibe el beneficio de su actividad profesional, la cual incide en la solución de problemas nacionales como: control de contaminación, manejo y preservación de recursos naturales, uso eficiente de la energía y elaboración de productos en los cuales va implícita alguna transformación física y/o química.

Es importante y resulta fundamental orientar la vocación de nuestros ingenieros químicos hacia el desarrollo biotecnológico, de tal forma, el objetivo de esta tesis es presentar al estudiante de la carrera de ingeniería química y al ingeniero químico en activo: La historia de la biotecnología, un panorama general de la biotecnología, las funciones del ingeniero químico dentro del campo de la biotecnología, los procesos de la ingeniería química más usados en la industria biotecnológica, y los futuros escenarios de estudio, acción e impacto de la biotecnología, con el ánimo de provocar la inquietud de practicar y desarrollarse profesionalmente en este ámbito, una vez que reconozca el papel fundamental que desempeñan las operaciones unitarias en la recuperación y purificación de productos biotecnológicos, mismo que actualmente y rara vez es considerado con este carácter de importancia en los estudios de licenciatura.

La realización de esta tesis forma parte del proyecto del Centro Nacional de Información de la Carrera de Ingeniería Química en la Facultad de Química de la UNAM, bajo la Coordinación del Dr. Reynaldo Sandoval González y el Ing. Eduardo Rojo y de Regil. Esta tesis surge para dar a conocer la importancia y las posibles áreas de mejora en el tema de la biotecnología, para poder ofrecer a los jóvenes mexicanos una carrera con los más altos estándares internacionales.

CAPÍTULO I

HISTORIA DE LA BIOTECNOLOGÍA

LOS MICROORGANISMOS ANTES DE LA BIOTECNOLOGÍA

Quizás la mayor parte de nosotros pasemos la vida sin tomar plena conciencia del papel que en ella desempeñan los microorganismos de hecho desde apenas hace siglo y medio se sabe de su existencia, que se remonta a épocas que con dificultades podemos ubicar pues la escala del tiempo se pierde en un remoto pasado: hace unos 4600 millones de años se formó la tierra y unos mil millones después aparecieron formas de vida primitiva, principalmente bacterias y algas verde-azules o cianobacterias, conocidas por evidencias encontradas en fósiles. Debieron transcurrir millones de años más para que aparecieran células de mayor complejidad y, por último organismos pluricelulares. Pero si retrocedemos 600 millones de años encontramos que los procariotes aun dominaban nuestro planeta. Podría decirse que vinieron a preparar la llegada del homo sapiens hace un millón de años, y es que, antaño, el ambiente era en verdad irrespirable, pues no contaba con suficiente oxígeno ni capa de ozono para retener la radiación ultravioleta. Las células obtenían energía combinando sustancias tales como sulfuro de hierro y ácido sulfhídrico. Uno de los primeros resultados de la acción de los microorganismos primitivos fue el surgimiento, mediante la fotosíntesis de una atmósfera estable y con suficiente oxígeno favorable para la existencia de microorganismos más complejos que los procariotes como levaduras, hongos, algas, etc. Las células primitivas obtenían energía sin necesidad de oxígeno (fermentación) al transformar azúcares en compuestos tales como ácido láctico y alcohol, o bien al oxidar hidrógeno (muy abundante en las

primeras etapas de la vida del planeta), hierro o azufre, mientras que los eucariotes obtienen mayor energía al usar oxígeno para oxidar los azúcares hasta dióxido de carbono (CO₂) y agua (respiración). La fotosíntesis proceso inverso a la respiración, permite obtener oxígeno y azúcares a partir de la energía solar y de CO₂. La tierra vive gracias al concierto de quienes respiran el oxígeno y quienes consumen el CO₂ producto de la respiración. El hombre y su actividad industrial, en particular el consumo excesivo de energía con la consecuente producción de CO₂ han alterado este balance. Otra capacidad primitiva de los procariotes es la de asimilar el nitrógeno del aire (los organismos superiores sólo pueden tomarlo de compuestos orgánicos como las proteínas) Este sistema de fijación dejó de ser importante una vez que se dispuso de oxígeno; sin embargo, los microorganismos que los conservan tienen gran utilidad en la agricultura, pues pueden vivir en relación simbiótica con plantas, que, por lo mismo, no requieren fertilización nitrogenada.

¿QUÉ ES LA BIOTECNOLOGÍA?

Es una palabra compuesta por tres términos griegos: BIOS (βίος) que significa vida, TECNE (τεχνη) que significa arte o ciencia y LOGOS (λογος) que significa tratado. Se puede definir como el conjunto o tratado de conocimientos sobre la ciencia de la vida. Se caracteriza por su aspecto multidisciplinario, interdisciplinario y sistemático. Está formada por la aplicación integrada de los conocimientos y las técnicas de la química, la bioquímica, la microbiología, la genética, la biología molecular, la ingeniería química, ingeniería enzimática, ingeniería industrial, ingeniería genética, matemáticas y economía; utilizando bacterias, levaduras, hongos, algas, células de tejidos de animales y vegetales en cultivo, o enzimas aisladas de estos organismos para producir y obtener sustancias de utilidad

para el sector industrial, a través del metabolismo y capacidad de biosíntesis de estos microorganismos, que proveen los ingredientes activos y remplazan los procesos químicos o mecánicos existentes o habitualmente empleados hasta ahora.

La humanidad durante mucho tiempo consumió productos alimenticios sin estar consciente del proceso que era responsable de los cambios en color, sabor y consistencia de los alimentos. Actualmente se sabe que el proceso responsable es la fermentación, proceso de óxido-reducción que realizan las bacterias, levaduras, hongos, algas, células vegetales y animales en cultivo, por medio de su metabolismo y capacidad de biosíntesis para transformar materia orgánica en compuestos más simples, bajo condiciones aerobias o anaerobias, hacia la producción de sustancias específicas.

LA BIOTECNOLOGÍA EN EL PASADO

Las fermentaciones microbianas representan los procesos biotecnológicos más antiguos, que datan de 6000 años a. C. En Asia Mediterránea y en Asia Central aprendieron a elaborar la cerveza y el vino, por ejemplo los sumerios eran capaces de fabricar cerveza derivada de la cebada y del emmer (cereal), y a los asirios se les adjudica el origen del vino, pues el cultivo de la vid era realizado por los sacerdotes donde la bebida era exclusiva de las clases altas.

También la elaboración del pan se realiza por fermentación, es uno de los procesos más antiguos conocidos y aprovechados por el hombre, aproximadamente en el año 4000 a.C. ya se había aprendido a elaborar el pan usando la fermentación de levaduras. En aquella época ni siquiera se le

llamaba así a la fermentación, sólo sé hacia, y se han encontrado panes en las pirámides de Egipto, los cuales datan de aproximadamente 6000 años. Otro proceso que requiere de la fermentación, es la obtención del queso a partir de la leche y su producción probablemente se inició junto con la ganadería.

Se sabe que desde el año 750 se realizaban destilaciones alcohólicas, y los maestros Salernus y Albertus Magnus, alquimistas de 1176, destilaban vino para obtener alcohol.

Aquí en México, los aztecas producían algas lacustres conocidas ahora como la espirulina antes de 1521. Estas sencillas técnicas, que hoy podrían ser llamadas biotecnológicas, se aplicaron a lo largo de los siglos sobre todo en la producción de alimentos y de principios activos derivados de plantas medicinales y nutritivas. Estos son los campos agroalimentario y de la farmacia.

EL VINO Y SUS ORÍGENES

Los arqueólogos identifican la producción de vino cuando un yacimiento contiene un número suficientemente elevado de pepitas de uva. Las primeras vinificaciones contrastadas se realizaron hace unos ocho milenios en las bellas laderas, pobladas de vides silvestres y laureles, que ocupa Georgia en las estribaciones del Cáucaso, esa imponente cordillera que los romanos llamaron “el fin de la tierra”.

Desde el Cáucaso, donde el vino se sigue elaborando prácticamente igual que en el sexto milenio antes de Cristo, el cultivo de la vid avanza hacia el sur, deteniéndose en las fértiles llanuras de Mesopotamia. El

código de Hammurabi, rey de Babilonia a finales del siglo XVIII a. C., se ocupa en detalle del cultivo de la vid y del comercio del vino. Desde Asia Central avanza hacia el este llegando a la India y China. Pero es en dirección oeste, a través de Armenia y Siria, donde el cultivo llega a su tierra prometida, el Mediterráneo. La tierra de Caná (hoy Líbano e Israel), el Egipto de los faraones y la civilización cretense conocen a fondo los secretos de la elaboración y conservación del vino al comenzar el segundo milenio antes de Cristo.

Con base inicial en el Mediterráneo oriental, la vitivinicultura y la enología recorren, perfeccionándose, un camino incesante hacia el oeste a través de la expansión de los fenicios, que fundan Gadir (Cádiz), hace tres mil años. Más tarde, en el siglo V a. C., los Griegos plantan viñas en Ampurias y Rosas (Cataluña), donde hoy, por cierto, la carta de vinos en ese templo de la gastronomía mediterránea que es “El Bulli” hace honor a dos mil quinientos años de tradición vitivinícola.

Prácticamente todos los remedios de Hipócrates, considerado el padre de la medicina, recomiendan diversas clases de vino. Los grandes filósofos griegos lo elogian. Merece la pena citar a Sócrates: “El vino templó los espíritus y adormece las preocupaciones (...) revive nuestras alegrías y proporciona aceite a la efímera llama que es la vida.

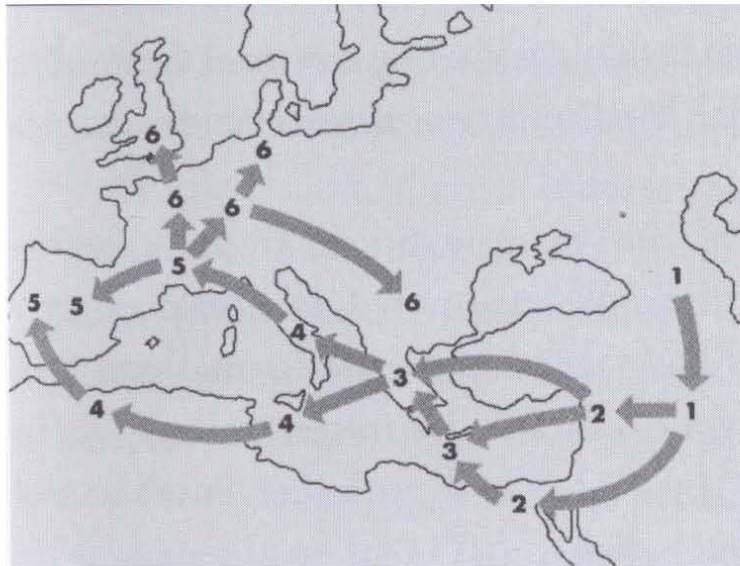


Figura 1. Esquema de la expansión de la vid desde su origen en el Cáucaso

(Fuente: Falcó Fernández de Córdova, Carlos, Entender de vino, España, mr ediciones, 2004, p. 23)

Si bebemos con moderación y a pequeños sorbos, el vino destila hacia nuestros pulmones como el rocío de la mañana (...) Es así como no viola nuestra razón, sino que nos lleva a una dulce alegría”.¹

En el antiguo Egipto, el vino es minoritario frente a la cerveza, que es la bebida popular: lo consumen sólo los faraones y los poderosos. En la Grecia clásica, Dionisos, dios del vino, forma parte de su mitología más antigua, en la que también era considerado dios de la vegetación y de la fertilidad.

En Lidia (la actual costa mediterránea de Turquía) el nombre de Dionisos es Bacchus, que adoptan los romanos, convirtiéndolo en el más popular de entre sus dioses. La devoción de los judíos por el vino es la esencia de su religión.

¹ Fuente: Falcó Fernández de Córdova, Carlos, Entender de vino, España, mr ediciones, 2004, p. 24.

No es de extrañar, por tanto, que Jesús de Nazaret inaugurase su vida pública convirtiendo el agua en vino en las bodas de Caná y que la cerrase con ocasión de su última cena en la tierra elevándolo a la categoría de sacramento.

A partir de la conquista de Granada y del descubrimiento de América, los españoles llevan consigo a América primero el vino y luego las viñas. Las que más prosperan son las de dos países que disfrutan, en parte de su geografía, de un clima “mediterráneo “: Chile y Argentina y, mucho más tarde (s. XVIII), con las misiones del mallorquín fray Junípero Serra, California. A partir de su independencia a principios del s. XIX, Chile, Argentina y California se suman a la tendencia europea de su viticultura y ésta adquiere gran importancia.

La producción mundial de vinos de calidad se reparte hoy, por tanto, entre dos bloques de países claramente diferenciados: de un lado, los productores europeos del Viejo Mundo, que incluyen los tres mayores países vitivinícolas (Italia, Francia y España); de otro, los del llamado Nuevo Mundo, cuyo grupo mayoritario (Argentina, Chile, Australia y Sudáfrica) está localizado en el hemisferio sur, con la importante excepción de Estados Unidos de América.

La vid es una planta arbustiva que se adapta extraordinariamente bien al clima mediterráneo, caracterizado por temperaturas relativamente moderadas y por estaciones meteorológicas bien diferenciadas, otras regiones de California, Australia, Chile, Argentina y Sudáfrica gozan de un clima muy similar. Los viñedos, además de su insustituible contribución a los paisajes, son excelentes protectores y fijadores del suelo frente a la erosión provocada por vientos y lluvias torrenciales.

La cultura del vino es para disfrutar al máximo no sólo del placer físico que proporciona una botella a cada uno de los cinco sentidos, sino también el goce intelectual que produce hablar con conocimiento de su relación telúrica con la luz, el agua, los minerales del suelo, el proceso de fermentación, el ADN de las vides o los mecanismos que preservan nuestra salud.

LA CERVEZA Y SUS ORÍGENES

Existen diferentes creencias sobre la aparición de la cerveza. Según la mitología egipcia, el dios Osiris fue quien enseñó a la humanidad a elaborar la cerveza. Sin embargo, algunos arqueólogos han señalado que los hallazgos más antiguos sobre la existencia de la cerveza fueron encontrados en Sudán y tienen aproximadamente 10 mil años.

Hace más de seis mil años en los márgenes de los ríos Tigris y Eufrates, los sumerios elaboraban y consumían cerveza. La historia dice que los babilonios heredaron de los sumerios el arte del cultivo de la tierra y la elaboración de la cerveza. Uno de los decretos más conocidos de la época, emitido por el Rey Hammurabi, dispuso normas sobre la fabricación de esta bebida, en las cuales se incluían el precio del producto y la concentración adecuada estableciéndose sanciones aplicables a quienes la adulteraran. La elaboración tenía carácter religioso y era realizada por sacerdotisas.

Los griegos identificaron la cerveza con los egipcios, ya que la palabra “zythum” usada por éstos, significaba vino de cebada. Un siglo antes de

Jesucristo, Diodor Sículo escribió: “Se hace en Egipto, con cebada, una bebida llamada zythum y que por lo agradable de su color y su gusto cede muy poco al vino”².

En sus comienzos, los egipcios obtenían la cerveza fermentando el trigo, pero más tarde éste fue sustituido por los otros cereales más idóneos, especialmente la cebada. La bebida se mezclaba con frutos, preferiblemente dátiles, se endulzaba con miel y se perfumaba con canela. Los fabricantes egipcios de cerveza eran exceptuados de prestar el servicio militar, y tanto los soldados como las autoridades recibían cerveza como parte de su paga.

También existen pruebas de que los chinos producían una clase de cerveza llamada “Kiu” hace más de cuatro mil años, la cual se fabricaba a base de cebada, trigo, espelta, mijo y arroz. Hay quienes aseguran que en España elaboraron cerveza 500 años antes que en Alemania, país al que se le adjudica el origen de dicha bebida. De lo que sí están ciertos los estudiosos es que fue en Bélgica, en donde los monjes añadieron por primera vez el lúpulo, y con ello empezaron a elaborar diferentes tipos de cerveza, así como diferentes graduaciones para la misma. Así, pronto en diferentes países, la forma y la tecnología para elaborar la cerveza fue evolucionando, pues en un principio sólo se podía elaborar en ciertas temporadas, en la época de calor era imposible, pues se echaba a perder.

² Fuente: Página Web del Grupo Modelo.

En México, la historia de la cerveza se remonta a 1544, año en que el emperador Carlos V suscribió una cédula que concedía a Alonso de Herrera el permiso para su establecimiento cervecero, con la condición de que la Corona recibiera un tercio de las ganancias y el fabricante asumiera

el traslado de Flandes o de las partes donde se hallaran los maestros calderos, aparejos y otras menudencias que convinieran para el servicio, así fundó la primera cervecería en la Ciudad de México, que por cierto fue la primera de América Latina, y cuyo nombre se desconoce.

Poco después, Alonso de Herrera informó a Carlos V sobre el gran éxito obtenido por su empresa, el cual fue confirmado por la orden a los oficiales reales el 5 de septiembre de 1550, a quienes se les exigió pagar a Germán de Castilla la tercera parte de la cerveza que se hiciera en esta ciudad, la cual pertenecía a su majestad.

Sin embargo, muy poco se sabe sobre la suerte que corrió la cerveza en la Nueva España, pues según conjeturas, el abuso en su consumo fue sancionado por las autoridades, además de que en aquella época existían varias bebidas de origen anterior a la Conquista parecidas a la cerveza, como el zendecho (pulque de maíz), aguardientes, vinos de caña, chinguirito, pozoles, ponches, tepaches y vinos de mezquite, entre otros, los cuales por su gran usanza, bien pudieron opacar su rápido desarrollo.

Cabe mencionar que la chicha, la zambumbia y el tesgüino, fueron otras bebidas muy populares durante la época virreinal.

En la colonia, es difícil calcular la cantidad de cervecerías artesanales que se instalaron en el territorio mexicano durante este período. No obstante, el consumo de la cerveza fue de cierta consideración, pues el barón de Humboldt afirmó que en 1802 entraron por la aduana del puerto de Veracruz 71 mil 806 botellas importadas.

Tres años después de la proclamación de la Independencia (1810), los asuntos relacionados con la cerveza fueron objeto de debate en el Congreso Legislativo. Basta mencionar algunos casos como el de los

ciudadanos ingleses Thomas Gillons y Charles Mairet, quienes reclamaron el privilegio para elaborar esta bebida; el de Miguel Ramos Arizpe, quien afirmó en una sesión del 4 de marzo de 1824 que la cerveza ya se fabricaba en Texas y Puebla; y el de Justino Tuallion, quien dijo que el 12 de febrero de ese mismo año se le había concedido el privilegio exclusivo para establecer una fábrica en la Ciudad de México.

Según Rafael Heliodoro Valle, Tuallion llegó a elaborar la cerveza más popular de los primeros años del México Independiente denominada "del Hospicio de Pobres" ³. Se le nombró así, ya que su fábrica se ubicaba en un local de la calle Revillagigedo, donde por muchos años estuvo una institución dedicada a los menesterosos.

En 1825, un hombre de nombre Notley, fabricaba en San Cosme una cerveza de jengibre inglés muy adecuada para las personas que viajaban por climas cálidos, tanto por su frescura como por ser una medicina eficaz contra las fiebres y otros males relacionados con la exposición al calor excesivo.

Es probable que otros pioneros acompañaran a Tuallion y a Notley en la creación del gusto mexicano por la cerveza en el primer cuarto del siglo XIX,

³ Fuente: Página Web del Grupo Modelo.

como el viajero, William Bullock, quien describió un panorama favorable para la industria cervecera en aquellos años, pues afirmaba que la cebada, de tan buena calidad como cualquiera de Europa, ya se producía en muchas partes del país, y que mientras se iniciara el cultivo del lúpulo, éste podría ser importado desde Inglaterra o los Estados Unidos.

A pesar de todo esto, aún se dudaba en que la cerveza pudiera sustituir algún día al predilecto pulque. En 1845, el suizo Bernhard Bolgard, estableció en la Ciudad de México la primera cervecería de fermentación alta, La Pila Seca. La cebada producida por esta fábrica era obscura, elaborada a partir de malta de cebada mexicana secada al sol a la que se le añadía piloncillo. Con esta técnica básica trabajaron los primeros cerveceros de México.

En 1869, el cervecero alsaciano, Emil Dercher, abrió la Cervecería La Cruz Blanca. Este establecimiento inició su fabricación de cerveza *lager* en la Ciudad de México hasta 1898.

En 1879, Emiliano Bustos calculó en 114 mil pesos el valor sumado de la producción anual de las siete cervecerías establecidas en la Ciudad de México. La cifra colocaba a la fabricación de cerveza en el lugar 17 en importancia entre las industrias de la capital, muy lejos de las de tabaco, ropa, zapatos, panaderías, tocinerías, textiles y molinos de trigo, las cuales ocupaban los primeros lugares con producciones de más de un millón de pesos cada una.

No obstante, el florecimiento de las cervecerías artesanales no sólo se redujo a la Ciudad de México, sino que habría de extenderse a otros lugares como Guadalajara, donde los propietarios de algunas fábricas invitaban a sus clientes a conocer su local y apreciar su espectacular maquinaria.

El establecimiento de la red ferroviaria en México, marcó el inicio de la historia moderna de la industria cervecera en los años 80 del siglo XIX.

La importación de maquinaria y malta de los Estados Unidos, la instalación de fábricas de hielo —indispensables para la industria—, y

sobre todo, el crecimiento de un mercado capaz de soportar los costos de factorías más tecnificadas, fueron algunos de los rasgos más característicos de esta época.

Además, los ferrocarriles obligaron a los industriales mexicanos a competir con las cervezas norteamericanas que podían llegar masivamente a los mercados del interior del país.

La apertura entre 1884 y 1885 de la línea ferroviaria que recorría la ruta entre El Paso, Texas y la Ciudad de México, fue un acontecimiento decisivo en el crecimiento de las empresas dedicadas a producir cerveza.

El industrial cervecero de este período fue Santiago Graf, quien en 1875 adquirió la Cervecería Toluca y México, fundada diez años antes por el suizo Agustín Marendaz.

Graf inició la producción de una cerveza de mayor calidad tipo *ale*, aunque todavía empleando la técnica de alta fermentación. Pocos años después instaló maquinaria moderna para fabricar hielo, y en 1882 importó equipos alemanes que le permitieron elaborar la primer cerveza lager mexicana: la Toluca *lager*.

Para 1890 la industria cervecera empezó a crecer en todo el país, primero en Monterrey, posteriormente en Veracruz, en donde se elaboraba cerveza con agua de los manantiales del Pico de Orizaba. Con el auge del Porfiriato, y el apoyo que dio Porfirio Díaz a inversionistas extranjeros, empresarios franceses y alemanes introdujeron al país tecnología europea de punta para la producción cervecera. En esta época se dice que empieza la época moderna de la industria.

En la última década del siglo XIX, proliferaron a nivel nacional modernas cervecerías con grandes inversiones de capital. Las cifras de importación de 1889 a 1890 fueron de tres millones de litros de cerveza de marcas extranjeras, mientras que en 1910 sólo se compraron en el exterior 500 mil. Este período fue considerado el primer auge de la cerveza mexicana.

En 1891, Isaac Garza, José A. Muguera, Francisco Sada y el cervecero Joseph M Schnaider, originario de Saint Louis, Missouri, fundaron la Cervecería Cuauhtémoc, en Monterrey, Nuevo León. A ésta se agregaron en 1894 cuatro pequeñas cervecerías en Orizaba, Veracruz: la Santa Elena, La Mexicana, La Azteca y La Inglesa; en 1896 la Cervecería de La bonanza porfiriana.

En medio de este período, el desarrollo cervecero alcanzó al sudeste y noreste de la República. El 7 de abril de 1899, en la ciudad de Mérida, José María Ponce y Cía. fundó la Gran Cervecería Yucateca®, la cual al principio produjo las cervezas Cruz Roja, Estrella®, Conejo y Mestiza. Al año siguiente, esta empresa se convirtió en la Cervecería Yucateca®, una fábrica de alcance regional que ganó fama mediante las marcas Carta Clara® y León®⁴.

⁴ Fuente: Página Web del Grupo Modelo.

Mientras tanto, el 14 de marzo de 1900, Cervecería del Pacífico se inscribió ante notario Público en Mazatlán, Sinaloa, y un año después inauguró su planta lanzando al mercado la marca Pacífico® Pilsner. Sus fundadores fueron los alemanes Jorge Claussen, Germán Evers, Emilio Philippi, César Boelken, Federico Marburg y Jacob Schuele.

Para principios del siglo pasado, por ahí de 1904, la cerveza mexicana ya era considerada entre las mejores del mundo.

Al comenzar el siglo XX, había no menos de 29 registros de cervecerías en México. La revista norteamericana, *The Western Brewer*, indicaba que durante 1903 operaban 19 fábricas en la República Mexicana, las cuales estaban equipadas con maquinaria moderna de cervecería, refrigeración y embotellado, y producían cerveza un poco más clara que la norteamericana, ya que empleaban en su elaboración entre un 15 y 30 por ciento de arroz.

La mayoría de la cerveza se vendía embotellada, y casi toda la malta era importada desde Alemania y los Estados Unidos con excepción de dos cervecerías, La Toluca y La Perla, quienes fabricaban su propia malta. Miguel Alessio Robles afirmó que para 1918 había 36 fábricas de cerveza en México.

Éste era el panorama cervecero hacia 1922, cuando un grupo de empresarios españoles creó la sociedad fundadora de la Cervecería Modelo.

Para 1925, el capital invertido en toda la industria era de aproximadamente 20 millones de pesos, la producción nacional era de alrededor de los 50 mil litros y la rama ocupaba cerca de dos mil 500 personas.

En ese año, según la oficina de la Estadística Nacional, sólo el siete por ciento de los hombres y el cinco por ciento de las mujeres entre los 15 y 80 años consumían cerveza en el país, los cuales representaban únicamente la décima parte de los bebedores de pulque. Comenzaba un nuevo ciclo de la cerveza mexicana.

La cerveza mexicana continuó incrementando su industria y calidad. Para 1945 dicha industria logró el desarrollo más importante y pronto se empezó a duplicar la producción de la cerveza mexicana a nivel mundial. Actualmente, el gusto por la cerveza mexicana se ha incrementado a pasos agigantados a nivel mundial. Según cifras de la investigadora británica Canadean, divulgadas por JP Morgan, México es, desde 1999, el tercer mayor exportador de cerveza del mundo, con 8,65 millones de hectolitros vendidos. El país se encuentra detrás de Holanda (12 millones) y Alemania (9,2 millones) ⁵.

A nivel mundial existen casi tantos tipos de cerveza como marcas de las mismas.

Los tipos de cervezas tienen diferentes clasificaciones. Algunas clasificaciones dependen del modo de fermentación. También hay tipos de cervezas que toman su nombre de acuerdo al lugar en el que se elaboran, así como por los productos que utilizan para su producción. Sin embargo, la mayor parte de las cervezas se elaboran con cebada malteada a la que se da sabor con lúpulo.

⁵ Fuente: Página Web del Grupo Modelo.

También existen en el mercado cervezas de trigo, mijo y arroz, la más habitual es la obtenida a partir de la fermentación de la cebada. Ejemplo de ello son las cervezas que se producen en Japón, China y Corea, en estos lugares se elabora con arroz, y recibe el nombre de sake, samshu y suk respectivamente. Mientras tanto en África se usan mijo, sorgo y otras semillas; mientras que el kvass ruso se hace con pan de centeno fermentado.

En México también existen diferentes tipos de cervezas, los cuales se diferencian por la variedad y mezcla de maltas y por el método de elaboración.

Cerveza clara: esta cerveza es joven y se produce con malta clara sin tostar.

Cerveza oscura: se elabora a más alta temperatura que la clara y se elaboran a base de malta tostada.

Cerveza campechana: se produce con la mezcla de cebadas de diferentes tipos de tostado; su color es intermedio entre la cerveza clara y la oscura.

Cerveza lager: esta cerveza es añejada con lúpulo y se elabora en frío.

Cuvées: esta cerveza se elabora sólo en ciertas temporadas como las Navideñas.

Cerveza sin alcohol: Últimamente se está distribuyendo cerveza sin alcohol, esta cerveza se elabora principalmente en Estados Unidos y Alemania. La cerveza sin alcohol empezó a cobrar mayor presencia a nivel mundial, y México no podía ser la excepción. Esta cerveza utiliza el mismo método que se usa para la elaboración de la cerveza tradicional; algunas se saltan la fase de fermentación, hay otras productoras que mantienen la fermentación, pero a baja temperatura, con ello evitan que la graduación alcohólica aumente. Sin embargo, los diferentes avances tecnológicos, y gracias a diversos estudios que se han realizado, hay cervezas -como la Old Milwaukee-, que realizan todo el proceso normal de una cerveza, pero después de que haya fermentado, los productores, remueven el alcohol con la utilización de la tecnología.

Las cervezas sin alcohol son recomendadas para las personas que practican deportes, para quienes siguen una dieta y hasta para las mujeres embarazadas. Este tipo de bebida también cuenta con diversas propiedades que la hacen una bebida sana y ligera.

Sin duda alguna, la cerveza sin alcohol, según diversos estudiosos, es la bebida más ligera después del agua. Y entre sus principales propiedades es que contiene vitaminas como: B1, B2 y B6, así como glúcidos de asimilación lenta como el almidón y un apreciable aumento de las fibras alimenticias.

De la misma manera que las cervezas tradicionales, la cerveza sin alcohol contiene ácido fólico que previene los riesgos de enfermedades cardiovasculares, previene la anemia, estimula el apetito, evita el estreñimiento, y ayudan en los procesos de calcificación.

En términos generales, las cervezas sin alcohol, pueden ser consumidas por niños, mujeres embarazadas y en etapa de lactancia, así como quienes, por prescripción médica, no pueden ingerir alcohol. Además es adecuada para las personas que tienen que manejar y no desean dejar de probar el sabor de la cerveza.

Diversos estudiosos han comprobado la riqueza de proteínas, vitaminas, sales minerales, fibras y micronutrientes que contiene la cerveza y que, evidentemente, benefician la salud.

Entre los beneficios que la cerveza proporciona a sus consumidores se encuentra el incremento del "colesterol bueno". Este mejora la coagulación

de la sangre y tiene alto valor nutricional, además de que favorece la digestión.

Así diversos estudiosos coinciden en que el consumo diario, pero moderado de la cerveza previene la formación de cálculos y piedras en las vías urinarias. Evita el estreñimiento y protege contra patologías del colon, gracias a su contenido en fibra. Está relacionado con el retraso en unos dos años de la menopausia y los fenómenos asociados, como el riesgo de osteoporosis. Contribuye a prevenir la anemia megaloblástica y reduce el riesgo de mal formaciones en el feto, debido a su aporte de ácido fólico, por ello a las mujeres embarazadas se les recomienda consumir cerveza sin alcohol. La cerveza sin alcohol puede incluirse en la dieta de hipertensos, ya que contiene poco sodio.

También hay quienes recomiendan el consumo diario de cerveza en mujeres en periodo de lactancia, pues su riqueza en proteínas estimula el flujo de la leche materna. La cerveza se recomienda para las personas que tienen ausencia de apetito; gracias a su contenido en lúpulo -por cierto la cerveza es la única bebida que lo contiene- que es un estimulante del apetito. Previene además enfermedades circulatorias y el cáncer gracias al contenido de polifenoles.

EL POZOL EN MÉXICO

En forma muy general, los alimentos fermentados son aquellos en cuyo proceso de manufactura intervienen los microorganismos. Estos alimentos han existido desde tiempos muy remotos, asociados a las primeras culturas y surgiendo, probablemente, de manera espontánea. De

los que se consideran más antiguos (algunas bebidas alcohólicas de origen chino), se estima que ocurrieron hace 6000 o 7000 años, cuando el hombre empezó a usar los granos como alimento.⁶

Tal vez el papel más importante que juega la fermentación en los alimentos, es el de mejorar las características organolépticas del sustrato (sabor, olor, color, aroma). Este factor, aunado al mayor tiempo de conservación del alimento, fue determinante en la decisión del hombre antiguo, de seleccionar algunas de estas técnicas para diversificar su dieta.

Actualmente se sabe que la fermentación puede presentar ventajas adicionales, o se conoce con más detalle las causas de su extendido uso empírico. Entre ellas se pueden mencionar: la reducción en el tiempo de cocción, el aumento en la digestibilidad del sustrato, el incremento en el valor nutricional la inhibición del desarrollo de microorganismos patógenos y sus toxinas, o la eliminación de sabores y texturas desagradables.⁷

⁶ Fuente: Wang, HL, SF Fang, “*History of Chinese fermented food*”, Indigenous fermented foods of non-western origin, CW Hesseltine y HL Wang (Eds)(J Cramer, Berlin-Stuttgart, 1986) pp 23-35.

⁷ Fuente: Hesseltine, CW, HL Wang, *Chemistry and Industry* (1979) **12**, 393-399.

Tomando en cuenta la gran variedad de alimentos fermentados que existen en el mundo, resulta paradójico que sólo una proporción muy baja de ellos haya sido estudiada en detalle, difundida y producida a nivel industrial.

Dentro de éstos se puede incluir al queso, la cerveza, el pan y recientemente al yogurt. En contraparte a estos alimentos de difusión y consumo internacional, existen una enorme variedad de productos

fermentados tradicionales muy localizados, que se producen y consumen en pequeñas regiones del mundo que, sin embargo, forman parte esencial de la dieta de grandes núcleos de población en el Lejano Oriente, Asia, India, Medio Oriente, África y América Latina.

Cada cultura está íntimamente ligada a ciertos alimentos que forman la base de su dieta. México cuenta con cerca de 56 grupos étnicos, muchos de los cuales han consumido alimentos fermentados desde épocas prehispánicas. De hecho, el uso de estos alimentos no se restringe a la nutrición, sino que también son empleados con fines medicinales y religiosos.

Se considera al maíz, cuyo cultivo debe haberse iniciado hace aproximadamente 7000 años ⁸, como la base de la alimentación de los pueblos prehispánicos de México y Centroamérica. A este cereal se asociaba una parte importante de los conceptos religiosos, de los mitos sobre el origen de la vida y otros elementos de la cultura.

⁸ Fuente: Casillas, LE, LA Vargas, “*La alimentación entre los mexicanos*”, Historia General de la Medicina en México, Tomo I México Antiguo, F Martínez Cortés (Ed) (Academia Nacional de Medicina y Facultad de Medicina, UNAM, México, 1984) pp 133-156.

Resulta entonces lógico que la mayoría de los alimentos fermentados de nuestro país, se preparen a base de maíz: agua agria, atole, atole agrio, cuaruapa, charagua, ostoche, pozol, quebrahuesos, sendechó, tepache, tesguino y vino de caña.

Desde tiempos anteriores a la conquista, en el sureste de México, se consume una bebida ácida y refrescante que se conoce como pozol. Esta bebida se elabora a partir de nixtamal (maíz hervido en agua con cal). Para su consumo, se prepara suspendiendo en agua masa de nixtamal fermentada

y se bebe adicionada de sal, azúcar, miel o chiles secos por diversos grupos indígenas y mestizos de los estados de Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas y Oaxaca.

En relación a la metodología de la preparación del pozol Cruz y Ulloa ⁹ lo reportan en detalle. Señalan que el maíz se remoja en agua con cal, se lava, se frota con las manos para desprender la cascarilla y se cuece en agua hasta que reviente el grano. Este se enfría, se machaca y se amasa, formando bolas, las cuales se envuelven en hojas de plátano, platanillo y hoja blanca. Se dejan fermentar por lo general, durante 4 o 5 días, aunque según Ulloa y col ¹⁰ los chamulas y los lacandones, lo dejan 2 o más semanas y lo consumen enmohecido. La masa se suspende en agua y se bebe a veces adicionada de sal, pimienta y chile.

⁹ Fuente: Cruz Ulloa, S, M Ulloa, Rev. Soc. Mex. Hist. Nt (1973) **24**, 423-457.

¹⁰ Fuente: Ulloa M, T Herrera, P Lappe, *Fermentaciones Tradicionales Indígenas de México* (Serie de investigaciones Sociales No. 16, Instituto Nacional Indigenista, México, 1987) p 13-20.

De acuerdo con los mismos autores, existen variantes en los diferentes estados productores. En Tabasco y Chiapas, se prepara pozol con un aroma especial, añadiendo la planta “islaur” o “isaul” en el agua en que se bate la masa; en Oaxaca, se conoce como “pozonque” y en Tabasco, existe una modalidad llamada “chorote”, que se obtiene por fermentación de la masa de maíz con cacao molido. En la región de Chinantla, Oaxaca, agregan a la bebida cacao tostado y molido o cenizas de carbón de encino; en la región mixe, se prepara el pozol con “cocolmécatl” (bejuco silvestre y cacao molidos) y en Yucatán, suelen agregarle coco.

La fermentación de la masa de nixtamal, se lleva a cabo en estado semisólido, con la intervención de una microbiota compleja compuesta por diferentes grupos de bacterias, mohos y levaduras. Desde el punto de vista científico, es de gran interés el estudio de las interacciones microbianas presentes y de la dinámica del crecimiento microbiano. Por otra parte, un estudio amplio sobre esta fermentación permitirá establecer recomendaciones para su producción en condiciones controladas a nivel rural, o inclusive para su industrialización.

Es importante mencionar que, debido a que los alimentos fermentados tradicionales han sido producidos durante tanto tiempo, se ha seleccionado en forma natural una microbiota que en ocasiones posee características especiales. De esta manera, se han utilizado microorganismos aislados de alimentos tradicionales en procesos biotecnológicos modernos. Tal es el caso de la salsa de soya, a partir de la cual surgieron grandes industrias productoras de enzimas, aminoácidos y potenciadores del sabor.

Es interesante notar que existen similitudes entre alimentos fermentados de regiones lejanas. Tanto en África como en América Latina, predominan los alimentos fermentados preparados a base de sustratos amiláceos (de cereales y tubérculos). En Ghana, existe un alimento muy similar al pozol, el kenkey, que se elabora con maíz no hixtamalizado. En ambas regiones (Latinoamérica y África), donde existen graves problemas de deshidratación infantil debido a diarreas, es común el consumo de alimentos a base de cereales. En comunidades rurales, donde hay escasez de alimento, de combustible para cocinar, y donde no se cuenta con facilidades de refrigeración, sería muy conveniente contar con un método, como la fermentación láctica, para disminuir o inclusive inhibir el crecimiento bacteriano indeseable. Esto hace pensar que el consumo

infantil de alimentos fermentados de cereales, representa una contribución a la resolución del problema.

Antes de proponer aplicaciones basadas en la fermentación del pozol, es necesario primero comprenderla.

Bajo este concepto, varios trabajos iniciados desde los años 50 se dirigieron a la caracterización bromatológica y microbiana del pozol. Cravioto y col ¹¹ demostraron que el pozol tiene mayor contenido de proteína, niacina, riboflavina, lisina, triptófano y otros nutrimentos, que los granos de maíz que se utilizan en su preparación.

¹¹ Fuente: Cravioto, RO,OY Cravito, HG Massieu, GJ Guzmán, Ciencia Méx. (1955), **15**, 27-30.

Los estudios microbianos iniciados por Salinas ¹² y continuados principalmente por un grupo de investigadores de los institutos de Biología y de Química de la UNAM, han sido recopilados por Ulloa y col. Gracias a ello hoy se sabe que la microbiota del pozol es compleja.

Dentro de los microorganismos que se han aislado (Tabla 1) es importante mencionar a las bacterias *Agrobacterium azotophilum* y *Klebsiella pneumoniae*, las cuales fijan el nitrógeno atmosférico en la masa ¹³ y se piensa que podrían estar involucradas en el aumento de proteína de la misma.

Agrobacterium azotophilum además produce diferentes grados de antagonismo hacia diferentes microorganismos¹⁴.

Dentro de los mohos, *Geotrichum candidum*, que está frecuentemente asociado a alimentos fermentados de maíz, podría estar relacionado con la producción de sabores. Sin embargo, microorganismos como *Bacillus cereus*, *Aspergillus flavus*, *Candida parapsilosis*, *Candida tropicalis* y *Phialophora richardsiae* pueden estar presentes y representar un riesgo a la salud ¹⁵. En la misma línea, nuestro grupo a realizado e iniciado diversos estudios con el fin de determinar *in situ* la dinámica de crecimiento a lo largo de la fermentación, aislar y caracterizar los microorganismos participantes, para finalmente, establecer las especies predominantes y las interacciones microbianas fundamentales.

¹² Fuente: Salinas, Ch C, *Emobiología e introducción a la bacteriología del pozol* (Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, México) pp 63.

¹³ Fuente: Taboada, J, C Salinas, M Ulloa, T Herrera, *Rev. Lat-amer. Microbiol* (1975) **17**, 157-159.

¹⁴ Fuente: Herrera, T, M Ulloa, *Rev. Lat-amer. Microbiol* (1975) **17**, 143-147.

¹⁵ Fuente: Ulloa, M, T Herrera, J Taboada, "*Mexican pozol*" , *Hand-book of Indigenous Fermented Foods*, KH Steinkraus (Ed) (Marcel Deeker, N. York y Basilea, 1983) pp 226-233.

A pesar del conocimiento existente sobre el pozol, ningún estudio previo se ha centrado en describir su heterogeneidad. De hecho, pozol implica un término genérico para productos elaborados en una diversidad de condiciones, prácticamente tantas como productores existentes en el medio rural. En consecuencia, es necesario establecer las variaciones básicas y distintivas entre los procesos de elaboración que siguen diferentes productores, y que permitan ser asociadas a las características finales del producto.

Bajo este marco, y como parte de un proyecto amplio de investigación, el presente estudio tiene como objetivo conocer los detalles del proceso real de elaboración del pozol y la variabilidad observada en un sitio donde su consumo es extendido (por ejemplo, la región Altos de Chiapas). Esta información enriquece el conocimiento general del pozol y

sienta las bases para estudios microbiológicos, actualmente en proceso, que toman en cuenta la metodología de elaboración.

Bacterias
<i>Achromobacter pozzolis</i>
<i>Aerobacter aerogenes</i>
<i>Agrobacterium azotophilum</i>
<i>Bacillus cereus</i>
<i>Escherichia coli var. neapolitana</i>
<i>Paracolobactrum aerogenoides</i>
<i>Pseudomonas Mexicana</i>

Levaduras
<i>Candida quilliermondii</i>
<i>Candida krusei</i>
<i>Candida parapsilosis</i>
<i>Canadida tropicalis</i>
<i>Hansenula fabiani</i>
<i>Kluyveromyces fragilis</i>
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
<i>Trichosporon cutaneum</i>

Mohos
<i>Alternaria tenuis</i>
<i>Aspergillus flavus</i>
<i>Aureobasidium pullulans</i>
<i>Cladosporium herbarum</i>
<i>Epicoccum sp.</i>
<i>Fusarium sp.</i>
<i>Geotrichum candidum</i>
<i>Monilia sitophila</i>
<i>Mucor racemosus</i>

<i>Mucor rouxianus</i>
<i>Penicillium claviforme</i>
<i>Penicillium clyclopium</i>
<i>Penicillium expansum</i>
<i>Penicillium italicum</i>
<i>Penicillium lanoso-viride</i>
<i>Phialophora richardisiae</i>
<i>Rhizopus nigricans</i>
<i>Trichoderma viride</i>

Tabla 1: Microorganismos aislados del pozol.

(Fuente: Elaboración propia, *op. cit.*, Ulloa M, T Herrera, P Lappe, *Fermentaciones Tradicionales Indígenas de México*, Serie de investigaciones Sociales, No. 16, Instituto Nacional Indigenista, México, 1987)

LA ELABORACIÓN DE POZOL EN LOS ALTOS DE CHIAPAS

Resumen

En este trabajo¹⁶, se describen con detalle las diferentes etapas de elaboración del pozol, bebida fermentada del maíz, originaria en la región Altos de Chiapas de México. Cada etapa de producción, presenta variaciones que dependen del tipo de productor. De éstas, la más importante consiste en un tratamiento térmico adicional de los granos de nixtamal, que marca la diferencia fundamental entre el pozol indígena y el ladino o mestizo, y seguramente presenta una influencia determinante en la fermentación de la masa.

1. La región de estudio.

El estado de Chiapas cuenta con 3.5 millones de habitantes. La entidad está integrada por 110 municipios que forman nueve regiones geográfico-políticas. La región Altos está integrada por 16 municipios entre ellos San

Cristóbal de las Casas, cabecera y centro integrador de la zona Altos, depende completamente para su abastecimiento diario, de los productos de las tierras indígenas. En San Cristóbal se encuentra el mercado indígena más grande del país, “José Castillo Tielmans”. En él se reúnen, entre otros, los productores de pozol que elaboran su producto con fines comerciales. También se estableció contacto con dos tipos de productores: los comerciales, que producen pozol para venderlo y los familiares, que lo elaboran para autoconsumo.

¹⁶ Fuente: Cañas Urbina, Ana Olivia, Eduardo Bárzana García, John David Owens, María del Carmen Wacher Rodarte, Artículo de difusión “*La elaboración del pozol en Los Altos de Chiapas*”, proporcionado personalmente por la Dra. María del Carmen Wacher Rodarte, *Ciencia* (1993) **44**, 219-229.

Como primera etapa de estudio, se seleccionó una muestra amplia de 10 productores. En el trabajo se describen de manera formal, las particularidades encontradas en las diferentes etapas de producción de pozol, enfatizando las variaciones observadas entre productores y consumidores, que enriquece el conocimiento que se posee actualmente sobre la preparación del pozol.

2. Consideraciones Socioculturales.

A continuación se presentan algunos elementos socioculturales que permiten entender los orígenes de la diversidad en los métodos de elaboración.

Primeramente, la distinción entre productores indígenas y mestizos, es relevante. Es importante hacer notar que todos los productores indígenas que comercializan en el mercado de San Cristóbal, son originarios del municipio de Oxhuc. Los indígenas de este municipio comercializan pozol

como principal actividad económica, El motivo es de tipo social y basado en costumbres ancestrales.

Por último, la existencia de servicios públicos, es deficiente en el domicilio de los productores. Esto presenta una influencia decisiva en los métodos de elaboración del pozol.

3. La materia prima: el maíz.

Para la elaboración del pozol, se utilizan 3 tipos de maíz: blanco, amarillo y negro. En la elaboración de pozol se utiliza generalmente maíz maduro. Es posible elaborarlo de maíz tierno, pero se requiere mayor cantidad de cal para eliminar el hollejo durante la cocción, lo cual modifica el sabor y resulta desfavorable desde el punto de vista económico. Por otra parte el pozol de maíz tierno se acidifica más rápidamente, y tiene como resultado modificaciones sensoriales.

4. Etapas de elaboración del pozol.

- Limpieza del maíz
- Nixtamalización
- Lavado de nixtamal
- Segunda cocción o “reventado”
- Remojo
- Molienda
- Elaboración de la bola
- Envoltura
- Fermentación

5. El producto final.

Concepto empírico de calidad.

Existe la opinión unificada entre productores y consumidores, tanto indígenas como mestizos, de que el pozol descompuesto es aquel que “hace hilos” y consideran que esto sucede debido a un agriado “no natural”. Esto podría deberse al desarrollo de bacterias productoras de polímeros, entre las cuales se encuentran algunas bacterias lácticas de los géneros *Leuconostoc*, *Lactobacillus*, y *Lactococcus* y otras del género *Bacillus*.

Fuera de esta opinión, los conceptos son variados; varios productores mencionaron que el producto se descompone cuando aparecen puntos rojos en la masa. Esto puede deberse al crecimiento de bacterias, o levaduras productoras de pigmentos, o de ciertos hongos, como los del género *Neurospora*. Otros aseguran que el pozol muy húmedo (al que se le agregó demasiada agua durante la molienda, o cuya segunda cocción fue muy prolongada) se descompone fácilmente. Algunos consideran que la aparición de mohos, o hasta el agriado, es signo de deterioro; otros en cambio, señalaron que el pozol nunca se descompone.

Consumo del pozol

Para preparar el pozol, se suspende la masa en el agua disponible, disgregándola con la mano. La forma de consumir pozol es muy diferente entre los indígenas, que lo deben sin añadir otros ingredientes; en cambio, los mestizos siempre agregan azúcar y comúnmente, hielo.

Los indígenas consumen los tres tipos de pozol (blanco, amarillo y negro) por igual, sin preferencia, aunque piensan que el amarillo y el negro

tienen más “vitaminas”. Mantienen marcadamente el consumo de pozol como alimenta base, pero la publicidad ha penetrado hasta lo más íntimo de las comunidades, distorsionando otros hábitos, al grado de que los chamulas incluyen Coca Cola en sus ritos religiosos.

El pozol que más consumen los mestizos es el blanco y el de chocolate, que preparan agregando a la masa cacao previamente tostado y molido, antes de formar la bola. Los indígenas nunca consumen pozol con cacao.

Conclusiones

Las diferencias en la elaboración de pozol en esta zona, que influyen en las características finales del producto, son: el tipo de maíz, con variaciones en color (amarillo, blanco o negro), variedad (pacha o bolita), y grado de madurez (maduro o tierno); la adición de otros componentes a la masa de nixtamal, como la de cacao en el caso de pozol mestizo; la presencia o ausencia de la segunda cocción o “reventado” del nixtamal, y el tipo de envoltura (en hojas de plátano o bolsas de plástico).

La etapa de proceso más importante es el reventado de los granos de nixtamal. Esta marca la diferencia entre el pozol indígena y el mestizo y es probable que afecte, de manera importante, el arraigo de diferentes micropoblaciones tipo, durante la fermentación de la masa.

Actualmente, nos encontramos realizando estudios para establecer las diferencias entre la microbiología y la bioquímica del pozol indígena y el mestizo. Nuestro interés consiste en determinar con precisión la relación que existe entre la actividad biológica de los microorganismos predominantes detectados y los cambios químicos, físicos y sensoriales que

ocurren en el sustrato. En el futuro, será posible enfocar racionalmente el mejoramiento del proceso tradicional y el desarrollo de nuevos productos basados en el mismo.

Pero ante todo, es un logro en nuestro deber de comprender, para preservar algo de la sabiduría maya.¹⁷

¹⁷ Fuente: Cañas Urbina, Ana Olivia, Eduardo Bárzana García, John David Owens, Maria del Carmen Wachter Rodarte, Artículo de difusión “*La elaboración del pozol en Los Altos de Chiapas*”, proporcionado personalmente por la Dra. Maria del Carmen Wachter Rodarte, Ciencia (1993) **44**, 219-229.

EL DESARROLLO DE LA BIOTECNOLOGÍA

A finales del siglo XVI se empezaron a realizar las primeras observaciones serias desde un punto de vista químico y en 1595 Libavius hizo la distinción entre el proceso de fermentación y el proceso de putrefacción. Después de 100 años el químico Becher expresó las diferencias en términos de procesos que mejoraban o empeoraban los productos deseados. Helmont enfatizó la existencia del gas que se desprende del proceso fermentativo del vino, al cual años después identificaron como bióxido de carbono. Hasta el año de 1680 la existencia de los microorganismos fue ignorada, el Holandés Antoni van Leeuwenhoek los descubrió con sus rudimentarios microscopios cuya lente era una gota de vidrio solidificada, construyó con un juego de lentes el primer microscopio que sirvió para conocer los protozoarios, hongos, bacterias y levaduras, revelando la existencia de sociedades microscópicas y empezando así el desarrollo de la microbiología y biología celular.

La revolución industrial de los siglos XVIII y XIX se manifestó en inventos como las máquinas de vapor, las turbinas, los motores eléctricos y los más eficientes mecanismos de comunicación, lo que inició un cambio radical

en la forma de producir bienes debido al salto en la producción manual y artesanal a la producción en serie provocando un considerable desarrollo social, entendido como la posibilidad de acceder a bienes y servicios de mayor calidad.

En el siglo XIX se desarrolló la química que aclaró conceptos básicos, como el átomo, peso atómico, peso equivalente, molécula, compuesto, valencia, ion y estructura. Este desarrollo permitió por primera vez que los productos naturales empleados en algunos procesos se sustituyeran por productos artificiales, con excelentes resultados.

En 1818 Erxleben pensaba que la levadura era la causante de la fermentación, pero no encontró apoyo hasta 1835, año en el cual Lantour pudo estudiar la presencia de las levaduras en bebidas fermentadas gracias al apoyo del microscopio. Concluyó que las levaduras no eran sustancias simples, sino que poseían capacidad reproductiva y eran responsables de transformar los azúcares en líquidos alcohólicos. Hecho confirmado en 1837 por F. Kutzing, en una publicación de fermentación alcohólica, acética y de la formación de vinagre. Mientras tanto Schwann trabajó con zumo de uvas y experimentalmente demostró la necesidad de la levadura para realizar el proceso de fermentación, incluyendo la necesidad del organismo por utilizar nitrógeno.

En 1876 Louis Pasteur descubre que son unos microorganismos los que producen la fermentación que lleva a la cerveza; los estudia, los aísla y los reproduce. Se consideró la fermentación como una ciencia. Pasteur la reafirmó como el resultado de la acción específica de los microorganismos.

Y así, en cada ocasión con una frecuencia más corta los químicos orgánicos dedicaban sus esfuerzos al estudio de los agentes químicos cuya presencia era esencial para las reacciones. Estas investigaciones realizadas hace un siglo permitieron establecer los fundamentos de la microbiología, la inmunología y la bioquímica. Y un descubrimiento trascendental para el nacimiento de la biotecnología fue la demostración de la acción antibacteriana del hongo *Penicillium* por Ernest A. Duchene en 1896. En el terreno de la medicina, la producción industrial de compuestos orgánicos usados como medicamentos sustituyó a la artesanal de extracción de plantas medicinales.

La fermentación como industria empieza a principios del siglo XX, con la producción de enzimas microbianas, ácidos orgánicos y levaduras. El uso comercial de las técnicas de fermentación se desarrolló significativamente durante los primeros 30 años de este siglo.

La primera industria de fermentación fue Pfizer, productora de ácido cítrico, abrió en 1923, en el estado de Connecticut, EUA. En 1928 Alexander Fleming retomó el trabajo con el *Penicillium*, obteniendo un extracto de él, el cual llamó penicilina, lo cual sumado al desarrollo de esteroides, vitaminas y aminoácidos, constituye un fuerte impulso para la biotecnología. En 1937 Gautheret logró cultivar tejidos indiferenciados de zanahorias, dando origen a un modo de mantener el cultivo ilimitadamente, pues había logrado que se reprodujeran los callos en un medio estéril, gracias a una hormona vegetal llamada auxina.

La penicilina, los antibióticos en general, los avances en la industria farmacéutica y alimentaria favorecieron notablemente el desarrollo de la

biotecnología durante el periodo de la segunda guerra mundial y sobre todo después de 1949.

En 1957 Skoog y Millar habían logrado la regeneración de raíces y tallos a partir de callos tratados con hormonas vegetales, principalmente la auxina y la quinetina. Posteriormente Morel demostró que una fitohormona, estimula la proliferación de meristemas y su diferenciación en plántulas enteras, lo que representa aplicaciones agronómicas importantes como la producción de plantas exentas de virus y nuevas variedades hortícolas.

Podemos considerar que el termino biotecnología surgió en 1960 pero, la biotecnología moderna nació entre 1929 y 1932, principalmente con los trabajos de Fleming sobre la penicilina y sobre todo con la producción industrial de este antibiótico por Florey. Poco tiempo después se fabricaron los aminoácidos (ácido glutáminico en Japón en 1956 y 1957, lisina en E.U.A. en 1957). Los descubrimientos de los cromosomas y los ácidos nucleicos habían preparado el terreno para que, sumado este interés al despertado por las proteínas, en 1953, James Watson y Francis Crick propusieran el modelo helicoidal de la estructura del ADN que les llevó a obtener el premio Nobel en 1962. En los años 70's se dio lugar a las famosas expresiones de manipulaciones genéticas y de ingeniería genética, así como a las de recombinaciones del ADN.

En 1973, veinte años después de que Watson y Crick publicaron la estructura del ácido desoxirribonucleico, Boyer y Cohen intercalaron con éxito una molécula de ADN de sapo en la de una bacteria. El ADN del batracio se copió y se produjo la proteína en cuestión. Dicho de otra manera, por primera vez en la historia de la ciencia se había creado el

escenario apropiado para que el genoma de células evolutivamente primitivas no sólo incorporara y aceptara como propios genes de especies más avanzadas, sino que además los hiciera funcionar.

Y así llegó al descubrimiento del ADN recombinante en 1974, año que marcó el definitivo despegue de la biotecnología, donde la química aparece como fuerte aliada suya. Las moléculas del ADN recombinado son moléculas de ADN elaboradas fuera de las células vivas, uniendo segmentos de ADN natural o sintético a moléculas que pueden replicarse en una célula viva. De tal modo que el principio consiste en reunir un ADN nativo y un ADN extraño en un vector, el cual puede ser un plasmidio bacteriano o un genoma viral que después se introduce en una célula huésped donde se multiplica y así se obtiene un clon de células transformadas. El objetivo de la ingeniería genética es disponer de células transformadas, susceptibles de expresar el mensaje genético extraño que se le ha incorporado y, por consiguiente producir moléculas proteicas determinadas en cierta cantidad.

Estos experimentos eran la consecuencia de descubrimientos anteriores: el descubrimiento de las células primero, de los cromosomas después, del papel desempeñado por éstos en la transmisión de caracteres hereditarios, de la identificación del ADN como componente de los cromosomas, de la definición de su estructura, de la regulación de su expresión y, finalmente, del conocimiento de su conducta química. El uso de estos conocimientos constituyó una técnica de trabajo sobre el ADN. En la medida en que los resultados del uso de esta técnica permitieron romper el ADN y recombinar sus fragmentos a voluntad de quienes la dominaron, se empezó a hablar de ingeniería genética. La ingeniería genética es uno de los pilares o fundamentos de la biotecnología. Con el desarrollo de la

ingeniería genética se presencia cómo aquellos productos de acción biológica, como la insulina, la hormona del crecimiento y los factores antihemofílicos, cuya obtención resultaba muy costosa, con gran consumo de materia prima, se pudieron por fin obtener a bajo costo y en cantidades industriales. La primera sustancia de importancia en medicina que se obtuvo por ingeniería genética gracias a los trabajos de Frederick Sanger fue la insulina, hormona cuya ausencia produce la diabetes mellitus; le siguieron la hormona del crecimiento humano y el interferón, proteína que pertenece a nuestro sistema de defensa contra agentes patógenos procedentes del exterior (sistema inmunitario).

La biotecnología se desarrolló en Estados Unidos de América antes que en otros países debido a la investigación básica que llevó al descubrimiento del ADN recombinante ya que en 1974 que se realizó en ese país; su descubridor fue Paul Berg, de la Universidad de California. Esto, sin embargo, no hubiera bastado sin la condición determinada por la tradicional actitud de la industria de ese país de estar atenta a los logros en aquella investigación para aprovecharlos en la renovación de sus procesos de producción. A Estados Unidos de América le siguió Japón, país donde el gobierno apoyó la formación de grandes centros de investigación financiados por la iniciativa privada japonesa, en los que, además de desarrollar prototipos para su futuro desarrollo industrial, se impulsó la formación de extensos grupos de recursos humanos. A partir de 1974 se produce en el mundo una auténtica revolución tecnológica que no sólo no termina, sino que se encuentra en lo que parece una interminable expansión proporcionando una gama de productos útiles en la medicina, en la agricultura, en la producción de alimentos, en la producción de energía, en la industria y en el control de la contaminación.

En el siguiente cuadro se muestran los componentes fundamentales de la biotecnología que van desde las técnicas más antiguas como la fermentación, hasta las recién elaboradas como la genética.

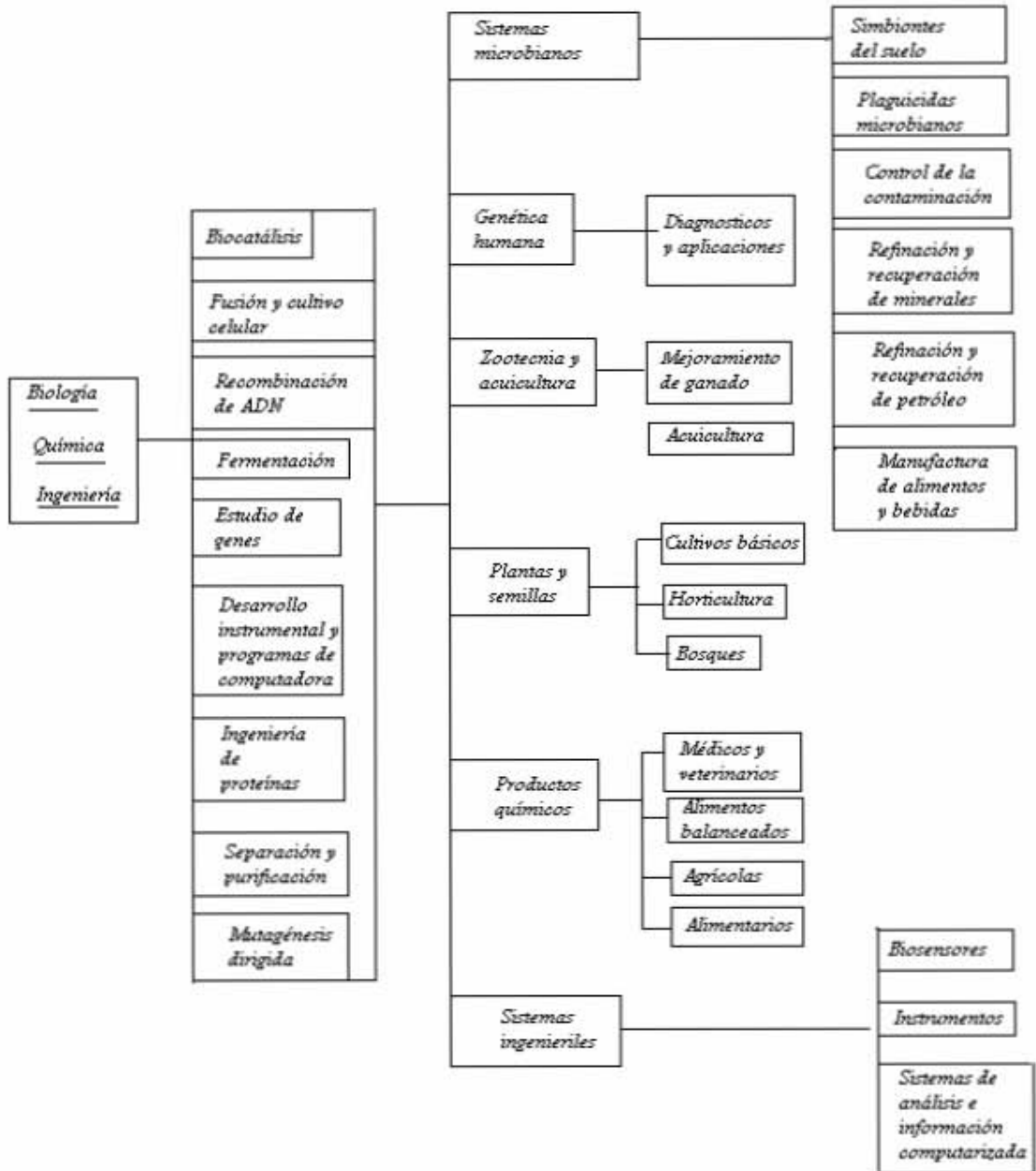


Figura 2. Componentes fundamentales de la biotecnología.

(Fuente: Elaboración propia, *op.cit.*, Cadena Hernández, Ramón, Tesis, *El cometido del ingeniero químico y las operaciones unitarias en la biotecnología*, UNAM, 1991, p.14.)

Entre 1977 y 1979 se obtuvo por primera vez la expresión de genes humanos en células bacterianas.

Desde 1971 surgieron las primeras compañías biotecnológicas que se dedicaron a capitalizar los descubrimientos y avances en la biología molecular y en la ingeniería genética, y por ejemplo se menciona la comercialización de un analizador de ADN en el transcurso de 1982 y 1985, basado en un método químico analítico de ácidos nucleicos, desarrollado por investigadores de la Universidad de Harvard seis años antes de su primera aparición en el mercado (1976).

En 1986 se logró transferir un gene animal a un genoma de una planta, cuando 10 años antes sólo se podían transferir genes entre vegetales. Tal como se muestra en el cuadro siguiente, la biotecnología se puede clasificar por su desarrollo histórico en etapas, debido a los sucesos relevantes y característicos en un determinado período, los cuales han ido decreciendo en función directa del progreso biotecnológico. Esto presenta un panorama inimaginable de los alcances y límites en los sucesos y descubrimientos de la biotecnología.

En el siglo XX se ubica una segunda revolución industrial, marcada por el conocimiento del átomo, la electrónica, la informática, la robótica, el espacio exterior y la biología molecular, Manifestándose la inquietud de la humanidad por nuevos descubrimientos en el beneficio propio y de su entorno, con base en el respeto al medio ambiente, la utilización racional de la energía y la modificación económica, política y cultural hacia la racionalización y el equilibrio.

Clasificación	Etapa	Años	Productos o tecnologías específicas
Primera	Anterior a Pasteur	Antes de 1865	Cerveza, vino, productos lácteos, levaduras y vinagre.
Segunda	Posterior a Pasteur	1865-1940	Etanol, butanol, acetona, glicerina, ácido acético, anhídrido acético, acetato de etilo y tratamiento aeróbico de efluentes.
Tercera	De los antibióticos y esteroides	1940-1960	Penicilina, antibióticos, cultivo de células animales, vacunas virales y esteroides.
Cuarta	Nuevas tecnologías después de los antibióticos	1960-1975	Proteínas, aminoácidos, enzimas y polisacáridos.
Quinta	Tecnología del ADN recombinante	1975-1990	Insulina y renina.
Sexta	Biología molecular	1985-1990	Subtilisinas modificadas
Séptima	Biología atómica	2000	Nuevas rutas metabólicas para productos biotecnológicos finos.

Tabla 2. Etapas de la biotecnología.

(Fuente: Elaboración propia, *op.cit.*, Cadena Hernández, Ramón, Tesis, *El cometido del ingeniero químico y las operaciones unitarias en la biotecnología*, UNAM, 1991, p.32.)

CAPÍTULO II

PANORAMA GENERAL DE LA BIOTECNOLOGÍA

APROVECHANDO LA CÉLULA

Los pioneros de la biotecnología en la centuria pasada abrieron las puertas para que el hombre comprendiera cómo desde los albores de la civilización se aprovechaban las células más simples, los microorganismos, para producir alimentos como el pan y el queso, así como bebidas alcohólicas, gracias a procesos, ahora modernizados, que forman parte de la biotecnología tradicional. La biotecnología adquiere un sustento científico a partir de los trabajos de Louis Pasteur, quien pone fin a la teoría de la generación espontánea y explica claramente que es mediante la acción microbiana como se produce cerveza y vino; también, que otros microorganismos podrían afectar dichos procesos y, desde luego, que otros más eran origen de enfermedades.

A mediados del siglo XX, al iniciarse la producción en grandes cantidades de penicilina, descubierta por Flemming en 1928, la biotecnología se convierte en una actividad industrial que permite el uso en gran escala de los microorganismos. A la penicilina siguieron decenas de desarrollos biotecnológicos de interés comercial. Sin embargo, la explotación de la célula no alcanza un extraordinario potencial sino hasta 1990, cuando las herramientas de la biología molecular se incorporan a los procesos biotecnológicos. Surge así la biotecnología moderna, cuya aplicación se ha extendido rápidamente a todo tipo de células; incluidas las provenientes de organismos pluricelulares, como las plantas, los animales y el ser humano mismo. Con sus innumerables posibilidades y sus evidentes

riesgos, esta disciplina se ha convertido en una poderosa herramienta para afrontar los retos del desarrollo.

Gracias a las técnicas bioquímicas modernas se ha establecido, al identificar ciertos elementos del material genético del ribosoma, que el mundo de los organismos vivos está constituido por tres grandes grupos: eucaria, bacteria y arquea. Este último lo forman los que viven en medios ambientes externos, como los de altas concentraciones de sal o muy altas temperaturas e incluye a todas especies productoras del gas metano. Las bacterias y archaeobacterias que crecen a 90° C conforman el grupo más primitivo de microorganismos hasta ahora descubierto, con edades cercanas a los 3800 millones de años, antigüedad que se remonta a los primeros vestigios de vida fósil, unos 700 millones de años después de la formación de la tierra. En la actualidad se comienza a explotar esos microorganismos por su extraordinaria resistencia a las condiciones adversas de temperatura y presión, adecuadas para los procesos industriales. El objetivo de la biotecnología es el aprovechamiento de la célula.

Chain y Florey, los padres de la industria biotecnológica al diseñar, entre 1938 y 1940, un medio de cultivo líquido para hacer crecer el hongo *Penicillium*, así como los recipientes adecuados – llamados fermentadores o bioreactores- para lograrlo en gran escala y sin contaminarlo con otros microorganismos.

En forma paralela, la selección y el mejoramiento genéticos se iniciaron desde 1927, cuando merced a exposiciones a rayos X, se produjeron mutantes de microorganismos. A principios de los ochenta un proceso biotecnológico industrial tenía como base un microorganismo sobreproductor, aislado de algún ambiente específico y transformado

genéticamente mediante mutación química. De ese modo, la industria biotecnológica producía antibióticos como penicilina, estreptomicina y cefalosporina; aminoácidos como lisina, empleada en alimentación animal, y ácido glutámico que mejora el sabor de los alimentos; ácidos orgánicos como el acético (vinagre) y el cítrico, con que se acidifican los alimentos procesados; enzimas y otras proteínas de aplicación diversa; gomas para elaborar geles y alimentos pastosos; levaduras usadas en la panificación; bacterias lácticas empleadas en ensilados; bacterias aprovechadas como insecticidas, y otras más como fertilizantes.¹ De mayor importancia económica, sin duda, los procesos de generación de alimentos y bebidas llevadas a cabo conforme a la biotecnología tradicional, ahora se han convertido en modernas industrias como la cervecera y la vitivinícola, la quesera y la del yogurt, y, con base en el proceso biotecnológico de composteo, la producción de champiñones. También ya desde antes de los ochenta, los microorganismos se usaban ampliamente en los tratamientos biológicos de efluentes y en la fabricación de energéticos como metano en comunidades rurales y de alcohol para autos. Había pues toda una industria en espera del impacto que hace menos de dos decenios tendría la aplicación de ingeniería genética.

¹ Fuente: López Munguía C., Agustín, *La biotecnología*, 1ª. ed., México, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, 2000. P. 7.

El potencial de la biotecnología moderna se basa en el desarrollo de las herramientas que han permitido manipular el ADN. Esto implica el aislamiento del ADN total, la identificación de genes, su secuenciación (definición del orden y el número de las bases que lo componen), su modificación química, su amplificación o reproducción independiente de la célula y, desde luego, el uso de vehículos para la clonación, es decir la

introducción y expresión (lectura) del gen modificado en la célula. Uno de los primeros vehículos moleculares empleados para la clonación fue el plásmido pBR 322, diseñado por Francisco Bolívar Zapata, científico mexicano. Estas son las bases de la tecnología de ADN recombinante o ingeniería genética.

A muchas proteínas se les denominan enzimas y muchas de ellas se emplean en procesos biotecnológicos para llevar a cabo las mismas reacciones fuera del contexto celular, en aplicaciones medicinales o industriales. Es así como surge inicialmente la tecnología enzimática y, recientemente, la biocatálisis. Miles de toneladas de enzimas se producen gracias a los microorganismos, para que cumplan muy diversas funciones. Tal vez el volumen más grande de ellas se destina a la fabricación de los detergentes biológicos, donde las enzimas colaboran degradando proteínas y grasa que ensucian. Otro volumen importante de enzimas se destina a la industria almidonera, ya que la transformación de almidón en glucosa se realiza mediante las enzimas almidolíticas de bacterias y hongos. En la producción de alimentos también se emplean grandes cantidades de enzimas para coagular la leche y obtener el queso. También se usan los ablandadores de carne, sobre todo la papaina, enzima de origen vegetal extraída de la papaya. Los primeros productos de la biotecnología moderna fueron proteínas de utilidad terapéutica, entre las que destacan la insulina, proteína que regula la asimilación de azúcar y que se requiere para tratar la diabetes; la hormona de crecimiento para evitar el enanismo; proteínas para contrarrestar deficiencias sanguíneas (por ejemplo la eritropoyetina con que se trata la anemia y el factor VIII que requiere quien padece hemofilia); proteínas para combatir enfermedades cardiovasculares y lesiones de la piel, y muchas otras proteínas agrupadas en lo que se denomina factor de

crecimiento. No resulta infundado pensar que este ramo seguirá creciendo dentro del sector farmacéutico y alimentario.

En el caso de la biotecnología, el tránsito de lo básico a lo aplicado es cada vez más fluido y el constante paso de los científicos del terreno académico a la industria es una muestra de ello.

No es por tanto de extrañar que el nacimiento de la biotecnología moderna como industria y el avance espectacular de la biología molecular como disciplina se deban al desarrollo de herramientas, en este caso las que permiten aislar, caracterizar y manipular genes. La biotecnología moderna descansa en un conjunto de metodologías de desarrollo reciente que permiten manipular el material genético: extraerlo o introducirlo, cortarlo, pegarlo, leerlo, sintetizarlo o amplificarlo.

LEVADURAS Y ENZIMAS

Las levaduras son los microorganismos más usados en la industria. A ésta le interesa la levadura misma, aunque también sus componentes celulares, los productos y los cambios que puede inducir en el medio donde actúa.

Las levaduras desempeñan un papel fundamental en la transformación biológica de productos naturales, incluidos los primeros que el hombre consumió. Hoy son también fuente de alimento y fundamento de las muchas posibilidades que ofrece la biotecnología moderna.

Hoy, las levaduras se emplean en diversos procesos, no sólo para liberar alcohol etílico, sino también diversos productos como enzimas, la axtantina – que se emplea como colorante- y las glucanas – polisacáridos de interés alimentario. Algunas de ellas, modificadas genéticamente, se emplean ya sea en industrias tradicionales como la cervecera, para producir por ejemplo cervezas ligeras con menor contenido de carbohidratos. En el ramo vinícola, se aprovechan levaduras transgénicas en la fermentación maloláctica, para evitar el indeseable sabor a mantequilla del diacetilo, producir más glicerol compuesto que da cuerpo a la bebida y disminuir la cantidad de urea que, al combinarse con etanol, resulta un producto tóxico.

Gracias a la ingeniería genética, ahora resulta posible expresar determinados genes para que un microorganismo aumente la síntesis de una enzima cientos de veces respecto a la capacidad de un microorganismo silvestre. Se puede incluso conseguir una bacteria, una levadura o un hongo que produzca enzimas que antes no conocía.

Otra limitante para usar enzimas era su precaria estabilidad. Las enzimas perdían fácilmente su poder catalítico debido a la fragilidad de la estructura proteica. Surgió entonces la ingeniería de proteínas como una disciplina en que se apoya la biotecnología para explicar la relación entre la estructura de las proteínas (y por ende las enzimas) y su función. Así, al conocer los factores estructurales que hacen, por ejemplo, a una enzima más estable o más activa, y recurrir a las herramientas de la ingeniería genética, ahora es posible cambiar la estructura de las enzimas para mejorar sus propiedades. Y si sólo hace una década era impensable que una enzima pudiera transformar en un medio orgánico sustancias insolubles en agua, como grasas o hidrocarburos, hoy la combinación de todos estos conocimientos da origen a la biocatálisis, que empieza a transformar el

concepto actual de la industria respecto a la síntesis en química orgánica, en otros objetivos para sintetizar compuestos farmacéuticos de estructura compleja, en los que se puede aprovechar la fina especificidad de las enzimas.

La enzima renina es una proteína que cuaja la leche mediante un corte químico muy fino practicado en la caseína, suficiente para ocasionar la ruptura de la emulsión. Pero desafortunadamente la enzima no es muy abundante ya que se obtiene del cuarto estomago de las terneras. Por ello fue necesario buscar microorganismos con capacidad de producir enzimas similares a la renina de ternera, y si bien se encontraron algunos, sus cortes de sus enzimas a la caseína, por ser menos precisos daban lugar a los productos más baratos, aunque de menor calidad. Estos sustitutos de renina o cuajos microbianos se obtienen por ejemplo mediante la fermentación producida por el hongo *Mucor meihei* o la bacteria *Endotia parasitica*. Al surgir las técnicas de ingeniería genética, fue posible introducir un gene que codifica la información de una proteína antes exclusiva del reino animal. Este es el primer resultado de la ingeniería genética aprobado por la FDA (Food and Drug Administration) para usarse en alimentos. Recientemente, una empresa inglesa promovía el queso que elabora, “como queso vegetariano” pues donde antes se empleaba la enzima extraída de terneras ahora se emplea en una enzima microbiana,² esto es, una estrategia de mercado.

En la industria de lácteos se aplican igualmente otras enzimas: la lactasa que producen los hongos o levaduras que se emplea para hacer digerible la lactosa (leches deslactosadas). Los microorganismos que actúan en el queso lo hacen merced a la acción de sus enzimas durante el tiempo de maduración, pero si se dispone de éstas, y se agregan

directamente al queso, el queso, conocido como maduración acelerada, se efectúa con enzimas lipasas, que degradan la grasa, y se aplica en la producción de quesos untables o “dips”. Se especulaba que, a finales del siglo, la mayor parte de las enzimas industriales sería producto de microorganismos recombinantes, actualmente, la mitad del total de ellas lo es.

Para el ser humano. Los azúcares son fuente de energía, y también de sabor dulce. Entre ellos, dispone de la sacarosa de caña y de los “jarabes fructosados” obtenidos a partir de la glucosa del maíz mediante la enzima microbiana glucosa isomerasa, que transforma glucosa en fructosa. Otra sustancia que compete en el mercado de los edulcorantes es el aspartame, constituido por dos aminoácidos (de los 20 normalmente presentes en las proteínas) y 200 veces más dulce que la sacarosa. El aspartame también es resultado de avances biotecnológicos registrados en la producción de aminoácidos y la síntesis enzimática de péptidos. Pero la biotecnología ha permitido explotar otras sustancias dulces, en particular proteínas, por ejemplo la taumatina, proteína extremadamente rara, 2000 veces más dulce que la

² Fuente: López Munguía C., Agustín, *La biotecnología*, 1ª. ed., México, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, 2000. P. 27.

sacarosa y sólo disponible en la fruta africana *Taumatococcus danielli*. Ahora, el gene que codifica para esta proteína se ha expresado en diversos microorganismos y la proteína se ha aceptado como aditivo en alimentos. Otro ejemplo interesante es la *miraculina*, proteína milagrosa desprovista de sabor que se extrae de la fruta *Richadella dulcifica* originaria de África occidental y que, en pequeñísimas dosis, induce a percibir el sabor ácido de los cítricos como algo dulce. Como éstas, hay una docena más de proteínas que contribuirán a endulzar nuestro futuro.

PRODUCCIÓN DE CÉLULAS DE ORIGEN ANIMAL

El activador de plasminógeno (tPA por sus siglas en inglés) es una proteína que, administrada por vía intravenosa, induce la disolución de coágulos de arterias bloqueadas después de un ataque al corazón, evitando así la muerte por trombosis y daños al músculo cardíaco. En el mercado es, desde 1987, la primera proteína recombinante producida industrialmente mediante el cultivo de células de mamíferos. Desde hace años, el cultivo de células obtenidas de tejidos de origen animal ha permitido estudiar las células cancerosas, clasificar los tumores malignos y analizar células específicas y sus interacciones. Ahora, ese cultivo se lleva a cabo en gran escala, forma parte de los procesos de la biotecnología moderna y se piensa que en el futuro podría reconstituir tejidos dañados o para crear de manera natural órganos artificiales.

Las células de mamíferos se requieren en gran volumen para producir virus destinados a elaborar vacunas como las de la hepatitis, la rabia y la poliomielitis. Recordemos que los virus no pueden reproducirse solos, pues necesitan apoderarse de la maquinaria genética de una célula para asegurar su reproducción, por lo que las tecnologías antiguas de preparación de vacunas implicaban el uso de animales a los que se infectaba directamente para después recuperar y purificar los virus inoculados. También se cultiva este tipo de células para crear anticuerpos monoclonales empleados en los sistemas de diagnóstico y, particularmente, en la fabricación de proteínas de uso farmacéutico. Más de 200 proteínas humanas antes inaccesibles para la terapia o bien sólo disponibles en tejidos animales, en la sangre o en los cadáveres de seres humanos, se

generan ahora mediante la tecnología descrita. Entre tales proteínas destacan, por su importancia para la conservación de la salud la eritropoyetina, empleada para tratar la anemia; la hormona de crecimiento usada para combatir el enanismo; los interferones, con que actualmente se mitigan múltiples infecciones al fortalecer el sistema inmunológico, y los factores de coagulación que requieren los hemofílicos.

Las células animales no llegan a formar las abundantes poblaciones propias de los microorganismos y apenas se logra acumular de uno a diez millones de ellas por mililitro de cultivo (miles de veces menos que la generalidad de las bacterias), además de que para ellos se necesita es preciso aguardar varios días, pues para duplicarse necesitan de quince a cuarenta horas, mientras que una bacteria rápida se duplica en media hora. Su producción implica altos costos, pues para multiplicarse se necesitan complejos medios elaborados a base de suero sanguíneo y también requiere sistemas de preparación mucho más complicados que los fermentadores clásicos empleados con los microorganismos, no sólo por que las células animales son más susceptibles al estrés causado por la agitación mecánica, sino también por que la mayor parte de ellas necesitan adherirse a un soporte para sobrevivir y crecer; De ahí la ventaja de las células de la sangre y de los fluidos linfáticos, pues se hallan naturalmente en suspensión. Se usan entonces reactores llamados de perfusión que contienen partículas a las que se adhieren las células (microacarreadores) o bien reactores de ultrafiltración. Entre las células animales más empleadas destacan los linfocitos, las células epiteliales y los fibroblastos de ovario de hámster chino (células CHO) y de riñón de bebé de hámster (BHK), los fibroblastos de embriones de pollo y las células diploides humanas. En ciertos experimentos con virus, las células de insectos también son

adecuadas. En la Figura 1 se representa un fermentador en cuyos discos de poliéster se producen células animales.

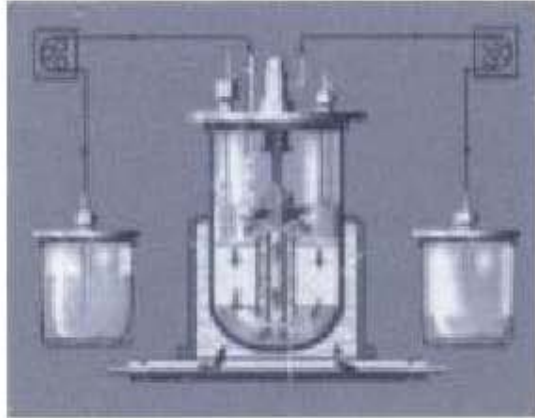


Figura 1. Fermentador que produce células animales

(Fuente: López-Munguía C., Agustín, La biotecnología, México, CONACULTA, 2000, p.46.)

REACTORES VIVOS

Algunos procesos modernos de la biotecnología implican el cultivo de células animales en reactores industriales. A pesar de que las células de mamífero pueden generar proteínas de estructura compleja, los procesos correspondientes a ello son delicados y las concentraciones de producto obtenidas apenas llegan a unos cuantos miligramos por litro. Estos niveles de productividad pueden ser suficientes en el caso de una sustancia como la hormona de crecimiento, que el mercado demanda en cantidades muy pequeñas, pero no sucede lo mismo con otras proteínas. De ahí la idea de que un animal produzca directamente en sus células la proteína que requieren los humanos.

No es difícil concluir que la mejor solución la representan las células de las glándulas mamarias, ya que producen un gran número de proteínas que secretan con la leche. Al incorporar el gene humano en el genoma del

animal e introducirlo en el mismo sistema de regulación donde se encuentran los genes de otras proteínas de la leche, se obtiene un líquido lácteo en que podrá recolectarse la proteína buscada, con métodos similares a los que hace décadas se usan para recuperar de la leche proteínas como la lactoalbúmina o la lactoglobulina. Así, un número creciente de compañías de todo el mundo fundamenta su actividad en biotecnologías basadas en una nueva generación de bioreactores aún de carácter experimental. En efecto, se trata de reactores vivos que, por sus características genéticas, se hallan en granjas, protegidos y seguros. Estos bioreactores son principalmente vacas, cabras y ovejas que llevan insertado en su genoma un segmento de ADN humano. Recurriendo a un animal completo, se evita la complejidad que implica el manejo de un bioreactor para cultivar células. La selección genética ha permitido ya generar centenares de especies animales con diversas características como por ejemplo la de producir la mayor cantidad de leche o lana. Ahora la ingeniería genética permite diseñar animales transgénicos capaces de expresar genes de otras especies, lo sin duda revolucionara el sistema de salud, por ejemplo al satisfacer el mercado de productos de la sangre. Desde hace 10 años se realizan pruebas tanto para fabricar como para aplicar en casos clínicos proteínas como la alfa-1-antitripsina, empleada para tratar enfermedades del pulmón, o el factor IX, proteína requerida para coagular la sangre de que carecen los hemofílicos; su fuente, el plasma de sangre humana, es limitada y de alto riesgo por la contaminación con el virus del SIDA. Sin embargo, su producción en animales transgénicos es ya una realidad. Al respecto, se ha usado la leche de cerdos, en los cuales también se ha logrado producir hemoglobina humana.

Sin duda la tecnología de animales transgénicos podría extenderse pronto a la industria alimentaria. En el caso de la leche de vaca, ciertas

modificaciones en su composición permitirían elaborar un producto más apropiado para recién nacidos, ancianos o enfermos. Recientemente se ha conseguido fabricar leche con lactosa (azúcar del lácteo) transformada en sus unidades glucosa y galactosa, en animales transgénicos. La incapacidad de llevar a cabo esta transformación de la lactosa es lo que hace a un gran segmento de la población intolerante a la leche, lo que resulta grave en el caso de los niños. Sin embargo, la introducción de productos derivados de animales transgénicos al sector alimentario, aún más que al farmacéutico, tendrá que esperar todavía los estudios toxicológicos de rigor y análisis que de esta y otras tecnologías efectúe la sociedad en su conjunto.

LA NATURALEZA DE LA BIOTECNOLOGÍA

Este siglo está dominado por la biología y las tecnologías asociadas a ella, actualmente, el impacto de los nuevos desarrollos biológicos debe ser absorbido no sólo por los científicos, sino también por el público general. Es cada vez más importante asegurar un más amplio conocimiento de lo que la biociencia y sus tecnologías relacionadas pueden implicar y especialmente las consecuencias de aceptar o rechazar las últimas innovaciones de la técnica.

La biotecnología, ha contribuido de forma importante al bienestar de la humanidad. Hasta ahora, poca gente reconoce completamente que las ciencias de la vida afectan al 30% del incremento del volumen de negocio económico global por medio de la medicina, alimentación y energía, agricultura y forestación y que este impacto económico crecerá a medida que la biotecnología proporcione nuevos caminos para influir en el procesamiento del material base. La asociación de las industrias tradicionales antiguas tales como la cervecera con la ingeniería genética

moderna está ganando auge, y no es extraño que los gigantes mundiales como Guinness, Heineken & Haesane Bush, Carlsberg y Bass estén implicados en la investigación biotecnológica. La biotecnología se está desarrollando a un ritmo importante y cada vez más está siendo considerada como una parte necesaria para el avance de la vida moderna y no simplemente como un medio de hacer dinero.

La biotecnología en esencia, implica el uso de microorganismos, células animales o vegetales, o enzimas para sintetizar, descomponer o transformar materiales. La Federación Europea de Biotecnología (EFB) considera la biotecnología como la integración de las Ciencias Naturales y organismos, células, partes de ella y análogos moleculares para productos y servicios. Los objetivos de esta federación son: desarrollar la biotecnología para el beneficio público; promover el conocimiento, la comunicación y la colaboración entre todos los campos de la biotecnología; proporcionar cuerpos gubernamentales y supranacionales con información y opiniones con buena base sobre biotecnología y promover el conocimiento público de la biotecnología.

La definición de la EFB es aplicable a la biotecnología tanto tradicional o antigua como nueva o moderna. La biotecnología tradicional se refiere a las técnicas convencionales que han sido utilizadas durante muchos siglos, mientras que la nueva biotecnología incluye todos los métodos de modificación genética por ADN recombinante y técnicas de fusión celular junto con los desarrollos modernos de los procesos biotecnológicos tradicionales.

A diferencia de una disciplina científica única, la biotecnología puede considerarse como un amplio conjunto de campos importantes como

la microbiología, bioquímica, biología molecular, inmunología, ingeniería de proteínas, enzimología, clasificadas como técnicas de la nutrición, y un amplio rango de bioprocesos tecnológicos.

La biotecnología no es por sí misma un producto o rango de productos, sino que mejor es considerada como un conjunto de tecnologías disponibles que encuentran aplicación significativa en muchos sectores industriales. Los nuevos procesos biotecnológicos funcionan, en muchos casos, a bajas temperaturas, consumen poca energía y utilizan principalmente sustratos baratos para la biosíntesis. Las actuales actividades industriales que más se verán afectadas incluirán la producción de alimentos para humanos y animales, la provisión de fuentes de alimentación química para reemplazar a las fuentes petroquímicas, fuentes energéticas alternas, reciclaje de residuos, agricultura, acuicultura y forestación.

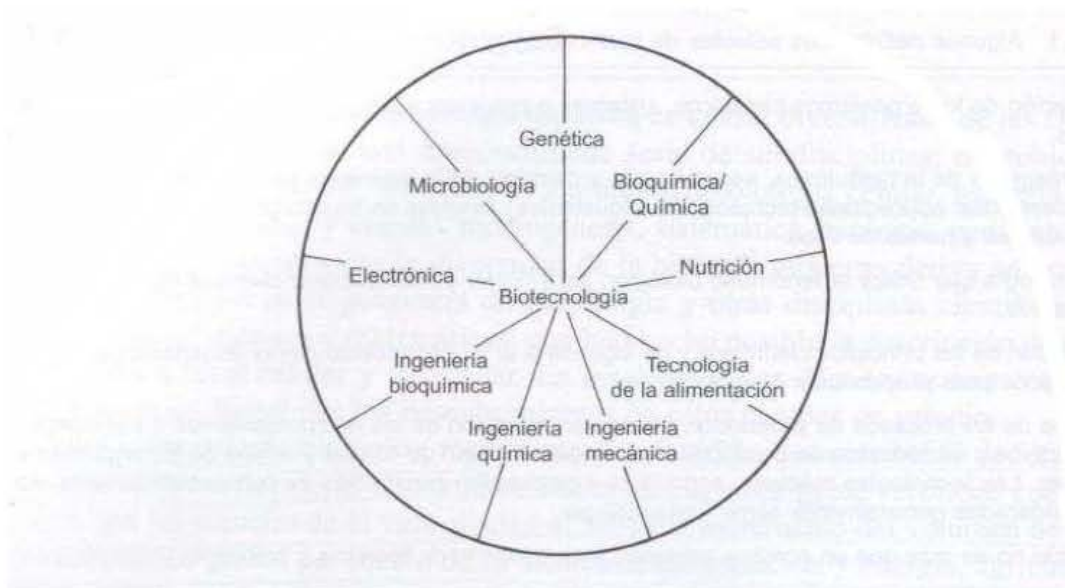


Figura 2. Representa la naturaleza interdisciplinaria de la biotecnología.

(Fuente: Higgins *et al.*, 1985. Cit. por Smith E., John, Biotecnología, España, ACRIBIA, 2006, p.4.)

Desde una dimensión médica, la biotecnología se enfoca al desarrollo de compuestos biológicos más que de compuestos químicos. Se usan proteínas, hormonas y sustancias relacionadas que existen en los organismos vivos o, incluso, en organismos que han sido creados in vitro.

Muchas industrias biotecnológicas se basan principalmente en materiales reciclables y renovables, y así, pueden ser adaptados a las necesidades de una sociedad en la que la energía es cada vez más cara y escasa.

En gran medida la biotecnología es una serie de tecnologías embrionarias y requerirá todo el control en su desarrollo, pero los potenciales son grandes y diversos, e indudablemente jugarán una parte cada vez más importante en muchos procesos industriales futuros.

La biotecnología es *a priori* una búsqueda interdisciplinaria. En las últimas décadas una característica típica del desarrollo de la ciencia y tecnología ha sido el uso de estrategias y recursos multidisciplinarios para la solución de problemas. Esto ha conducido a la emergencia de nuevas áreas de estudio interdisciplinarios, con la eventual cristalización de nuevas disciplinas con concepto y metodologías característicos identificables.³

La ingeniería química y la bioquímica son dos ejemplos muy reconocidos de disciplinas que han contribuido a clarificar nuestro conocimiento de los procesos químicos y las bases bioquímicas de los sistemas biológicos.

Las empresas multidisciplinarias están casi invariablemente orientadas a una misión. Sin embargo, cuando ocurre una verdadera síntesis

interdisciplinaria, la nueva área abrirá un nuevo espectro de investigaciones.

Muchos aspectos de la biotecnología han surgido de la interacción de varias partes de la biología y la ingeniería. Un biotecnólogo puede utilizar técnicas derivadas de la química, microbiología, bioquímica, ingeniería química y de la informática. Los principales objetivos serán la innovación, el desarrollo y la operación óptima de procesos en los cuales la catálisis bioquímica tiene un papel fundamental e irremplazable. Los biotecnólogos deben intentar también una estrecha cooperación de trabajo con expertos de otros campos relacionados tales como la medicina, nutrición e industrias farmacéutica y química, protección ambiental y tecnología de procesos de residuos.

³ Fuente: Smith, John E., *Biotecnología*, 4ª. ed., España, Editorial Acribia, S.A., 2004. p.6.

La aplicación industrial de la biotecnología se apoyará de forma creciente sobre cada una de las disciplinas contribuyentes para entender el lenguaje técnico de las otras y, sobre todo, para entender el potencial así como las limitaciones de las otras áreas. Por ejemplo, para las bioindustrias de la fermentación, la educación tradicional de los ingenieros químicos y diseñadores de plantas industriales no incluía normalmente los procesos biológicos. La naturaleza de los materiales requeridos, los tanques de los reactores (bioreactores) y las condiciones de operación son lo bastante diferentes como para requerir un reciclaje profesional. En la Tabla 1 se muestran los principales tipos de compañías relacionadas con la biotecnología y se clasifican en diferentes categorías.

Un factor clave en la distinción entre biología y biotecnología es su escala de operación. Los biólogos normalmente trabajan en el rango entre nanogramos y miligramos.

Categoría	Implicación biotecnológica
Terapéutica	Productos farmacéuticos para la cura o control de las enfermedades humanas, incluyendo los antibióticos, vacunas y terapia génica
Diagnóstico	Análisis y diagnóstico clínicos, alimentación, medio ambiente, agricultura
Agricultura/Silvicultura/Horticultura	Nuevos cultivos de variedades animales, pesticidas
Alimentación	Amplio rango de productos alimenticios, fertilizantes, bebidas, ingredientes
Medio ambiente	Tratamiento de residuos, bio-descontaminación, producción energética
Intermediarios químicos	Reactivos incluyendo enzimas, ADN/ARN y productos químicos específicos
Equipamiento	Hardware, biorreactores, software y consumibles, biotecnología de apoyo

Tabla 1. Compañías relacionadas con la biotecnología

(Fuente: Smith E., John, Biotecnología, España, ACRIBIA, 2006, p.7.)

Los biotecnólogos que trabajan en la producción de vacunas pueden estar satisfechos con una producción de miligramos, pero en muchos otros proyectos se requieren kilogramos o toneladas. De esta forma, uno de los principales aspectos de la biotecnología consiste en llevar a gran escala los procesos biológicos.

El crecimiento en el conocimiento de la biotecnología moderna es paralelo a serios cambios mundiales en el clima económico derivado de la súbita de los precios del petróleo desde 1973. Hay una conciencia creciente de que los combustibles fósiles y otras fuentes energéticas no renovables tendrán un día un suministro limitado.

Esto resultará en el requerimiento de fuentes energéticas más seguras y baratas y recursos alimentarios químicos que la biotecnología tendrá que

suministrar. La biotecnología ofrecerá una contribución valiosa, de hecho esencial, para conseguir la sostenibilidad industrial en el futuro. Las industrias basadas en la biotecnología no deben tener un trabajo intensivo, y aunque deben crear nuevos valiosos empleos, necesitarán más de cerebros que de músculos. La educación superior debe proporcionar el grado de especialistas en las disciplinas que acompañan a la biotecnología.

En Europa, BIOTOL (Biotecnología para un aprendizaje abierto; Biotechnology by open learning) dispone de un amplio rango de programas de aprendizaje. Tales programas son designados no sólo para las necesidades de los estudiantes sino también para las actividades de entrenamiento de la compañía y están descritas en un estilo ameno para el usuario, utilizando materiales de aprendizaje abiertos.

El mercado de la biotecnología a través del mundo deberá contar con una mano de obra calificada, educada y de acceso rápido al cada vez más amplio conocimiento y base de recursos.

TRES COMPONENTES CENTRALES DE LA DISCIPLINA

Muchos procesos biotecnológicos pueden considerarse como un corazón central con tres componentes, en los cuales una parte trata de obtener el mejor catalizador biológico; la segunda concierne a todos los aspectos del sistema de contención o bioreactor en el que la catálisis debe funcionar. Aquí el conocimiento de los especialistas, el de los biocientíficos y el de los ingenieros de bioprocesos deben interaccionar para proporcionar el diseño e instrumentación necesarios para el mantenimiento y control del ambiente físico- químico, como la temperatura, aireación y pH, permitiendo así la expresión óptima de las propiedades biológicas del catalizador.

Una vez conseguido el punto final requerido para el proceso biotecnológico en el bioreactor, es decir la biomasa o producto bioquímico, en la mayor parte de los casos será necesario separar los productos orgánicos del ambiente predominantemente acuoso. Este tercer aspecto de la biotecnología puede ser un proceso técnicamente difícil y es el área menos conocida de la biotecnología, o sea, se ocupa de la separación y purificación de un producto o productos esenciales a partir de un proceso de fermentación.

La Figura 3 trata de mostrar en forma de un árbol cómo se enlazan las múltiples disciplinas en el proceso biotecnológico junto a las diferentes tecnologías disponibles.

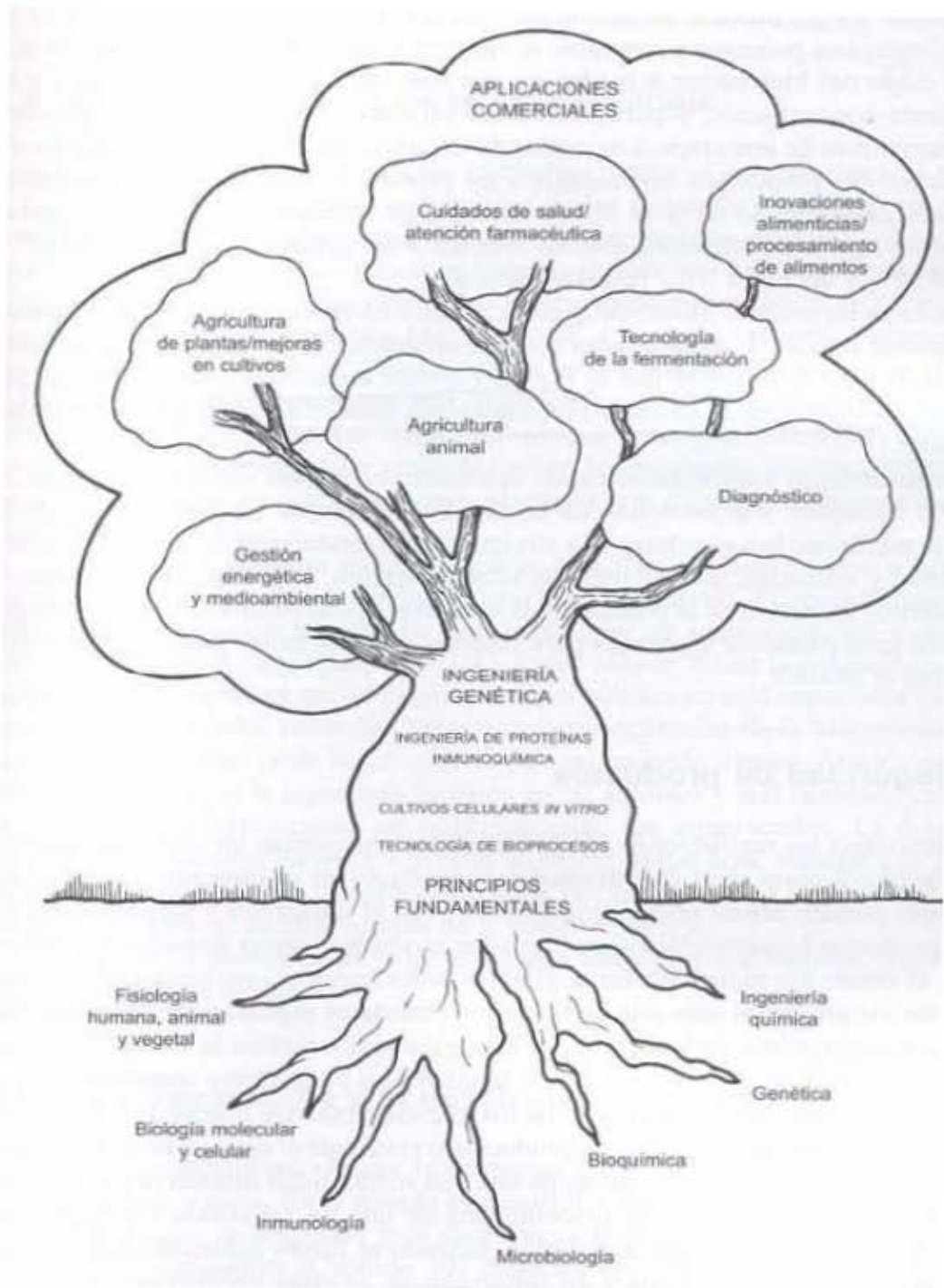


Figura 3. Disciplinas en el proceso biotecnológico.

(Fuente: Smith E., John, Biotecnología, España, ACRIBIA, 2006, p.15.)

La biotecnología continuará creando apasionantes nuevas oportunidades para el desarrollo comercial y el beneficio de un amplio

número de sectores, incluyendo la salud, la medicina, la agricultura, la silvicultura, la producción de productos químicos a granel y refinados, la tecnología de alimentos, la producción de combustibles y energía, el control de la contaminación y la recuperación de residuos.

BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA

Una de las grandes ventajas de la biotecnología agrícola es la posibilidad de crear plantas transgénicas resistentes a las sequías, a suelos poco fértiles y a las plagas, así como plantas con nuevas propiedades y más seguras para el ser humano.

Se estudia también el uso de las plantas para producir polímeros biodegradables como el PHB (polihidroxibutirato), que podría sustituir al polietileno; el mismo polímero se ha expresado en plantas de algodón con el fin de elaborar fibras con nuevas propiedades textiles. En el sector médico, grupos de investigación han expresado proteínas útiles para la farmacéutica en los frutos de plantas (plátanos, por ejemplo), e incluso hay proyectos de salud pública basados en la distribución de fruta provista del antígeno que normalmente se inyecta a la población durante las campañas de vacunación. Por otro lado, pacientes que padecen cáncer han sido tratados con anticuerpos producidos en maíz. Mientras que en un cultivo de células animales se requieren 10 000 litros para generar uno o dos kilos de anticuerpos, en poco menos de media hectárea de maíz sería posible producir hasta 1.5 Kg y en 12 hectáreas una cantidad suficiente para tratar decenas de miles de pacientes. Varias compañías participan en esta estrategia para preparar lo que han denominado planticuerpos.

BIOTECNOLOGÍA ALIMENTARIA

En la industria de alimentos, la demanda de productos naturales se ha incrementado en los últimos años. El consumidor prefiere colorantes, saborizantes y otros aditivos que provienen de una fuente vegetal en vez de otros obtenidos mediante procesos de síntesis química. Esto ha favorecido el desarrollo de diversas estrategias como la de cultivar en fermentadores las células provenientes de vegetales, con lo cual se evita en ciertos casos la sobreexplotación y la extinción de algunas especies. Sin embargo, a diferencia de los microorganismos, las células vegetales tienden a agregarse, son frágiles y tienen tiempos de duplicación muy largos. Dos de los procesos más exitosos par producirlas los constituyen en Japón la preparación del colorante rojo conocido como *Shikonina*, sustancia usada sobre todo en cosméticos, a partir de la planta *Lithospermum erythrorhizon*, y la del taxol, compuesto originalmente extraído de la corteza de un árbol (*Taxus brevifolia*) y empleado en quimioterapia contra el cáncer.⁴

Hasta ahora, el cultivo de células vegetales ha tenido poco éxito en procesos biotecnológicos industriales, sobre todo por la baja productividad,

⁴ Fuente: López Munguía C., Agustín, *La biotecnología*, 1ª. ed., México, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, 2000. p. 44.

los insuficientes conocimientos sobre el metabolismo secundario vegetal y el

alto costo de los medios y las condiciones de cultivo, a los que es necesario agregar con frecuencia hormonas y otras sustancias reguladoras del crecimiento y la diferenciación.

BIOTECNOLOGÍA MARINA

Se podrían distinguir dos estrategias de la biotecnología marina: La primera es la puesta en práctica de la ingeniería genética y metodologías como anticuerpos monoclonales para mejorar los procesos de acuicultura en agua dulce o salada, incluidas las técnicas de la bioquímica moderna con que se estudia el funcionamiento y la explotación de los organismos marinos. La segunda se refiere a los procesos realizados por microorganismos o algas aislados del mar. Los grupos de investigación de biotecnología marina han logrado producir en el nivel experimental pescados transgénicos, entre los que destacan el salmón del Atlántico, la carpa y la tilapia o mojarra. A estas especies se les ha introducido una proteína, la hormona de crecimiento que aumenta la productividad considerablemente, aunque es evidente que para generarlos en gran escala aún es necesario dar respuestas a los problemas de bioseguridad y secuelas ambientales que estas especies podrían ocasionar.

INGENIERÍA GENÉTICA

La ingeniería genética altera el ADN de un organismo. Generalmente se hace introduciendo un nuevo gen de una especie completamente diferente. Esto sería imposible normalmente, porque las diferentes especies no pueden reproducirse entre sí. Pero la ingeniería genética hace posible lo imposible. Primero, los científicos encuentran un organismo con el gen “útil”, que produce la característica deseada. Luego usan unas “tijeras” químicas para cortar el gen. Finalmente, lo insertan en el otro organismo, bien contrabandeándolo en las células del organismo, usando un virus o una bacteria portadora.

Se puede tomar un gen de un pez ártico, que produce una proteína “anticongelante” que evita que su sangre se congele, e insertarlo en una fresa, para hacerla resistente a las heladas. O poner un gen humano en bacterias, para que produzcan insulina para tratar a la gente con diabetes, una enfermedad causada por la falta de insulina, una hormona hecha normalmente por el cuerpo para controlar los niveles de glucosa en la sangre. Estos organismos genéticamente modificados ya existen, y están planeados muchos más. Incluyen plátanos genéticamente modificados que producen una vacuna contra el cólera, y plantas que producen plásticos. Pero muchos de los organismos genéticamente modificados actuales son cosechas.

Considerando dos cosechas genéticamente modificados. El maíz es atacado por la oruga pintón. Los científicos descubrieron que una bacteria llamada *Bacillus thuringiensis* (Bt) produce venenos que matan plagas como ésa. Así que se toman los genes que producen dichos venenos y los insertan en el maíz para producir maíz Bt, con su propio plaguicida. Por lo mismo, ya no hay necesidad de rociar las plantas con costosos y contaminantes plaguicidas. El arroz es un alimento primordial para billones de personas, pero carece de vitamina A. Se tomó un gen de narciso que produce beta caroteno, y que el cuerpo humano lo convierte en vitamina A, y lo insertaron en las plantas de arroz. El resultado es el arroz dorado, que contiene beta caroteno y por ello, produce vitamina A.⁵

Desde los primeros experimentos de ingeniería genética en la década de 1970, el uso de organismos genéticamente modificados ha provocado acaloradas discusiones. Por un lado, algunos argumentan que los organismos genéticamente modificados serán vitales para alimentar al

mundo y asegurar la salud y prosperidad crecientes. Otros arguyen que el intercambiar genes entre especies puede tener efectos serios e imprevistos sobre nuestra salud y el ambiente. El maíz Bt, por ejemplo, puede matar inofensivas mariposas y otros insectos. Potencialmente podría provocar la evolución de súper bichos resistentes a sus venenos. Otros están preocupados de que las compañías que producen organismo genéticamente modificados lleguen a tener mucho control sobre los recursos mundiales.

REEMPLAZO DE ÓRGANOS HUMANOS

Nuestros cuerpos siempre tienen el riesgo de invasiones de bacterias, virus y otros gérmenes que causan enfermedades. Pero tenemos un sofisticado sistema de defensa, nuestro sistema inmunológico, que destruye a los invasores. Células como los macrófagos y sustancias especiales llamadas anticuerpos, inutilizan y destruyen cualquier cuerpo extraño. Desafortunadamente, esto significa que destruyen cualquier célula transplantada en el cuerpo, que venga de otra persona.

⁵ Fuente: Walker, Richard, *Genes y ADN*, 1ª. Ed., México, Santillana Ediciones Generales S.A. de C.V., 2003. p.45.

Se debe a que todas las células llevan en su superficie diminutos marcadores, determinados por sus genes, que identifican a las células como “propias” o “extrañas”. El sistema inmunológico ignora las células “propias”, pero destruye inmediatamente a las “extrañas”.

Hay más de 200 diferentes clases de células en el cuerpo humano. Las células troncadas son especiales porque pueden desarrollarse como cualquier tipo de célula en el cuerpo. Esto significa que pueden ser transplantadas en un paciente para reemplazar tejido que haya sido dañado

por una enfermedad. Las mejores células troncales provienen de un embrión humano de pocos días de edad. Pero el uso de embriones para este propósito no es aceptable para mucha gente. También, como órganos donados, son una fuente “extraña” y serán rechazados. La clonación podría ser una forma de evitar el problema del rechazo. Los científicos podrían tomar una célula de una persona que necesite tratamiento, insertar su núcleo en un óvulo humano “vacío”, y luego dejar a este óvulo dividirse en una masa de células troncales. Esto es llamado clonación “terapéutica” porque crea unas cuantas células troncales en vez de toda una persona. Estas pueden ser transplantadas de nuevo en el paciente, sin riesgo de rechazo, porque llevarían sus genes. Imagínense, por ejemplo, si una persona tiene la enfermedad de Parkinson. Esta sucede cuando las neuronas (células nerviosas) en parte del cerebro empiezan a morir, haciendo que la persona pierda la capacidad de moverse bien, podría ser que, un día, células troncales propias pudieran ser inyectadas en el cerebro para reemplazar las neuronas perdidas.

CAPÍTULO III

FUNCIONES DEL INGENIERO QUÍMICO DENTRO DEL CAMPO DE LA BIOTECNOLOGÍA

IMPORTANCIA DE LA INGENIERÍA EN LA SOCIEDAD

La ingeniería es una de las profesiones que más se practica en la actualidad, se ocupa de la creación de nuevos sistemas, procesos y productos para satisfacer las necesidades del ser humano, de los gobiernos, de las comunidades y de las corporaciones. Para lograr sus objetivos, los ingenieros se auxilian de los conocimientos adquiridos, de su disciplina, habilidad y actitud, siempre pensando en lo más apropiado.

La ingeniería la define la Sociedad Americana de la Educación de la Ingeniería como “El arte de aplicar los principios científicos y matemáticos, junto con la experiencia y el sentido común para realizar actividades que beneficien a la humanidad”¹.

El mundo moderno exige cada vez más avances tecnológicos; y cabe mencionar que la ingeniería es una de las principales carreras que se mantienen a la vanguardia en este campo. En general, la ingeniería se dedica a crear día con día nuevas tecnologías.

¹ Fuente: Lombera Martínez, Juan Carlos, *Tesis: Análisis de los planes de estudio de la carrera de ingeniería química*, México, D.F., UNAM, Facultad de Química, 2002, p.3.

Las ingenierías más comunes son: Ingeniería Química, Mecánica, Civil, Eléctrica, Industrial, Bioquímica y de Sistemas, sin embargo,

también existen otras nuevas ingenierías con gran relevancia en nuestra sociedad, además de ser estratégicas para el desarrollo de las naciones tales como: aeronáutica, robótica, agrícola, petrolera, geofísica, geonómica y biotecnológica.

Cabe destacar que los avances tecnológicos son derivados de la investigación, es por eso que el desarrollo de un país depende en gran medida de la práctica de la investigación. De manera que es importante todo el desarrollo de todas las ingenierías. En México el perfil del ingeniero debe ser amplio y con criterio para abordar las necesidades de la industria y de la investigación. Es necesario mantener siempre los vínculos entre las universidades y el sector empresarial e industrial para tener una retroalimentación constante.

LA INGENIERÍA QUÍMICA EN LA SOCIEDAD MEXICANA

La ingeniería química es una profesión en la que los conocimientos de ciencias básicas e ingenieriles, junto con los principios de economía y las relaciones humanas, obtenidos mediante el estudio, la experiencia y la práctica, son aplicados mediante habilidades y actitudes en la creación de procesos y la generación de productos y servicios, fundamentalmente del ámbito de la industria química en beneficio de la humanidad.

Definitivamente hay pocas profesiones que se relacionan tan ampliamente con el desarrollo, implementación y evolución de la industria química como la Ingeniería Química, ya que al llevar un proceso a escala industrial, el ingeniero químico abate costos de producción y esto da por resultado poder ofrecer productos accesibles a la mayor gente posible, es

decir, toda transformación de materia prima o producto intermediario o final útil para el hombre, es estudiada por la ingeniería química, ésta da los elementos necesarios para diseñarla, construirla y operarla, ya que analiza tanto la parte técnica como la económica y humana de la industria, por esto aporta una visión muy completa y real de la situación económica y tecnológica del país. Los constantes cambios en el sector industrial, propiciados por el desarrollo de nuevas tecnologías, obligan a las instituciones educativas a replantear su estrategia educativa para así ser capaces de ofrecer las herramientas necesarias a las futuras generaciones para seguir formando profesionistas de un alto nivel académico y por ende competitivo.

LA INGENIERÍA BIOQUÍMICA

La ingeniería bioquímica es una disciplina que utiliza el conocimiento en ingeniería y en bioquímica con fines de producción industrial de bienes y servicios basados en seres vivos y sus partes.

La bioquímica es la rama de la química que estudia los componentes químicos de los seres vivos, especialmente las proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos, además de otras pequeñas moléculas presentes en las células. La bioquímica se basa en el concepto de que todo ser vivo contiene carbono y en general las moléculas biológicas están compuestas principalmente de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre.

La ingeniería química ayudo a Estados Unidos y sus aliados a ganar la Segunda Guerra Mundial. Desarrollando la producción de caucho sintético para reemplazar las fuentes de abastecimiento capturadas por los japoneses a principios de la guerra. También, suministrando el uranio-235 necesario para construir la bomba atómica, escalando en un solo paso el proceso de manufactura desde el laboratorio hasta la mayor planta industrial jamás edificada. Contribuyo a perfeccionar la producción de penicilina, que salvó cientos de miles de vidas de soldados heridos. Al final, este aporte demuestra el grado de refinamiento alcanzado por la Ingeniería Química en la década de los 1940's.

La penicilina había sido descubierta antes de la guerra, pero solo podía prepararse en soluciones muy diluidas, impuras e inestables. Hasta 1943, cuando entraron en el proyecto los ingenieros químicos, los fabricantes utilizaban un proceso de purificación por lotes que destruía o inactivaba las dos terceras partes de la penicilina producida. Al cabo de siete meses de trabajo, los ingenieros químicos de una empresa petrolífera (la Shell Development Company), aplicando su conocimiento de los principios generales de ingeniería a la construcción de una planta integrada, llegaron a procesar 200 galones de caldo de fermentación por día, con un índice de recuperación de penicilina pura del 85 por ciento. Una vez que este proceso fue adoptado por cuatro empresas la producción del antibiótico aumentó desde un nivel que en 1943 permitía sostener el tratamiento de 4100 pacientes por mes hasta un nivel, a mediados de 1944, equivalente a casi 250,000 tratamientos por mes.

Otro problema que dificultaba el envío de la penicilina al frente era la inestabilidad del producto en solución. Se necesitaba una forma estable que permitiera el almacenaje y el despacho a hospitales y clínicas. El proceso de congelación y desecación - en que la solución de penicilina era

congelada y luego sometida al vacío para extraer el hielo en forma de vapor de agua - parecía ser el mejor, pero nunca había sido aplicado a escala industrial. Un programa acelerado de estudios emprendido por ingenieros químicos logró una comprensión de los fenómenos básicos que hizo factible la construcción de plantas de producción.

A partir de la producción industrial de penicilina desde los 1940's y su evolución, la ingeniería bioquímica representa históricamente la frontera de la biotecnología y la ingeniería química.

EL INGENIERO QUÍMICO Y LA BIOTECNOLOGÍA

La biotecnología es la ciencia que permite realizar cambios con seres vivos o utilizarlos para mejorar, modificar, producir o generar productos a través de procesos industriales. El arte desarrollado en la biotecnología es una responsabilidad compartida de todos los recursos humanos involucrados: biólogos, bioquímicos, químicos, ingenieros químicos, ingenieros genéticos, industriales, informáticos, economistas, políticos y legisladores. Sin embargo el ingeniero químico es uno de los mas afortunados en poseer los conocimientos técnicos y preparación profesional para aplicar su arte e ingenio.

Es importante mencionar que la mayor parte de los biotecnólogos del país y del resto del mundo tuvieron como formación básica la del ingeniero químico. El ingeniero químico es una pieza clave y estratégica del desarrollo actual y del futuro biotecnológico, por que existen uniones sólidas entre ellos, para formar una cadena integrada por la autorrealización del ingeniero químico en su ámbito profesional, la obtención de procesos

biotecnológicos definidos, eficientes y rentables, por los beneficios a nuestras sociedades y medio ambiente.

La unión real y próspera entre la biotecnología y el ingeniero químico es la incorporación de los procesos de manufactura y obtención de productos biotecnológicos por este último al ámbito industrial, adaptando los desarrollos científicos y tecnológicos generados por los sectores de investigación y gestión tecnológica. De manera particular, el ingeniero químico presenta una actividad casi exclusiva en las fases del proceso que se refieren a la fermentación, separación y purificación de productos, así como el tratamiento de efluentes y emisiones. No debe perderse de vista que también es responsable en la toma de decisiones para elegir rutas de biosíntesis, trenes de operaciones unitarias y eficientes sistemas de aprovechamiento de todo tipo de recursos para la elaboración de productos de alta calidad con una baja o nula emisión de contaminantes. Los conocimientos de cinética química, catálisis, flujo de fluidos y de calor permiten al ingeniero químico desarrollarse en la operación, diseño y escalamiento de bioreactores, sin embargo la posibilidad de compartir esta responsabilidad con los ingenieros bioquímicos es muy factible, pues ellos poseen conocimientos específicos sobre la bioquímica de los seres vivos y así, de manera conjunta se pueden encargar de los procesos de fermentación por ejemplo.

Por otro lado, los procesos de separación y purificación son una serie de trenes o arreglos de operaciones unitarias, las cuales constituyen una de las herramientas más importantes del ingeniero químico, de las que conoce los principios científicos sobre los que se basan, para desarrollar un análisis físico y establecer un modelo que le permita entenderlas y aplicarlas según su criterio profesional, que han sido un factor importante en su éxito profesional en los últimos años.

LAS OPERACIONES UNITARIAS

De forma general cualquier proceso se considera como un conjunto de etapas que implican modificaciones en la composición o ciertos cambios físicos en el material a preparar, procesar, separar o purificar, donde el ingeniero químico debe seleccionar las etapas adecuadas, en el orden preciso, para formularlo y ser capaz de obtener un producto químico, una separación o una purificación. La versatilidad del ingeniero químico se origina en el entrenamiento práctico de la descomposición de procesos complejos hacia las reacciones químicas y/o en etapas físicas individuales, las cuales son llamadas operaciones unitarias.

Las operaciones unitarias únicamente son transformaciones físicas que se realizan sobre la materia y se expresaron por primera vez bajo este principio en 1915 por Arthur D. Little:

“Cualquier proceso químico, sin importar la escala, puede resolverse en una serie coordinada de lo que puede llamarse operaciones unitarias,... El número de estas operaciones unitarias básicas no es muy grande y, relativamente pocas de ellas participan en un proceso particular. La complejidad de la ingeniería química se origina en la variedad de condiciones de temperatura, presión, bajo las cuales deben llevarse a cabo las operaciones unitarias en diferentes procesos, y de las limitaciones en cuanto a materiales de construcción y diseño de aparatos, que son impuestas por el carácter físico y químico de la sustancia reaccionantes”².

Las operaciones unitarias comúnmente utilizadas son: la pulverización, el mezclado, el calentamiento, la calcinación, la condensación, la lixiviación, la dilución, la destilación, la disolución, el secado, la destilación, la humidificación, la sedimentación, la agitación, la absorción, la precipitación, la filtración, la cristalización, la centrifugación, la extracción, la cromatografía y adsorción. Las últimas ocho y el rompimiento celular son las más relevantes y utilizadas a nivel industrial biotecnológico.

Las operaciones unitarias son técnicas para lograr procesos más económicos, pues la ingeniería química en la actualidad es un cuerpo de procedimientos que permiten el fortalecimiento económico de los países, así el ingeniero químico debe preocuparse por la responsabilidad que tiene en la toma de decisiones y buscar siempre la más alta rentabilidad de los procesos industriales para la producción de materiales que satisfacen los deseos y las necesidades de la sociedad. Sin embargo los costos asociados a los procesos de separación y purificación de productos biotecnológicos pueden llegar a

² Fuente: Valiente, Antonio y Primo S., Rudi, *El ingeniero Químico, Qué hace?*. Ed. Alhambra Mexicana, México, 1985, p.35.

representar hasta 70% del precio de venta, lo que permite contrastar la difícil tarea a desarrollar por parte del ingeniero químico, pues toda la responsabilidad en la inversión inicial en los costos de producción, operación y mantenimiento serán un reflejo de la buena elección de rutas o etapas para el proceso.

Además no debe perderse de vista que el manejo de microorganismos presenta características especiales para obtener un buen resultado, y el

equipo utilizado comúnmente no es el más apropiado, así que se debe utilizar equipos adecuados para algunas de las operaciones unitarias, lo que se refleja en el costo de compra.

PRODUCCIÓN A GRAN ESCALA

La biotecnología no podría haberse desarrollado sin avances complementarios en una de las disciplinas con las que se halla estrechamente relacionada: la bioingeniería.

La bioingeniería tiene como objetivo optimizar el medio ambiente donde crece la célula, para posteriormente recuperar sus productos. Hacer llegar oxígeno y nutrimentos del medio a células es muy sencillo en el laboratorio.

Conseguir lo mismo en tanques de 300 000 mil litros es otra historia. Es preciso diseñar para tal fin gigantescos agitadores, sistemas para elevar o disminuir la temperatura con rapidez, métodos para mantener el mismo grado de acidez, mecanismos para suministrar adecuadamente aire estéril, vigilar la producción de espuma y seleccionar materiales que aseguren el aislamiento y garanticen la esterilidad, entre otros requisitos que debe cumplir un bioreactor o fermentador.

Además cada proceso plantea sus necesidades específicas. Por diversas causas, entre las que sobresalen los complejos problemas de control y el hecho de que un microorganismo puede sufrir mutaciones, la mayor parte de los procesos se llevan a cabo de manera intermitente, por lotes, de modo que los procesos continuos se restringen a la

experimentación en laboratorio. Al concluir la fermentación se inicia una segunda etapa en la labor del bioingeniero. Es necesario recuperar el producto y disponer de los residuos. Se dice que el agua es el mayor enemigo del bioingeniero, pues por lo general los productos de la célula sólo alcanzan bajas concentraciones. De hecho hay una clara correlación entre el costo de los productos biotecnológicos y su concentración final en el medio fermentativo: mientras menos concentrado éste, mayor es su costo, pues mayor es la inversión requerida para recuperarlo.

El producto puede ser la célula misma, una proteína u otro metabolito producido y excretado al medio donde se hallará disuelto. Más aun, la sustancia de interés puede localizarse en el interior de la célula. En tal caso habrá que romperla en un molino o bien en un homogenizador después de recuperarla. Para ese fin, operaciones modernas con membranas han sustituido con frecuencia a la centrifugación.

Se trata de una tecnología basada en el desarrollo de membranas con canales o poros de un tamaño que puede controlarse para permitir el paso del agua y de otras sustancias, pero por ejemplo no dejar pasar microorganismos (microfiltración) o macromoléculas (ultrafiltración) e incluso sales (ósmosis inversa); este método sirve también para esterilizar una solución microfiltrándola.

Las operaciones de recuperación de proteínas, en particular las llamadas cromatografías, han evolucionado de manera extraordinaria, de tal forma que es posible recuperarlas en escalas comerciales con técnicas basadas en su carga eléctrica (cromatografía de intercambio iónico), su tamaño, (cromatografía de permeación en gel) o incluso su afinidad

biológica, por ejemplo al retenerlas en una columna donde se encuentre fijo un anticuerpo que las identifica como antígeno.

De la interacción de la biología molecular y la bioingeniería han resultado modificaciones a la fisiología del microorganismo que facilitan la recuperación del producto, o incluso, cambios de la proteína que le permiten, por ejemplo, adquirir elementos estructurales adicionales para adherirse a una matriz sólida, gracias a lo cual es posible recuperarla fácilmente. Aplicar los conocimientos que van desde la información genética de la célula y su expresión, hasta la definición de las condiciones ambientales necesarias para su crecimiento en cualquier escala, y la recuperación de los productos de interés, requieren la participación de un amplio número de actores.

CAPÍTULO IV

LA BIOTECNOLOGÍA EN PROCESOS DE INGENIERÍA QUÍMICA

UNA FÁBRICA DE TODO

La biotecnología tiene sus fundamentos en la célula, unidad básica del mundo con vida. Mientras más avanza el conocimiento sobre su estructura y su funcionamiento, mayores son las posibilidades de obtener beneficios.

En los procesos biotecnológicos más relevantes intervienen microorganismos, y también las células vegetales y animales, a pesar de que son frágiles y mucho más lentas para crecer.

Como los microorganismos no evolucionaron para crecer en fermentadores, en los procesos de la biotecnología industrial se logró aumentar la productividad mediante la obtención de mutantes silvestres a cuyo material genético se provocaba un daño químico para alterar el tránsito por esas vías. Es así como se producen grandes cantidades de ácido glutámico o de ácido cítrico, o como la etapa del hongo *Penicillium* genera miles de veces más la penicilina que la aislada por Flemming. En el caso del cultivo de las células vegetales el potencial es enorme, porque se podría aumentar la productividad de ciertos productos del metabolismo secundario de interés industrial: colorantes, aromas, compuestos de resistencia a infecciones, terpenoides y alcaloides. Baste señalar que más de 25 por ciento de los medicamentos modernos se obtiene a partir de plantas.

SUSTRATOS PARA LA BIOTECNOLOGÍA

Se estima que la producción neta anual de biomasa vegetal procedente de la fotosíntesis es de 120 miles de toneladas en la superficie continental, y de unos 50 miles de toneladas en los océanos. Aproximadamente el 50% de la biomasa terrestre se produce en forma de lignocelulosa.

Las energías no renovables y las reservas petroquímicas en las que se basa la sociedad moderna, principalmente el petróleo, el gas y el carbón, proceden de antiguos tipos de biomasa. Las naciones industrializadas modernas dependen de estas materias fósiles para producir energía y reservas en un amplio rango de procesos productivos. En menos de un siglo, el mundo industrializado ha exportado los recursos de combustibles fósiles que tardaron miles de millones de años en formarse en los fondos oceánicos o en las profundidades de la tierra, aunque esta explotación se ha producido de una manera muy desigual: mientras que en Estados Unidos de América y Europa Occidental cuentan con el 6% y el 8% de la población mundial, consumen el 35% y el 25% respectivamente de la producción mundial de petróleo y gasolina.

Aunque las reservas de carbón podrían durar cientos de años, con el ritmo de consumo actual las fuentes conocidas de petróleo se habrán consumido antes de veinte años. La biomasa obtenida fotosintéticamente podría dar salida a estos problemas si fuera utilizada para producir energía y materias primas.

La fotosíntesis produce diez veces más energía al año de la que se consume; hasta ahora la explotación a gran escala de la biomasa para la

obtención de combustible y materias primas químicas está restringida por el bajo costo de los combustibles fósiles, la heterogeneidad de las fuentes de biomasa y su desigual distribución.

Este uso de la biomasa como fuente de energía lleva siglos practicándose tradicionalmente en países menos industrializados como China, India y en zonas de África y América Latina. En países desarrollados, la biomasa derivada de la agricultura y la silvicultura se ha utilizado principalmente con fines industriales y alimenticios. Actualmente la biomasa se utiliza para obtener muchos productos de importancia industrial y comercial. En el sector de los combustibles, los productos derivados de la biomasa son: metano (biogás), productos de la pirolisis (gas y carbón vegetal), etanol (fermentación de celulosa), aceites (de la hidrogenación) y la combustión directa de desperdicios orgánicos; en el sector de las materias primas, los productos derivados de la biomasa son: etanol y gas de síntesis (de la gasificación química); en el sector de fertilizantes, los productos derivados de la biomasa son: compostas y lodos; en el sector de alimento, los productos derivados de la biomasa son: suplementos alimenticios directos y proteínas unicelulares.

MATERIAS PRIMAS NATURALES

Las materias primas naturales provienen en su mayor parte de la agricultura y la silvicultura. Son principalmente hidratos de carbono de complejidad química variable, entre los que se incluyen el azúcar, el almidón, la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. La celulosa es una sustancia química muy compleja y está invariablemente asociada en la naturaleza a la lignina. La capacidad del complejo lignocelulosa para resistir a las fuerzas biodegenerativas de la naturaleza se atestigua por la

longevidad de los árboles, compuestos en su mayoría de lignocelulosa; La lignocelulosa es el recurso natural más abundante y renovable del que dispone la humanidad. A pesar de ello, todavía se tienen que superar muchas dificultades tecnológicas antes de que se le puedan sacar ventajas económicas. Por el momento, se requieren pretratamientos caros y de alto costo energético para dejar la lignocelulosa lista para sufrir una degradación microbiana. La celulosa pura puede ser degradada vía hidrólisis química o enzimática a azúcares solubles, que son fermentados para formar etanol, butanol, acetona, proteínas unicelulares y metano. Con el paso del tiempo probablemente se demuestre que la lignocelulosa es la fuente de carbono más útil para el desarrollo biotecnológico.

ENERGIAS ALTERNAS

Tarde o temprano el petróleo se agotará y surgirán nuevas fuentes alternas de energía, serán el resultado del conocimiento, sobre los mecanismos celulares destinados a procurarla, almacenarla, renovarla y usarla. A diferencia del petróleo y el carbón, La biomasa tiene carácter renovable, pues en tiempos relativamente cortos es posible reciclarla, ya que, a través de la fotosíntesis, se vuelve a captar el CO₂ producido por combustión para generar energía, hoy, ha dejado de verse así a causa de la explotación irracional y falta de programas de reforestación, que han provocado la pérdida de áreas boscosas necesarias para la vida. Sin embargo, si se adaptase el consumo a la disponibilidad, es decir si se establecieran ciclos naturales de producción y consumo, la alternativa sería viable. También lo son otras formas de energía que se pueden obtener con gran facilidad de los procesos biológicos. Tal es el caso del alcohol etílico o etanol, producido por microorganismos en procesos de fermentación a partir de la sacarosa de la caña o de los almidones del maíz, la papa o la

yuca. Millones de litros de esa sustancia se producen en la actualidad en Brasil y Estado Unidos de América, principalmente en sustitución o como aditivo de la gasolina de los autos, de tal forma que, después de oxidarla par obtener energía, el ciclo se cierra vía fotosíntesis y fermentación. Algo similar podría decirse del llamado *biodiesel*, que se emplea como carburante de motores en Europa y proviene de la esterificación con metanol de los ácidos grasos del aceite de soya y de colsa.

Mientras tanto, la biotecnología contribuye a hacer más eficiente la industria petrolera, mediante el empleo de microorganismos productores de gomas y agentes tensoactivos (detergentes) que facilitan la extracción del petróleo en pozos próximos a agotarse o bien útiles, a través de la oxidación biológica, para eliminar el azufre, elemento asociado al petróleo de mala calidad. El petróleo es la fuente de energía más importante en la actualidad. Mediante procesos biotecnológicos su explotación puede resultar más eficiente. Pero la biotecnología permite también explorar nuevas formas de obtener energía a partir de recursos renovables.

Se dispone de la biotecnología como para reciclar el agua con relativa rapidez. Se dice que en algunos países de Europa alguien puede estar bebiendo el agua que 24 horas antes constituyó un efluente sanitario que se desechó en el baño. Independientemente de su veracidad, esta afirmación se refiere a la existencia de tecnología suficiente para el veloz, eficiente y sustentable reciclaje del agua contaminada con materia orgánica, tarea llevada a cabo por consorcios microbiológicos que actúan en verdaderas albercas donde los microorganismos dan la apariencia de lodo, de ahí el nombre del sistema: lodos-activados, acumulado en lagunas aireadas o en filtros. Una tecnología más reciente implica el tratamiento, en ausencia de oxígeno, de los efluentes (digestión anaeróbica), la cual tiene

algunas ventajas sobre el tratamiento aeróbico: la primera es que no generan demasiados microorganismos, sino que la materia orgánica se transforma en gas natural (metanol) que puede emplearse como energético. En el caso de los residuos orgánicos, podría concluirse que, desde el punto de vista biotecnológico, el problema está resuelto y no se necesita conciencia social y leyes estrictas. A pesar de que muchos contaminantes son degradados fácilmente por los microorganismos, otros no degradables persisten y ocasionan riesgos para la salud. Se trata de compuestos químicos inventados por el hombre, inencontrables en la naturaleza y por tanto difíciles de reciclar, como el polietileno, plaguicidas y compuestos con alto contenido de cloro.

TECNOLOGÍA DE LA FERMENTACIÓN O BIOPROCESO

La tecnología de la fermentación o bioproceso es un componente importante de la mayoría de los procesos de biotecnología tanto nuevos como viejos y normalmente implica células vivas completas de microbios, mamíferos o plantas, orgánulos o enzimas como biocatalizadores y cuyo objetivo es producir cambios químicos y/o físicos en materiales orgánicos es decir, el medio. Los comienzos de la tecnología de la fermentación, o como se conoce actualmente, tecnología de bioproceso, surge en parte del uso de microorganismos para la producción de comida, como los quesos, yogures y salsa de soya, y bebidas como cerveza y vino. El bioproceso en sus múltiples formas implica una multitud de reacciones complejas catalizadas por enzimas dentro de sistemas celulares específicos, y estas reacciones son muy dependientes de las condiciones físicas y químicas que existen en su entorno inmediato. Aunque las formas tradicionales de la tecnología del bioproceso relacionadas con las comidas y bebidas aún representan la mayoría de los bioproductos comerciales, cada día aparecen

nuevos productos derivados de fermentaciones con microbios y mamíferos, como:

1. En la sobreproducción de metabolitos primarios esenciales como los ácidos acético y láctico, glicerol, acetona, alcohol butílico, ácidos orgánicos, aminoácidos, vitaminas y polisacáridos.
2. En la producción de metabolitos secundarios como penicilina, estreptomycin, cefalosporina y giberelinas.
3. En la producción de muchas formas de enzimas útiles en la industria, incluyendo enzimas extracelulares tales como la amilasa, pectinasas y proteasas, y enzimas intracelulares tales como la invertasa, asparraginasa y endonucleasas de restricción.
4. En la producción de anticuerpos monoclonales, vacunas y nuevos productos recombinantes, como las proteínas terapéuticas.

Todos estos productos dominan actualmente grandes mercados industriales y son esenciales para la sociedad moderna. En la Tabla 1 se muestran los productos de fermentación según los sectores industriales.

Sector	Productos/actividades
Compuestos químicos	
Orgánicos (bruto)	Etanol, acetona, butanol Ácidos orgánicos (cítrico, itacónico)
Orgánicos (fino)	Enzimas Perfumerías Polímeros (principalmente polisacáridos)
Inorgánicos	Beneficio de metales, bioacumulación y lixiviación (Cu, U)
Compuestos farmacéuticos	Antibióticos Agentes diagnóstico (enzimas, anticuerpos monoclonales) Inhibidores de enzimas Esteroides Vacunas
Sector energético	Etanol (gasohol) Metano (biogás) Biomasa
Sector alimentario	Productos lácteos (quesos, yogures, pescado y productos cárnicos) Bebidas (alcohólicas, té y café) Levadura Aditivos alimenticios (antioxidantes, colorantes, sabores, estabilizantes) Alimentos novedosos (salsa de soja, tempeh, miso) Hongos Aminoácidos, vitaminas Almidón Siropes de glucosa y ricos en fructosa Modificaciones funcionales de proteínas, pectinas
Sector agrícola	Alimento para animales (SCP) Vacunas veterinarias Procesos de ensilado y compostaje Pesticidas microbianos <i>Rhizobium</i> y otros inoculantes bacterianos fijadores de nitrógeno Inoculantes de <i>Mycorrhizal</i> Cultivo de células y tejidos vegetales (propagación vegetativa, producción de embriones, mejora genética)

Tabla 1. Productos de fermentación según los sectores industriales.

(Fuente: Smith E., John, Biotecnología, España, ACRIBIA, 2006, p.50.)

Recientemente la tecnología del bioproceso usa cada vez más células derivadas de plantas y organismos superiores para producir muchos productos importantes. El cultivo de células vegetales se destina principalmente a la obtención de productos secundarios, tales como sabores artificiales, perfumes y medicamentos, mientras que el cultivo de células de mamífero se ha vinculado con la producción de vacunas y anticuerpos y la producción de proteínas recombinantes como el interferón, interleuquinas y eritropoyetina.

Todos los procesos biotecnológicos se desarrollan esencialmente dentro de los sistemas contenedores o bioreactores, un gran número de células está implicado invariablemente en estos procesos y el bioreactor asegura su estrecha relación con el medio y las condiciones de crecimiento y formación del producto adecuado. También debe restringir la liberación de las células dentro del ambiente. La principal función de un bioreactor es minimizar el costo de producción de un producto o servicio determinado. Algunos ejemplos de productos de varias categorías producidos industrialmente en bioreactores

como: masa celular, componentes celulares, productos biosintéticos, productos catabólicos, bioconversión y tratamiento de desechos son: las levaduras, proteínas intracelulares, antibióticos, vitaminas, aminoácidos, ácidos orgánicos, etanol, metano, ácido láctico, sirope de maíz rico en fructosa, ácido 6-aminopenicilánico, lodo activado, y digestión anaeróbica respectivamente. Algunos de estos procesos de conversión de materia prima son caros y otros procesos son de recuperación caros.

En los procesos biotecnológicos hay principalmente tres maneras de hacer crecer microorganismos en el bioreactor: intermitente, semicontinuo o continuo. Dentro del bioreactor las reacciones pueden tener lugar con cultivos estáticos o en agitación, en presencia o ausencia de oxígeno, y en condiciones líquidas o de baja humedad sobre sustratos sólidos. Los microorganismos pueden estar libres o adheridos a superficies bien por inmovilización o por adherencia natural. En un cultivo intermitente, los microorganismos son inoculados dentro de un volumen fijo de medio y, a medida que se produce el crecimiento, los nutrientes se consumen y se acumulan los productos del crecimiento (biomasa, metabolitos).

El entorno de nutrientes dentro del bioreactor cambia continuamente, lo que a su vez impone cambios en el metabolismo celular. Eventualmente, la multiplicación celular cesa debido a que los nutrientes se vuelven limitantes o se agotan y debido también a la acumulación de productos de desecho tóxicos excretados. La naturaleza compleja del crecimiento intermitente de microorganismos se muestra en la Figura 1, en donde el número 1 representa la fase de retardo, el 2 la aceleración transitoria, el 3 la fase exponencial, el 4 la fase de deceleración, el 5 la fase estacionaria y el 6 la fase de desaceleración.

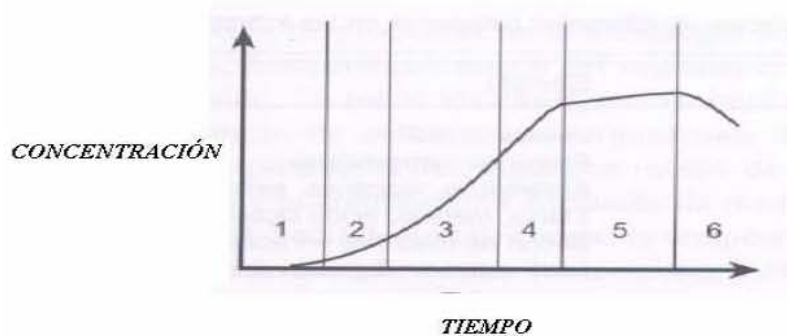


Figura 1. Concentración de biomasa & tiempo

(Fuente: Smith E., John, Biotecnología, España, ACRIBIA, 2006, p.54.)

La fase *lag* inicial es un tiempo de crecimiento no aparente, pero análisis bioquímicos reales demuestran cambio metabólico, indicando que las células se encuentran en proceso de adaptación a las condiciones medioambientales y que el crecimiento comenzará eventualmente.

Hay una fase de aceleración temporal en la que el inoculo comienza a crecer, seguida rápidamente de una fase exponencial. En la fase exponencial el crecimiento microbiano procede a la máxima velocidad posible para ese organismo en presencia de inhibidores de crecimiento. Sin embargo, en cultivos intermitentes, el crecimiento exponencial es de

duración limitada y, a medida que las condiciones de nutrientes cambian, el índice de crecimiento disminuye, entrando en la fase de desaceleración, seguida de la fase estacionaria, en la que el crecimiento total es imposible debido a la falta de nutrientes. La fase final del ciclo es la fase de muerte, en la que el crecimiento cesa. La mayoría de los procesos intermitentes biotecnológicos se detienen antes de alcanzar esta fase debido al metabolismo decreciente y a la lisis celular.

En contraste a las condiciones intermitentes, la práctica del cultivo continuo da un crecimiento casi equilibrado con fluctuaciones pequeñas de nutrientes, metabolitos, número de células o biomasa. Esta práctica depende de la entrada de medio fresco al sistema intermitente en la fase exponencial de crecimiento con la correspondiente retirada de medio con células. Los métodos continuos de cultivo permitirán a los organismos crecer bajo condiciones estables en las que el crecimiento se produce a una velocidad constante y en un ambiente constante.

En un sistema de cultivo continuo completamente mezclado, se hace pasar medio estéril dentro del bioreactor a un flujo constante y el caldo de cultivo (medio, productos de desecho y organismos) emerge a partir de ese medio a la misma velocidad, manteniendo el volumen total de cultivo en el bioreactor constante.

En la Figura 2 se muestra este ejemplo. Un fermentador de laboratorio sencillo funcionando en forma de cultivo continuo.

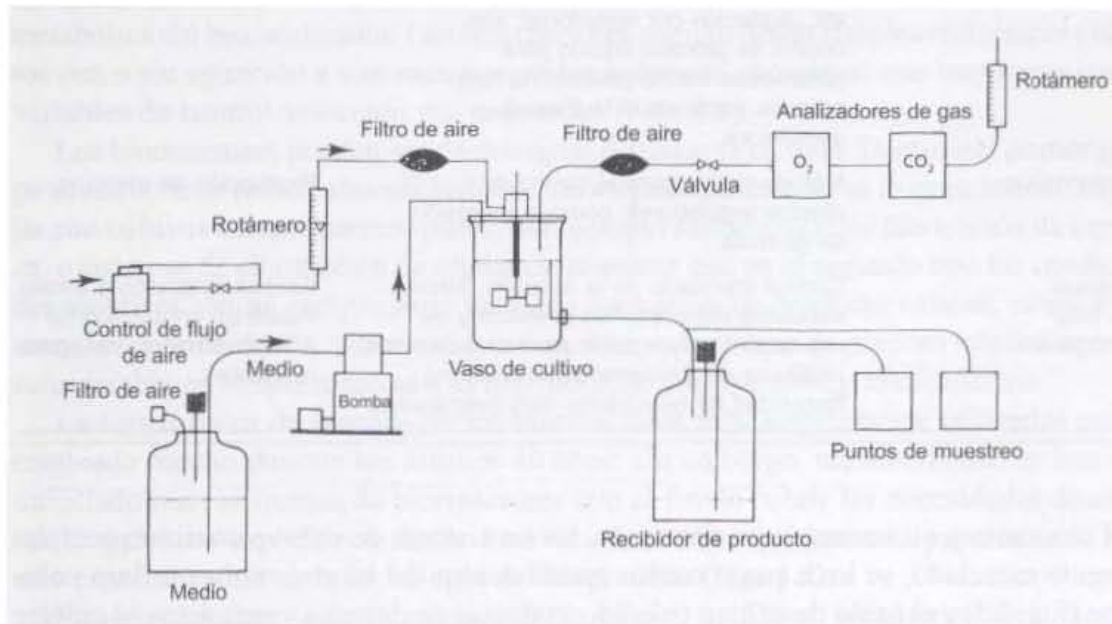


Figura 2. Fermentador de laboratorio sencillo funcionando en forma de cultivo continuo.

(Fuente: Smith E., John, Biotecnología, España, ACRIBIA, 2006, p.55.)

Factores tales como el pH y las concentraciones de nutrientes y productos metabólicos, que cambian inevitablemente durante el cultivo intermitente, pueden mantenerse casi constantes en los cultivos continuos. En la práctica industrial, sistemas operados de forma continua son de uso limitado e incluye sólo producciones de proteínas unicelulares (SCP), de etanol y algunos tipos de procesos de tratamiento de agua de desecho. Sin embargo, por muchas razones los sistemas de cultivo intermitente representan la forma predominante del uso industrial.

Las ventajas de las técnicas de cultivo intermitente y semicontinuo en la industria son: que los productos podrían ser requeridos sólo en cantidades relativamente pequeñas en cualquier momento dado, que las necesidades del mercado podrían ser intermitentes, la duración de almacenaje de un producto determinado es corta, se requiere una alta concentración de producto en el medio para optimizar las operaciones de procesamiento posteriores, algunos productos metabólicos se producen sólo

durante la fase estacionaria del ciclo de crecimiento, la inestabilidad de algunas cadenas de producción requieren su renovación regular y los procesos continuos pueden ofrecer muchas dificultades técnicas.

PROCESO DE ELABORACIÓN DE VINOS

En la sala de fermentación, el objetivo fundamental de toda buena vinificación es extraer y preservar al máximo todo el potencial aromático y gustativo que contienen los racimos maduros en sus hollejos, es fundamental trabajar a temperaturas controladas. Una vez terminado el proceso de fermentación alcohólica, el vino debe tener un contenido inferior a 4 gramos de azúcar por litro para considerarse seco. El siguiente paso para estabilizarlo es conseguir que realice la denominada fermentación meloláctica en tanques o en barricas para los grandes vinos tintos. En los modernos sistemas de control y mejora de la fermentación, el proceso de la conversión de mosto de uva en vino es de tipo biológico. Las levaduras que cubren el hollejo de los frutos transforman el azúcar en alcohol y anhídrido carbónico, liberando calor (reacción exotérmica). El calor liberado es aproximadamente 20-24 Kcal. / Lt. El 50 % (10-12 Kcal/Lt) es irradiado al ambiente que rodea las cubas de fermentación pero el resto permanece en ellas aumentando la temperatura de la masa de mosto.

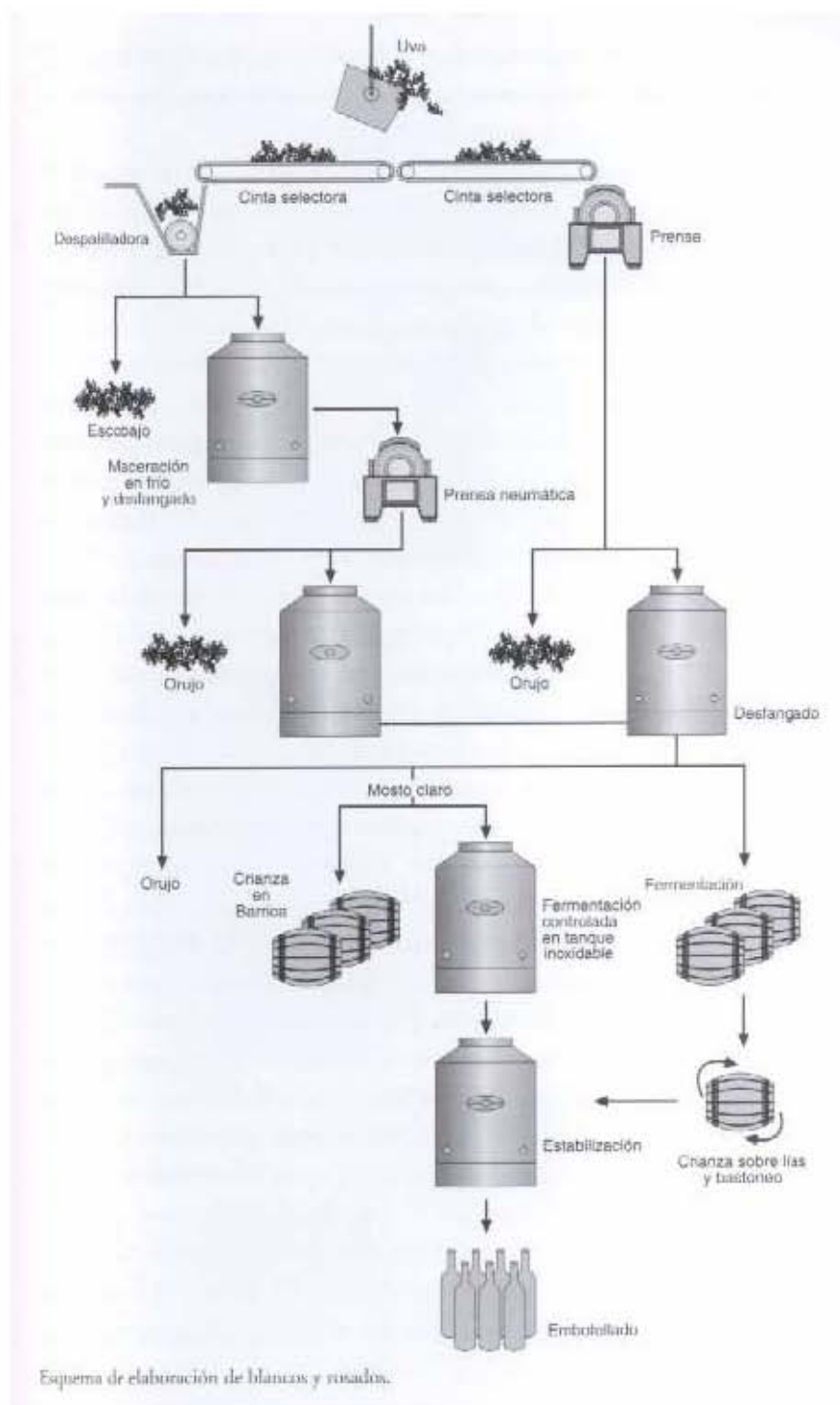


Figura 3. Esquema y elaboración de vinos blancos y rosados.
 (Fuente: Falcó Fernández de Córdoba, Carlos, Entender de vino, España, 1ª edición, 2004, p. 103)

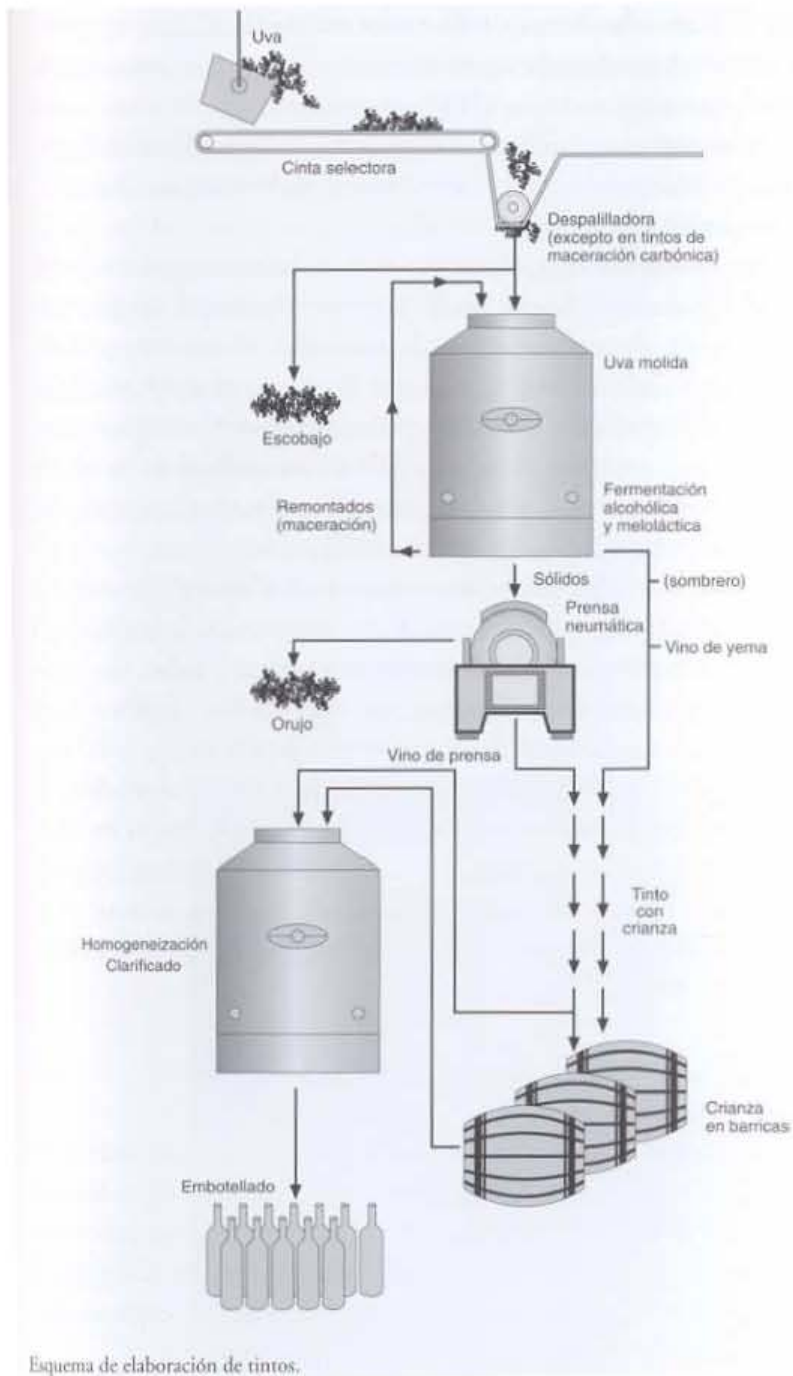


Figura 4. Esquema de elaboración de vinos tintos.

(Fuente: Falcó Fernández de Córdoba, Carlos, Entender de vino, España, mr ediciones, 2004, p. 105)

Temperaturas entre 22-28 C son las más adecuadas para que la fermentación transcurra convenientemente a fin de obtener vino de calidad.

Para el desmangado de los mostos en la vinificación en blanco se añade también SO_2 al mosto con lo que no sólo se retrasa la fermentación unas horas o días sino que además, ésta empieza de forma más uniforme.

El control de la aireación durante la fermentación es extremadamente importante. Cuando se aerea excesivamente la masa, se favorece el crecimiento de microorganismos aerobios que consumen los azúcares sin transformarlos en alcohol en detrimento de la graduación del vino.

Son varios los sistemas que se siguen para controlar la temperatura durante la fermentación.

- Adición de SO_2
- Lluvias de agua sobre los tanques
- Refrigeración de la sala de fermentación
- Circulación de la masa por intercambiadores de calor

Actualmente es común la refrigeración de los tanques por lluvia de agua que es recogida y enfriada en una torre de enfriamiento. Más efectivo es enfriar directamente el mosto en intercambiadores de calor:

- Tubulares
- De placas
- Espirales
- Superficie roscada

Las cubas de fermentación pueden ser simples depósitos de cualquier material (cemento, hierro vitrificado, plástico y acero inoxidable) y con abundantes complementos tales como: termómetro, dispositivos

automáticos de control, circuitos de refrigeración exteriores o interiores, agitador y escurridor.

La primera fase es la de llenado de la cuba, después viene la fase de remontado por una bomba auxiliar que eleva el mosto hasta la cabeza de la cuba y lo deja caer en forma de ducha. Acabada la fermentación, el vino es evacuado por una bomba, mientras que el orujo es evacuado por un tornillo sinfín hacia una tolva de recolección. Actualmente muchos depósitos de fermentación incorporan serpentines para la circulación de fluidos refrigerantes, cuya misión es el control de la temperatura durante todo el proceso.

En la fermentación con levaduras seleccionadas, las uvas en su hollejo, llevan levaduras adheridas que son las responsables de la posterior fermentación del mosto en bodega. Esas levaduras son mezcla típica de cada zona, que puede sufrir alteraciones de un año a otro, produciendo diferencias en las características de los vinos producidos. En determinados casos se ha preconizado el uso de las levaduras seleccionadas en forma líquida, que proporcionan ventajas tales como:

- Rápida iniciación de la fermentación
- Clarificación más efectiva y rápida
- Reducción de la dosis de SO₂

Algunas de las últimas novedades tecnológicas en los procesos de fermentación son: El dispositivo de pisado mecánico que favorece la maceración del sombrero y el contacto de las materias sólidas de la vendimia, con el mosto en fermentación para:

- Obtener una mejor extracción de color, aromas y taninos
- Obtener una cantidad superior de mostos de escurrido en el sangrado del depósito.

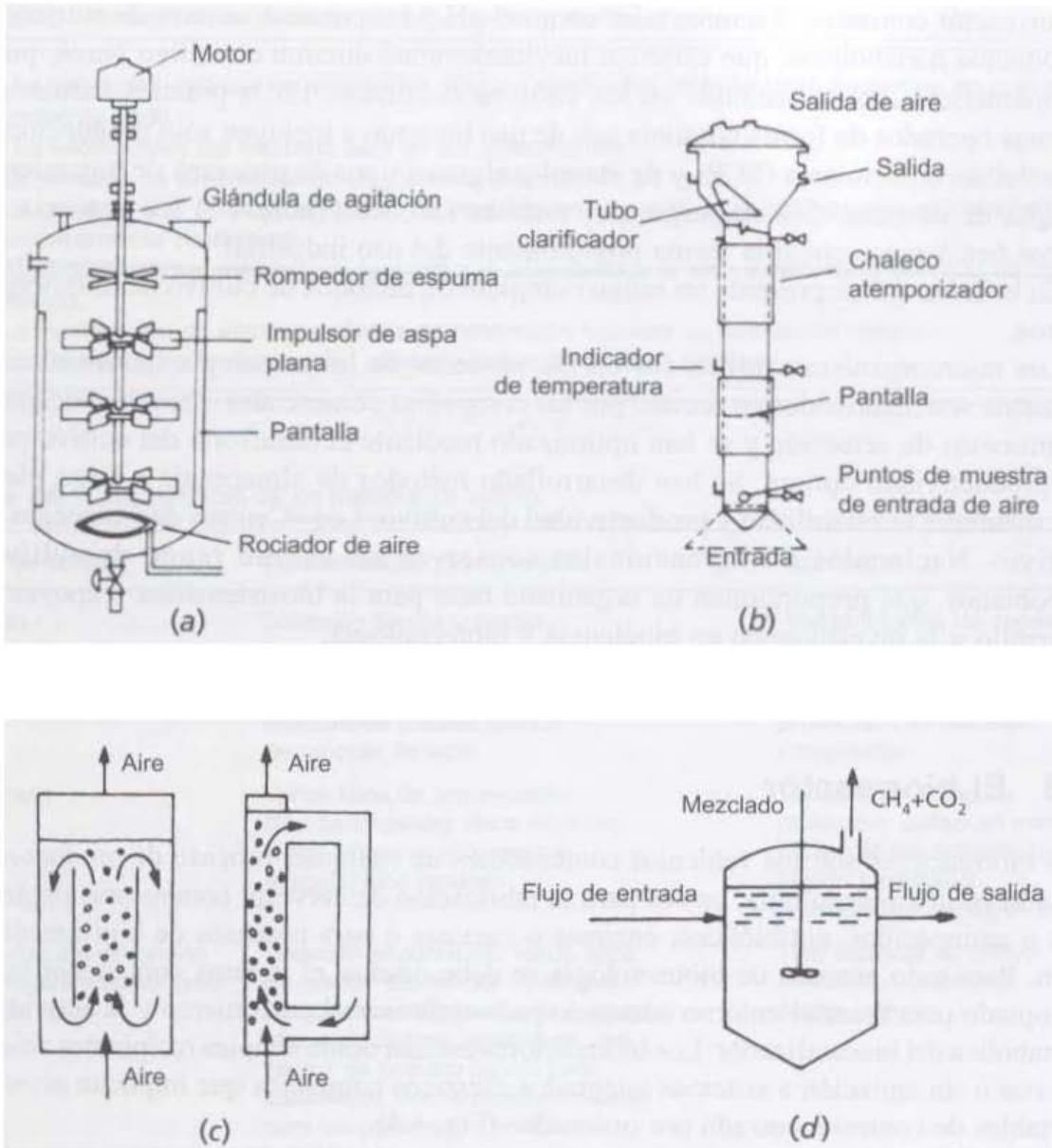
BIOREACTORES

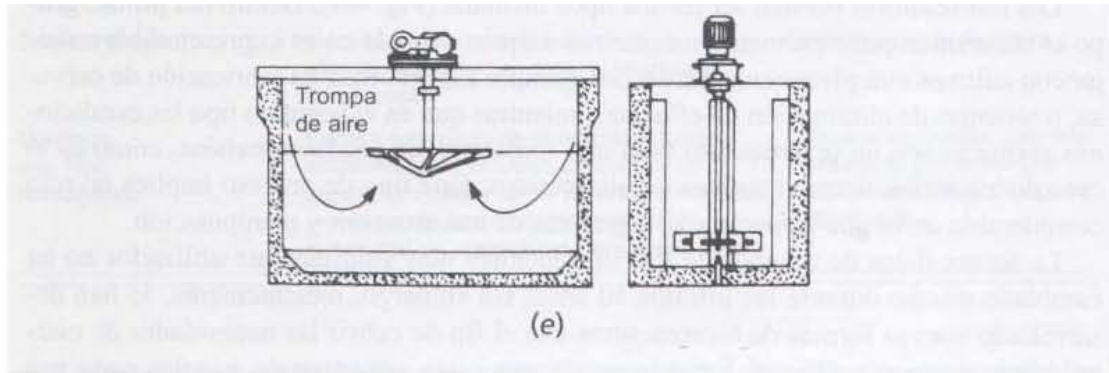
Los bioreactores son los contenedores de cualquier proceso de producción basado en la biotecnología, ya sea para la fabricación de cerveza (fermentadores o unitanques), compuestos orgánicos o aminoácidos, antibióticos, enzimas o vacunas o para procesos de bioremediación. Para todo proceso de biotecnología se debe diseñar el sistema contenedor más apropiado para crear el entorno adecuado para optimizar el crecimiento y la actividad metabólica del biocatalizador. Los bioreactores oscilan desde simples recipientes abiertos con o sin agitación a sistemas integrados asépticos complejos que implican niveles variables de control avanzado por ordenador.

Los bioreactores pueden ser de dos tipos distintos. Dentro del primer grupo se encuentran principalmente sistemas no asépticos donde no es imprescindible trabajar con cultivos completamente puros, por ejemplo los procesos de fabricación de cerveza, o sistemas de eliminación de efluentes, mientras que en el segundo tipo las condiciones asépticas son un prerequisite para una formación de producto exitosa, como es el caso de los antibióticos, vitaminas y polisacáridos. Este tipo de proceso implica un reto considerable en lo que respecta a la ingeniería de construcción y manipulación.

La forma física de muchos de los bioreactores más ampliamente utilizados no ha cambiado mucho durante los últimos 40 años; sin embargo, recientemente, se han desarrollado nuevas formas de bioreactores con el fin de cubrir las necesidades de ciertos bioprocesos. Estas innovaciones están encontrando papeles cada vez más especializados en la tecnología del bioproceso. A continuación en la Figura 5 se muestran distintos diseños de bioreactores.

BIOREACTORES





- a) Bioreactor de tanque mezclado
- b) Bioreactor en forma de torre
- c) Bioreactor en bucle (reciclo)
- d) Bioreactor anaeróbico
- e) Bioreactor de lodo activado

Figura 5. Distintos diseños de bioreactores.

(Fuente: Smith E., John, Biotecnología, España, ACRIBIA, 2006, p.58. a) y b) reproducidos con permiso de Kristiansen y Chanberlain, 1983.)

En todas las formas de fermentación el objetivo en último término es asegurar que todas las partes del sistema se sometan a las mismas condiciones. Dentro del bioreactor los microorganismos se encuentran suspendidos en un medio nutritivo acuoso que contiene los sustratos necesarios para el crecimiento del organismo y la formación del producto requerido. Todos los nutrientes, incluyendo el oxígeno, deben ser proporcionados para que se difundan dentro de cada célula y los productos de desecho tales como el calor, CO_2 y metabolitos de desecho deben ser eliminados.

La concentración de nutrientes en los alrededores del organismo debe mantenerse dentro de un rango preciso ya que los valores bajos limitarán la velocidad del metabolismo del organismo mientras que concentraciones

excesivas pueden resultar tóxicas. Las reacciones biológicas más eficientes son aquellas que se desarrollan dentro de rangos óptimos de parámetros ambientales, y en los procesos biotecnológicos estas condiciones deben proporcionarse dentro de una microescala de tal forma que cada célula recibe las mismas. Si se considera la gran escala de muchos sistemas bioreactores, se percibe lo difícil que resulta alcanzar estas condiciones en toda una población. Es aquí donde deben combinarse las capacidades del ingeniero químico, el bioquímico y microbiólogo.

Las reacciones de fermentación son multifásicas e implican una fase gaseosa que contiene N_2 , O_2 y CO_2 , una o más fases líquidas (medio acuoso y sustrato líquido) y una microfase sólida (el microorganismo y posiblemente sustratos sólidos). Todas las fases deben mantenerse en estrecho contacto para alcanzar una transferencia de calor y masa rápida. En un bioreactor perfectamente mezclado, todos los reactivos que entran en el sistema deben mezclarse inmediatamente y ser distribuidos uniformemente para asegurar la homogeneidad dentro del reactor.

Para alcanzar la optimización del sistema bioreactor, deben seguirse las siguientes normas operativas:

1. El bioreactor debe diseñarse para evitar la entrada de organismos contaminantes y para contener los organismos deseados.
2. El volumen de cultivo debe permanecer constante, es decir que no haya escapes ni evaporación.
3. El nivel de oxígeno disuelto debe mantenerse por encima de los niveles críticos de aireación y agitación del cultivo para organismos aerobios.
4. Los parámetros ambientales tales como temperatura y pH deben controlarse, y el volumen del cultivo debe estar bien mezclado.

Los estándares de los materiales usados en la construcción de fermentadores sofisticados son importantes. Todos los materiales en contacto con las soluciones que entran en el bioreactor o el propio cultivo del organismo deben ser resistentes a corrosiones para evitar contaminaciones del proceso con trazas de metales; los materiales deben ser no tóxicos de forma que una ligera disolución del material o componentes no inhiba el crecimiento del cultivo; los materiales del bioreactor deben aguantar esterilización repetida con vapor a alta presión; el sistema de agitación del bioreactor, puertos de entrada y placas finales deben ser fácilmente maquinables y suficientemente rígidos para no deformarse o romperse por estrés mecánico; la inspección visual del medio y del cultivo es ventajosa, siempre que sea posible, se deben usar materiales transparentes.

PROCESAMIENTO POSTERIOR

El procesamiento posterior hace referencia al aislamiento y purificación de un producto generado a través de la biotecnología hasta un estado adecuado para el uso que se pretendía del mismo, se preocupará principalmente de la separación inicial del medio del bioreactor en una fase líquida y una sólida y la subsecuente concentración y purificación del producto. El procesamiento posterior es una operación multifásica. Los métodos tanto en uso como propuestos oscilan desde lo convencional hasta lo extraño, incluyendo destilación, centrifugación, filtración, ultrafiltración, extracción por solventes, adsorción, tecnología de membrana selectiva, ósmosis inversa, tamices moleculares, electroforesis y cromatografía de afinidad.

El papel del procesamiento posterior seguirá siendo una de las partes más desafiantes y exigentes de muchos procesos biotecnológicos. La pureza y la estabilidad son los atributos de la mayoría de los productos biotecnológicos de alto valor.

Se puede decir que los procesos biotecnológicos necesitarán, en su mayoría, ser controlados dentro de un área definida o bioreactor y, en último término, el éxito de la mayoría de los procesos dependerá de una elección y manipulación adecuada de estos sistemas. Para la mayoría de los productos de alto valor, el cultivo del organismo productor será por lo general un monocultivo, requiriendo asepsia completa para maximizar la formación del producto.

En lo referente a lo industrial, la escala de operación será, por razones económicas, mayoritariamente muy grande, y en casi todos los casos el éxito final requerirá una cooperación muy estrecha entre el biocientífico, el químico, el ingeniero bioquímico y el ingeniero químico. Se demuestra así la naturaleza verdaderamente interdisciplinaria de los procesos biotecnológicos y la participación del ingeniero químico en esta área del desarrollo biotecnológico.

TECNOLOGÍA EN LA PRODUCCIÓN DE ENZIMAS

Aunque muchas enzimas utilizadas derivan de plantas y animales, es seguro que la mayor parte de los futuros desarrollos en la tecnología enzimática se sustentará en la utilización de enzimas de origen microbiano. Incluso en el proceso de malteado en la fermentación de la cerveza, en el

que se usan amilasas (α , β) de cebada germinada que hidrolizan el almidón de forma relativamente barata, y alrededor de la cual se ha desarrollado la tecnología actual de la fermentación de la cerveza, existen ahora algunos procesos competitivos que implican enzimas microbianas.

Las materias primas para las fermentaciones enzimáticas industriales se han limitado normalmente a sustancias fácilmente disponibles en grandes cantidades a bajo costo y nutricionalmente saludables. Algunos de los sustratos usados más comúnmente son el hidrolizado de almidón, licores a base de cereales, suero y muchos cereales.

La producción enzimática industrial de microorganismos utiliza predominantemente bien condiciones de líquido sumergido o fermentadores de sustratos sólidos.

Los métodos de sustrato sólido en la producción de enzimas fúngicas tienen múltiples aplicaciones desde muy antiguo. En la práctica, este método usa trigo mojado o salvado de arroz con sales nutrientes añadidas como sustratos. El crecimiento se realiza normalmente en bandejas rectangulares dentro de habitaciones a temperatura constante. Las enzimas comercialmente importantes producidas de esta forma incluyen las amilasas fúngicas, proteasas, pectinasas y celulasas.

Ya que las enzimas microbianas son generalmente de bajo volumen y los productos son de costo medio, los métodos de producción utilizando sistemas de líquido sumergido se usan generalmente en bioreactores de diseño y función similares a los utilizados en los procesos de producción de antibióticos (Figura 6). La elección del medio de fermentación es importante ya que proporciona la energía necesaria, así como las fuentes de

carbono y nitrógeno. El costo de materia prima estará estrechamente relacionado con el valor de producto final.

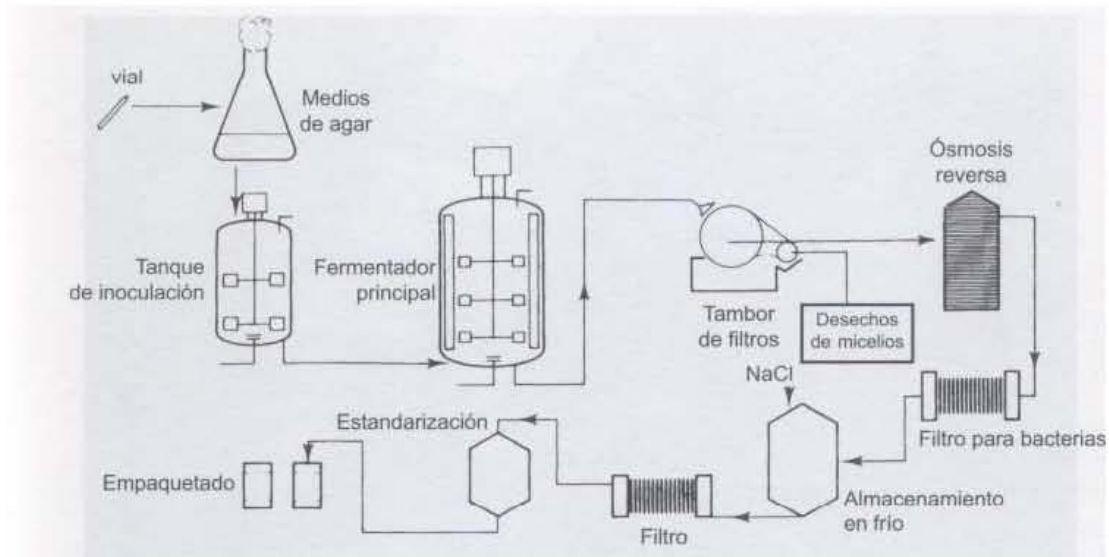


Figura 6. Etapas en la producción de un preparado enzimático líquido.

(Fuente: Smith E., John, Biotecnología, España, ACRIBIA, 2006, p.85.)

En la Figura 7 se muestra el proceso de concentración y purificación de enzimas. La recuperación y purificación enzimáticas son tan importantes como la economía de la producción en la etapa de fermentación. La purificación de enzimas se llevará a cabo sólo si se justifica el costo extra para su aplicación. Los pasos de purificación o procesado en cascada determinarán la elección de las técnicas de separación, ya que algunas son difíciles de ejecutar a gran escala.

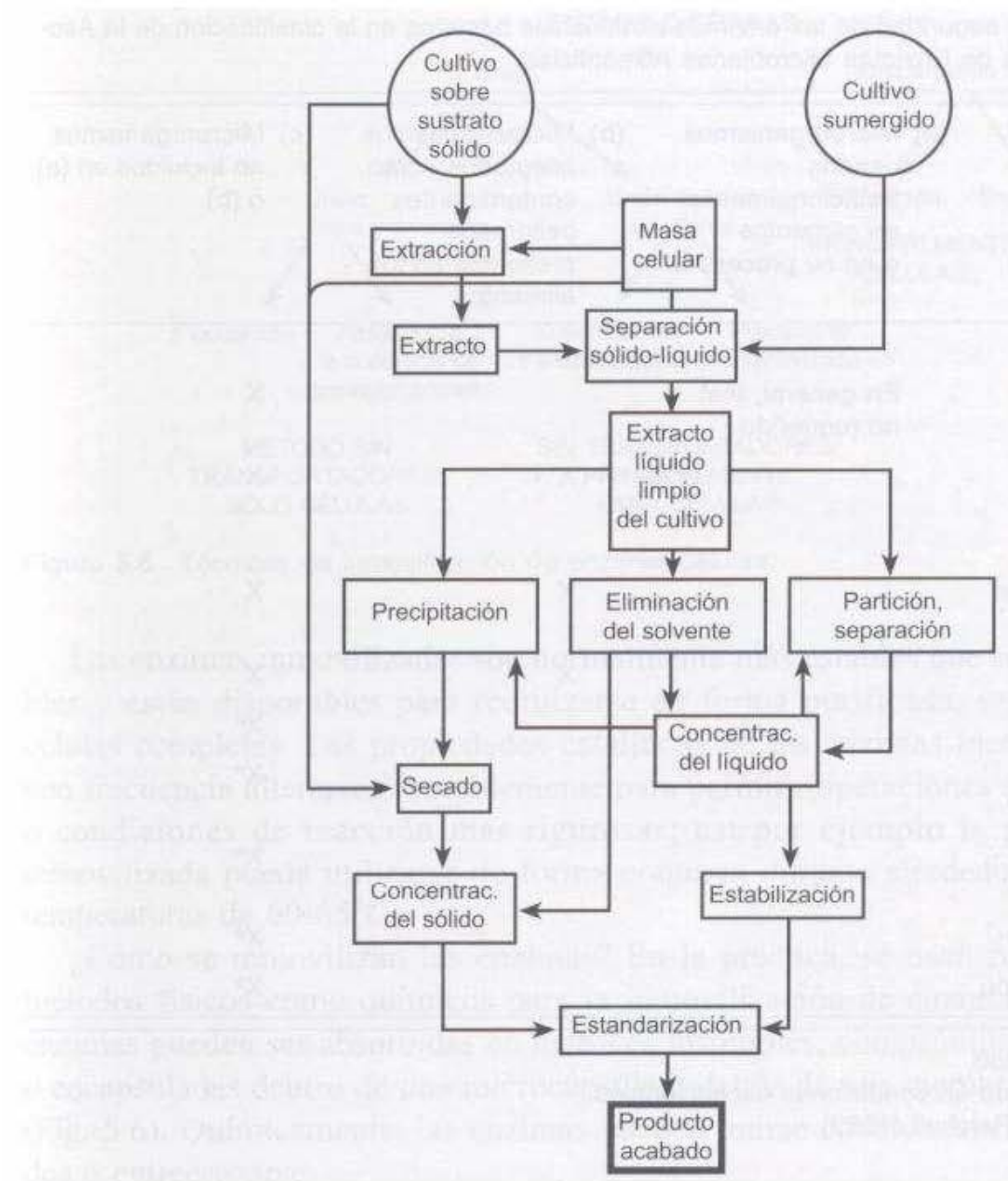


Figura 7. Extracción y preparación de una enzima.

(Fuente: Smith E., John, Biotecnología, España, ACRIBIA, 2006, p.87.)

Todos los procesos enzimáticos microbianos que se usan en aspectos relacionados con la alimentación y la medicina requieren tener especificaciones muy estrictas con respecto a la toxicidad. La responsabilidad para la seguridad de un producto enzimático recae sobre el fabricante. Todos los productos enzimáticos se suministran con un

Certificado de Material Seguro muy detallado, que cubre los daños potenciales y el procedimiento de manipulación para el uso de la enzima.

GENERACIÓN BIOLÓGICA DE COMBUSTIBLE

A medida que la población mundial continúa creciendo, hay también un crecimiento *per capita* de la demanda de energía. Relacionado con esto, hay acuerdos para reducir las emisiones de dióxido de carbono a los que se llegó en el protocolo de Kyoto.

La fuente esencial de energía es la fotosíntesis. La reserva total mundial económicamente recuperable de los tres principales combustibles fósiles, que son el carbón, gas natural y petróleo –utilizando la tecnología y asumiendo los niveles de consumo continuo actuales- son , respectivamente, menos de 1000 años, 35 años y 16 años. La industria moderna depende casi totalmente de estos suministros limitados. Aproximadamente el 93% del combustibles fósil consumido en el mundo es para la producción de energía, con un uso de sólo un 7 % para la producción en la industria de solventes, plásticos y un almacenaje de otros productos químicos orgánicos.

El agotamiento progresivo de la energía fósil combustible global ha generado una necesidad en continuo aumento de buscar fuentes alternativas de energía. Esto hasta ahora ha incluido la utilización de la fuerza hídrica: de las mareas, de las olas y del viento; la adquisición del aporte de energía solar y geotérmica; y la más significativa: la energía nuclear. Con todos estos sistemas no existe todavía una respuesta definitiva sobre el gasto económico y energético necesario para una operación con éxito. Sin

embargo, no se puede dudar de que los combustibles fósiles desaparecerán completamente en un futuro no muy lejano.

Actualmente hay una creciente valoración de los sistemas de energía biológica y que los avances en esta área puedan pronto ofrecer una realidad económica a algunos procesos seleccionados. La biomasa como los residuos del bosque, de la agricultura y de los animales y los desechos orgánicos industriales y domésticos pueden ahora ser convertidos mediante procesos físico-químicos y/o de fermentación para eliminar combustibles y sustitutos petroquímicos.

El material derivado fotosintéticamente no está generalmente en un estado suficientemente seco para poseer un valor calorífico atractivo, ni en una forma que sea la mejor se ajuste a la tecnología moderna. Los organismos fotosintéticos, tanto los terrestres como los marinos, pueden ser considerados como transformadores continuos de energía solar que están renovándose continuamente. La fotosíntesis de las plantas por sí sola fija alrededor de 2×10^{11} toneladas de carbón con un contenido de energía de 2×10^{21} julios, lo cual representa unas 10 veces el gasto de energía anual mundial y 200 veces nuestro consumo de energía alimenticia.

La magnitud y el papel de la fotosíntesis no se ha tenido en cuenta durante mucho tiempo, porque nosotros usamos una proporción muy pequeña de carbón fijado. No debemos olvidar que la fotosíntesis en el pasado daba lugar a todas las fuentes de carbón fósil presentes, que son el carbón, el petróleo y el gas natural. Así, la biomasa derivada biosintéticamente que está disponible en diferentes formas a nuestro alrededor podría ser perfectamente transformada en combustibles que se

puedan almacenar y en provisiones químicas de comida, como los alcoholes y el gas metano.

Hay tres direcciones principales que pueden seguirse para conseguir provisiones de biomasa y se muestran en la siguiente Figura 8.

1. Cultivo de las llamadas cosechas energéticas
2. Cosecha de vegetación natural
3. Utilización de desechos de la agricultura y otros desechos orgánicos.

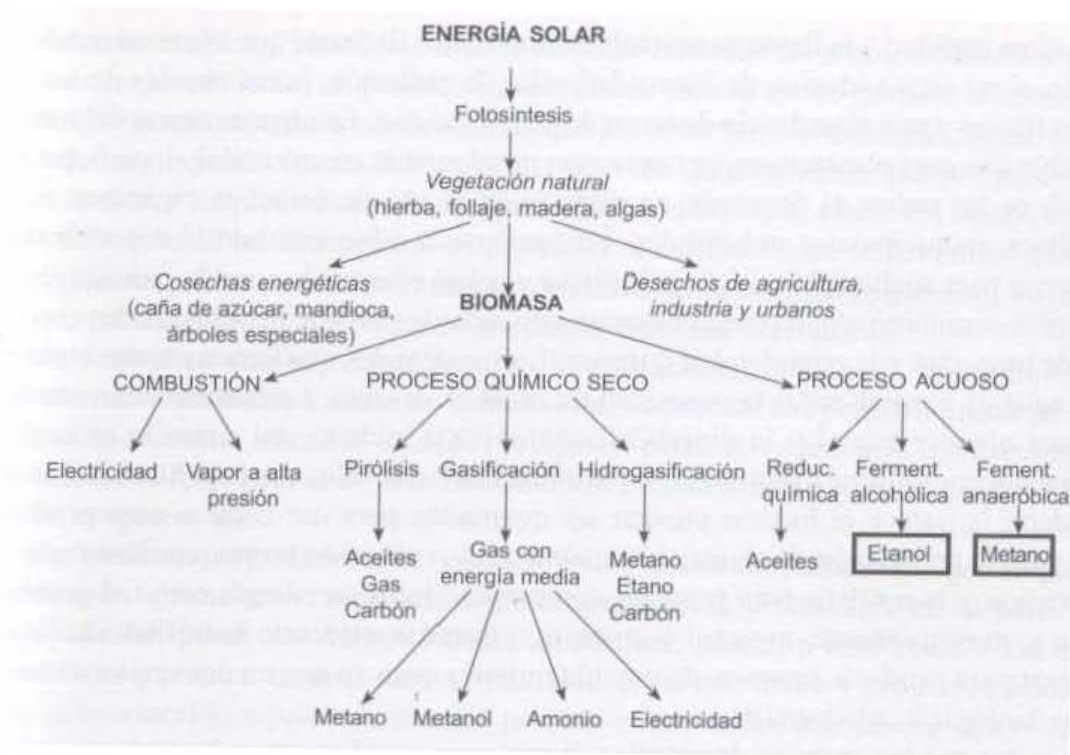


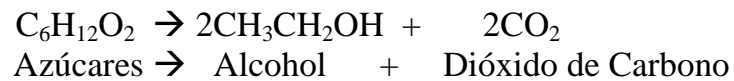
Figura 8. Opciones para la conversión de biomasa en energía.

(Fuente: Smith E., John, Biotecnología, España, ACRIBIA, 2006, p.97.)

La conversión de biomasa en combustibles utilizables puede conseguirse por medios biológicos o químicos o por la combinación de ambos. Los dos productos finales son el metano o el etanol.

ETANOL A PARTIR DE LA BIOMASA

La producción de alcohol por fermentación de azúcares y almidón es un arte antiguo y se considera a menudo uno de los primeros procesos microbiológicos usados por el hombre.



Actualmente, la producción de alcohol industrial es fundamentalmente sintética, no microbiológica, derivada de procesos petroquímicos.

El etanol petroquímico se hace para la hidratación de etileno y la declinación de la producción microbiológica de alcohol data de la producción a larga escala de etileno en los años cuarenta. Durante 20 años de desarrollo a gran escala del refinamiento del petróleo, la producción industrial del alcohol de fermentación cayó por debajo de la producción de alcohol potable en la mayoría de las naciones industrializadas. Así, en países tecnológicamente más avanzados, el etanol se produce por medios químicos. En muchos países en desarrollo donde se dispone de materias primas baratas, el etanol todavía se produce para fines industriales utilizando las técnicas de fermentación tradicional.

Además de que los beneficios del etanol como combustible son considerables ya que es una energía eficiente, no produce monóxido de carbono tóxico durante la combustión por lo que es mucho menos contaminante que los combustibles convencionales, es todavía más barato

producir etanol a partir del petróleo químicamente que por procesos de fermentación a los precios actuales del petróleo. De esta forma, el uso del etanol, como el de otros combustibles alternativos, es impedido económicamente en los países industrializados hasta que los precios del petróleo de nuevo se mantengan en ascenso. Es inevitable que suceda, pero es difícil predecir cuándo sucederá exactamente.

Históricamente, el etanol y en menor medida el metanol, se han utilizado ampliamente como combustibles en Europa antes de la Segunda Guerra Mundial y de hecho, el modelo de coche T de Henry Ford se diseñó para funcionar con alcohol, petróleo o cualquier mezcla entre ambos.

En ningún lugar se ha perseguido esto tanto como en Brasil. La mayoría de los procesos biotecnológicos operan en todo el país, convirtiendo el azúcar de caña y la tapioca en etanol mediante fermentación con levaduras. Un promedio de producción de aproximadamente $4 \times 10^6 \text{m}^3$ de etanol en los años 1980 ha sido ahora sobrepasado. El éxito indudable de Brasil como pionero de esta producción de petróleo verde ha dado lugar a un interés mundial, particularmente entre las naciones en desarrollo más pobres, con el clima y la tierra para desarrollar sus propias cosechas de combustible, pero con recursos económicos limitados para comprar petróleo. Incluso países desarrollados como Australia, E.U.A, Suecia y Francia, están invirtiendo en procesos de producción biológica de alcohol utilizando grandes excedentes de la agricultura o desechos forestales.

Tres millones de litros de alcohol combustible fueron fermentados en E.U.A. a partir del maíz y un tercio de toda la gasolina de América es un 10% de todo el etanol de desecho derivado o gasóleo. En Brasil se estima actualmente que toda la necesidad de petróleo del país podría satisfacerse a

partir de la plantación del 0.3% de la vasta área del país con plantaciones productoras de alcohol. Se han construido alrededor de 500 plantas de fermentación y destilación en todo el país, procesando las cosechas producidas a lo largo del año. Un bono adicional a la generación de energía es la creación de unos 700,000 trabajos nuevos directos y 300,000 trabajos indirectos en áreas rurales de Brasil.

Sin embargo, el escenario económico para el programa de gasóleo de Brasil está severamente influido por la actual depresión en los precios mundiales del petróleo. Con los precios actuales del petróleo, la producción de etanol ha permanecido relativamente estática sobre 11,000-12,000 millones de litros por año y el gobierno brasileño ha dejado de invertir dinero. Se estima de forma realista que los costos para producir actualmente etanol de la caña de azúcar son al menos 50 dólares por barril. Hay estudios que han demostrado que los motores de etanol producen un 57% menos de monóxido de carbono, un 64% menos de hidrocarburos y un 13% menos de óxido nítrico que los vehículos con motor de gasolina. La justificación principal para continuar con los programas de bioetanol tiene que ser medioambiental.

Para conseguir disponibilidad de los azúcares fermentables necesarios, la mayoría de las materias primas requieren de algún tipo de pretratamiento, dependiendo de su composición química, estas se muestran en la tabla 2 y son materias primas para la producción de etanol para uso como combustible.

Con almidón	Celulósicos	Con azúcar	Otros
Granos de cereal	Madera	Sacarosa y azúcar invertido de sorgo	Alcachofa de Jerusalén
Maíz	Serrín	Melaza	
Granos de sorgo	Desecho de papel	Azúcar de remolacha	Pasas
Trigo	Residuos forestales	Forraje de remolacha	Bananas
Cebada	Residuos de la agricultura	Caña de azúcar	
Productos molidos	Desechos sólidos municipales	Lactosa	
		Suero de la leche	
Harina de trigo	Desechos de producción de la ganadería intensiva	Glucosa	
Trigo molido		Desechos de sulfito	
Maíz molido			
Raíces de almidón			
Mandioca			
Patatas			

Tabla 2. Materias primas para la producción de etanol.

(Fuente: Smith E., John, Biotecnología, España, ACRIBIA, 2006, p.101.)

Con la caña de azúcar este tratamiento es mínimo y consiste fundamentalmente en la operación normal de moler, mientras que las raíces de mandioca (que contienen un 25-38% del peso húmedo de almidón) requieren la acción de un agente hidrolítico apropiado: bien para hidrólisis ácida o bien enzimática. Las materias primas celulósicas como madera de construcción y paja requieren un pretratamiento más extenso, y esto se refleja en el aumento de energía requerida. En la Figura 9 se muestra un diagrama de flujo para la producción de etanol de diversos sustratos.

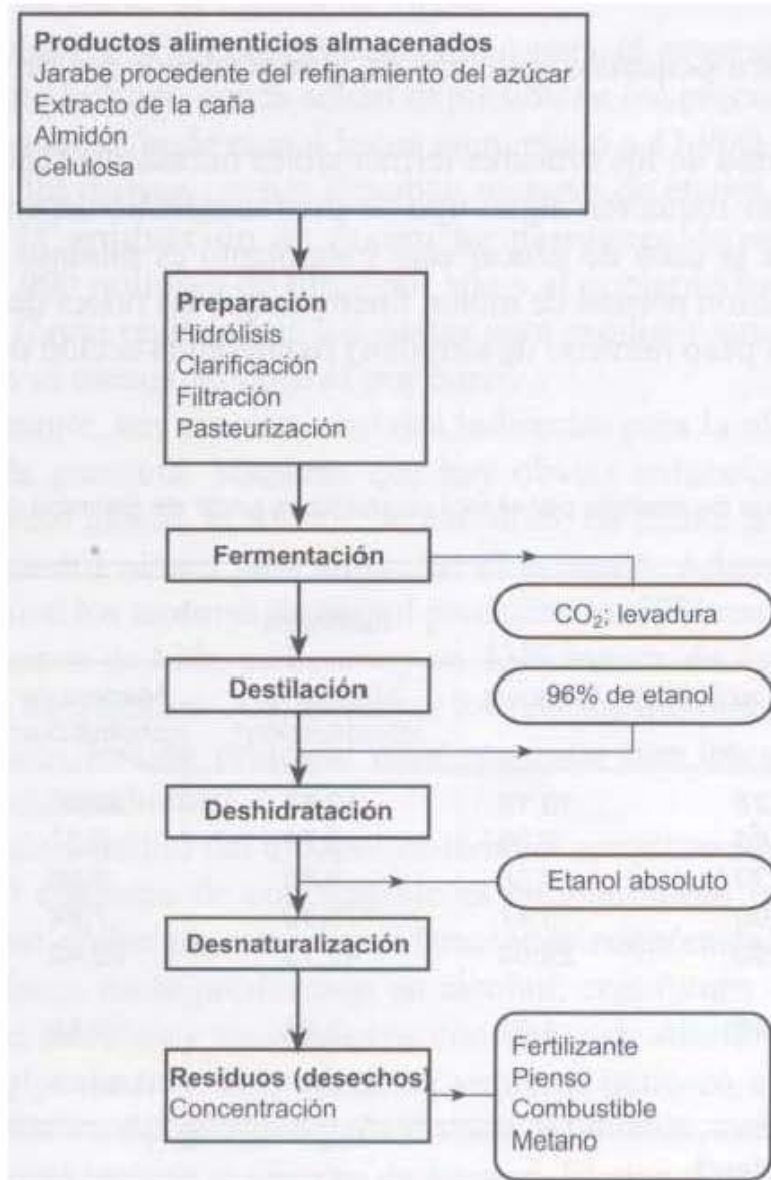


Figura 9. Diagrama de flujo para la producción de etanol.

(Fuente: Smith E., John, Biotecnología, España, ACRIBIA, 2006, p.102.)

El programa brasileño está casi exclusivamente basado en sistemas de fermentación en serie. Actualmente, los estándares de estas fermentaciones son modestos y se pueden mejorar mucho. Los métodos continuos de producción ofrecen muchas ventajas, pero son únicamente estudiados y puestos en marcha en países desarrollados con interés de producir etanol. Para mejorar las fermentaciones continuas se han utilizado diferentes métodos, incluyendo la retención de células de levadura en el

bioreactor por separación y reciclaje y mediante evaporación continua del caldo de fermentación.

La biotecnología está teniendo un efecto considerable mediante desarrollos novedosos y numerosos programas de investigación en esta área, como por ejemplo la generación de microorganismos más eficientes mediante ingeniería genética (fermentación alcohólica mejorada, resistencia a altas temperaturas y altos niveles de alcohol, velocidad de fermentación y mejores rendimientos), mediante mejora de la tecnología de reactores con enzimas inmovilizadas y por diseño de mejoras en el proceso.

La introducción de novedades tales como la fermentación en vacío parcial y el reciclaje de las células de levaduras fermentadoras aumentaron la productividad a 10 ó 12 veces la de los procesos convencionales de fermentación y dicho aumento redujo los costos y los requerimientos energéticos para la operación del fermentador. La aplicación de estas mejoras biotecnológicas a la producción de etanol hará que estos procesos sean económicamente cada vez más atractivos para sustituir al combustible fósil.

Recientemente ha habido un interés creciente en algunas partes de Europa en el uso de aceite de semillas de nabo como sustituto del diesel: biodiesel. El biodiesel se obtiene de las semillas de nabo como resultado de la reacción entre aceite y el metanol en presencia de un catalizador como el hidróxido sódico a 50°C, produciendo un éster y glicol.

Aceite de semillas de nabo + Metanol → Diéster + Glicerol

Se deja que el glicerol repose y el biodiesel se purifica y se usa como combustible. El biodiesel purificado tiene propiedades físicas y químicas

similares a las del combustible diesel y del “fuel oil” usado para calefacción. El uso del biodiesel no requiere modificaciones específicas en los motores. En primer lugar, una de las ventajas del biodiesel es que la energía almacenada es considerablemente superior que la consumida durante su producción y aumentará con la mejora (por ingeniería genética) de los cultivos de semillas de nabo. En segundo lugar, no es tóxico y biodegradable en más del 98% y su contribución al efecto invernadero es de tres a cinco veces inferior a la del diesel. Por encima de todo, es renovable.

METANO A PARTIR DE LA BIOMASA

El gas metano puede ser usado para la generación de energía mecánica, eléctrica y calorífica y es ampliamente utilizado en la actualidad como fuente de combustible para usos domésticos e industriales a través de conducciones nacionales de gas o puede ser convertido en metanol y usado como combustible para máquinas de combustión interna. Estas fuentes de gas natural se generaron originalmente a partir de la biomasa hace muchos años.

El gas metano también existe en la atmósfera y se produce principalmente a partir de la acción de microorganismos sobre tierras húmedas naturales (20%), arrozales (20%) y en la fermentación entérica de los animales (15%), contribuyendo al flujo total de metano. La ganadería doméstica es el mayor contribuyente, produciendo alrededor del 75% de las emisiones animales, mientras que los humanos producen sobre el 0.4%. Después del dióxido de carbono, el metano es considerado el siguiente gas más importante por su efecto invernadero y se estima que contribuya en un 18% al calentamiento del planeta.

La microbiología de la producción de metano es compleja, se muestra en la siguiente Figura 10, implicando mezclas de microorganismos anaerobios. En principio, la fermentación anaeróbica de mezclas orgánicas complejas se cree que se produce a través de tres fases bioquímicas principales, cada una de las cuales requiere parámetros microbiológicos específicos. La fase inicial requiere la solubilización de moléculas complejas como la celulosa, grasas y proteínas, que se producen a partir de la materia orgánica natural; los productos resultantes de esta fase, solubles, de bajo peso molecular se convierten en ácidos orgánicos. En la fase final de actividad microbiana, estos ácidos (principalmente, acético) son específicamente descompuestos por bacterias metanogénicas dando lugar a metano y CO₂.



Figura 10. Microbiología de la producción de Metano

(Fuente: Smith E., John, Biotecnología, España, ACRIBIA, 2006, p.104.)

El más eficiente y complejo sistema de producción de metano en la naturaleza es el estomago de los rumiantes. Este sistema anaeróbico aún no se ha podido reproducir íntegramente fuera de la vaca y se sabe que

consiste en una compleja interacción entre un alto número de bacterias, protozoos y hongos. Todos los programas de estudio intenso de bioreactores que se han puesto en marcha para la metanogénesis bajo condiciones controladas han demostrado que la salida consistente de gas requiere una monitorización sustancial en el laboratorio con un control altamente preciso de variables ambientales como la temperatura, pH, nivel de humedad, agitación y entrada de materia prima, así como el balance. Hasta la fecha, la mayoría de las aplicaciones prácticas de la metanogénesis han estado en un nivel tecnológico muy bajo. Existen varias posibles formas por las que el metano se puede producir en una economía organizada: a partir de la materia orgánica líquida, de los desechos de la agricultura, urbanos y en reactores de biogás.

CAPÍTULO V

PROSPECTIVA DE LA BIOTECNOLOGÍA

Como se ha visto, desde el principio de la historia, el hombre ha querido obtener más y mejores satisfactores para hacer que su vida sea placentera, es por lo que la implementación de la biotecnología representa la vía más práctica para lograrlo en todas las áreas del conocimiento ya que no sólo se circunscribe al ámbito de las ciencias biológicas como en sus inicios, sino que ha entrado, con la aparición de la nanotecnología a participar en todas las ciencias.

LA BIOTECNOLOGÍA ACTUAL

La biotecnología actual está compuesta por una variedad de técnicas derivadas de la investigación en biología celular y molecular, las cuales pueden ser utilizadas en cualquier industria que utilice microorganismos o células vegetales y animales. Esta tecnología permite la transformación de la agricultura. También tiene importancia para otras industrias basadas en el carbono, como energía, productos químicos y farmacéuticos y manejo de residuos o desechos. Tiene un enorme impacto potencial, porque la investigación en ciencias biológicas está obteniendo avances vertiginosos y los resultados no solamente afectan una amplitud de sectores sino que también facilitan enlace entre ellos. Por ejemplo, resultados exitosos en fermentaciones de desechos agrícolas, podrían afectar tanto la economía del sector energético como el de la agroindustria y adicionalmente ejercer un efecto ambiental favorable.

A modo de ejemplo, se puede mencionar que se está desarrollando en Chile un novedoso proyecto de pintura anti-incrustante (evita que se

adhiera material biológico a la superficie pintada) y no tóxica (libre de estaño y cobre), basada en los metabolitos secundarios de corales y esponjas de mar, ideal para que se invierta en él y sea aplicado en las jaulas de cultivos de ostión y salmón de la industria acuícola.¹

Los sectores más beneficiados por la biotecnología son el farmacéutico y el agropecuario. Desde 1995, el crecimiento anual de los productos biotecnológicos de la industria farmacéutica, a nivel mundial, fue del 44% para vacunas recombinantes y del 21% para drogas de uso médico, alcanzando en la actualidad un valor numérico de 284 productos. El número de empresas aumentó el 11% durante el mismo período, alcanzando la cifra de 113 firmas. Los éxitos de la aplicación de la biotecnología a la agricultura se incrementaron durante los últimos años; entre 1986 y 1994, se realizaron más de 1,300 pruebas de campo en los países industrializados y casi 120 en países en desarrollo. Nuevos productos serán lanzados próximamente al mercado. En Argentina, en 1997 se comercializó por primera vez una variedad de soya resistente a herbicidas.²

En el caso de Argentina el mercado actual de productos o servicios biotecnológicos está satisfecho, mayoritariamente por productos que provienen del exterior, aunque existen ejemplos significativos de empresas nacionales exitosas que demuestran que la aplicación de los conocimientos

¹ Fuente: página web www.bioplanet.com.

² Fuente: página web www.cecylt.gov.ar

biotecnológicos a la producción y los servicios, es una fuente potencial de buenos negocios. Los productos o servicios específicos, destinados a proveer soluciones a problemas regionales o a mercados reducidos, sólo serán provistos por desarrollos nacionales.³

El futuro biotecnológico se puede dividir de acuerdo al área de conocimiento para su fácil interpretación, así pues se puede iniciar por la agroindustria y se puede decir que: Las técnicas de biotecnología moderna permiten el desarrollo de organismos mejorados genéticamente para producir más y mejores alimentos vegetales y animales, mejores sistemas de remediación de los sistemas productivos agropecuarios, así como mejores sistemas para la detección sencilla de contaminantes biológicos (microorganismos patógenos) y algunos de sus productos (aflatoxinas), así como de contaminación por metales pesados (riego con aguas residuales y jales de mina). Siendo necesario procurar que estos beneficios de la biotecnología moderna sean compartidos con los pequeños productores y los campesinos, estableciendo programas que apoyen la transferencia efectiva de tecnologías propias o adaptadas.

En la Unión Europea ante los países en vías de desarrollo en el área agrícola se plantean las siguientes acciones y la comisión, en cooperación con los estados miembros, apoyará:

a) La redirección de la investigación nacional hacia una combinación adecuada de técnicas tradicionales y nuevas tecnologías, a partir de las prioridades señaladas por los productores agrícolas locales.

³ Fuente: página web www.cecylt.gov.ar

b) La creación de asociaciones eficaces de investigación entre organismos públicos y privados de investigación de los países en vías de desarrollo y de la UE, y de la pertinente capacidad e infraestructura de los países en vías de desarrollo para participar en tales asociaciones con arreglo a los compromisos internacionales contraídos en los convenios.

c) La creación de organismos subregionales e internacionales, en particular los centros de investigación agraria internacional del sistema de las Naciones Unidas.

En el campo de la biología, con la aplicación de la genética en la investigación y desarrollo del desciframiento de los mapas genómicos de diferentes especies se abre una aplicación en la mejora de ellas en cuanto a producción y resistencia a enfermedades. La importancia del análisis de los mapas genómicos radica en que es en este nivel en donde se detectan más cercanamente los efectos fisiológicos. El impacto de toda esta información en áreas como la salud, la agricultura, la del medio ambiente e incluso la industria será extraordinario.

Por otro lado, estas técnicas y esta información permiten cada vez más y mejor detectar, diagnosticar y clasificar eficazmente los diferentes organismos biológicos presentes en algún determinado entorno o producto, lo cual es fundamental para la sociedad.

Un problema importante para el desarrollo de una biotecnología adecuada, en particular para la industria, proviene de la limitada disponibilidad de organismos vivos o de enzimas capaces de generar los compuestos químicos que el mercado necesita.

La inversión tecnológica se ha enfocado a optimizar el rendimiento del proceso preexistente; tal es el caso de antibióticos, ácidos orgánicos y aminoácidos. Estos productos que tradicionalmente se empleaban en la industria farmacéutica, actualmente son empleados para el incremento de la producción agrícola y ganadera con mejora en la calidad de cosechas y carne y sus subproductos. Generando con esto nuevas líneas de

investigación y producción de nuevos productos de la línea de biotecnológicos agropecuarios, conformando los probióticos pecuarios, y los promotores de crecimiento no hormonales usados en agricultura.

LA BIOTECNOLOGÍA EN AMERICA DEL SUR

BioSigma, empresa Chilena, ha elaborado un plan de desarrollo tecnológico que incluye la bio-identificación de microorganismos específicos, el desarrollo de tecnologías para la producción de biomasa de dichos microorganismos y la identificación de genes específicos responsables de generar proteínas que facilitan los procesos de biolixiviación de minerales sulfurados de cobre. Se confía en que pueda ser posible la producción comercial de dichas proteínas. Todo lo anterior se enmarca en un contexto donde se requiere manejar una cantidad de información que se genera a partir de por lo menos mil genes por microorganismo. Por lo tanto, se espera que el conocimiento se pueda desarrollar y se extienda el uso de la herramienta biotecnológica en todos los ámbitos. Se pretende aplicar estos conocimientos en minería, tanto para aumentar los recursos, disminuir los costos y hacer la actividad sustentable, como para solucionar, cuando corresponde, los impactos ambientales adversos que a veces produce la actividad minera.⁴

Los productos varían desde tecnologías simples para mejorar los procesos actuales, hasta soluciones más avanzadas que tienen que ver con la clonación o el desarrollo de bacterias que aumenten la actividad.

Por sí solo, este gran acceso a la diversidad catalítica natural no es suficiente para cubrir las necesidades de la industria química moderna. Es de esperarse que, en general, para los compuestos no naturales que son, la inmensa mayoría de los que se utilizan en la actualidad y que no existan actividades enzimáticas suficientemente eficaces para su síntesis. Por esta razón continuará siendo necesario realizar cambios a los biocatalizadores utilizando diversas técnicas, entre las que destacan:

- Inmovilización y otras formas para estabilizar su actividad.
- Alteración de solventes y otras condiciones de reacción.
- Alteración de la secuencia de aminoácidos de la proteína, también llamada ingeniería de proteínas.

Los avances recientes en la investigación fundamental permiten observar un punto de quiebre en la maduración de estas tecnologías, en particular en lo que se refiere a la última, por medio del enfoque llamado evolución dirigida que permite el diseño y selección de nuevas propiedades enzimáticas en las proteínas.

⁴ Fuente: página web www.Bioplanet.com

Las técnicas modernas de ingeniería genética y biología molecular, entre otras, permiten prever el desarrollo de una nueva disciplina: la ingeniería celular, que permita el diseño y construcción de nuevos organismos vivos, en particular microorganismos y plantas, en los cuales se modifique genéticamente el metabolismo celular con el objeto de optimizar e incrementar la producción de moléculas de origen biológico. Estos nuevos organismos, con características biosintéticas al incorporar un gene o genes, provenientes de otros organismos aislados de la biodiversidad, lo que les permiten la síntesis de moléculas de interés social y comercial. De esta manera, pronto se desarrollarán nuevos procesos de producción para fabricar industrialmente muchos productos que hoy en día produce la industria química con procesos que contaminan el medio ambiente.

La ingeniería genética, proceso de transferir ADN de un organismo a otro, aporta grandes beneficios a la agricultura a través de la manipulación genética de microorganismos, plantas y animales.

Una planta modificada por ingeniería genética, que contiene ADN de una fuente externa, es un organismo transgénico. Un ejemplo de planta transgénica es el tomate que permite mantenerse durante mas tiempo en los almacenes evitando que se reblandezcan antes de ser transportados. En el mes de Enero del pasado año 2000, se llegó a un acuerdo sobre el Protocolo de la Bioseguridad. Europa y Estados Unidos acordaron establecer medidas de control al comercio de productos transgénicos.

Mas de 130 países dieron el visto bueno al acuerdo de Montreal, sin embargo, en este acuerdo existen partes con posiciones, que si no son incompatibles, sí son contradictorias en lo relativo al etiquetado y comercialización de estos productos.⁵

LA BIOTECNOLOGÍA EN EUROPA

En cuanto a recursos genéticos en la Unión Europea se plantean las responsabilidades siguientes para la cooperación con los países en vías en desarrollo:

La comisión y los Estados miembros apoyarán la conservación y utilización sostenible de los recursos genéticos en los países en vías de desarrollo y el reparto justo de los beneficios resultantes, apoyando:

a) El desarrollo y aplicación de medidas eficaces para la conservación, la utilización sostenible y el acceso a los recursos genéticos y conocimientos tradicionales, así como el reparto justo de los beneficios resultantes, incluidos los ingresos generados por la protección de la propiedad intelectual; el apoyo a las comunidades locales es vital para la conservación de los conocimientos y recursos genéticos autóctonos.

b) La participación de delegados de países en vías de desarrollo en las negociaciones de los convenios internacionales pertinentes.

⁵ Fuente: página web www.monografias.com; Mario Andrés Osorio

c) Medidas para fomentar una mayor coordinación regional de la legislación que reduzca las disparidades en cuanto a acceso, beneficios y comercio de productos derivados de los recursos genéticos, con arreglo a los compromisos internacionales.

LA BIOINFORMÁTICA

Con el incremento de conocimientos y con la gran cantidad de información se hizo necesario el crear una nueva ciencia en donde se englobaran tanto los conocimientos de la biología como también la aplicación de la informática con lo que se crea la bioinformática.

La bioinformática es una disciplina científica emergente que utiliza tecnología de la información para organizar, analizar y distribuir información biológica con la finalidad de responder preguntas complejas en biología. La bioinformática es un área de investigación multidisciplinaria, la cual puede ser ampliamente definida como la interfase entre dos ciencias: biología y computación y está impulsada por la incógnita del genoma humano y la promesa de una nueva era en la cual la investigación genómica puede ayudar dramáticamente a mejorar la condición y calidad de vida humana.

Avances en la detección y tratamiento de enfermedades y la producción de alimentos genéticamente modificados son entre otros ejemplos de los beneficios mencionados más frecuentemente. Involucra la solución de problemas complejos usando herramientas de sistemas y computación. También incluye la colección, organización, almacenamiento y recuperación de la información biológica que se encuentra en base de datos.

Según la definición del Centro Nacional para la Información Biotecnológica "National Center for Biotechnology Information" la bioinformática es un campo de la ciencia en el cual confluyen varias disciplinas tales como: biología, computación y tecnología de la información.

El fin último de este campo es facilitar el descubrimiento de nuevas ideas biológicas así como crear perspectivas globales a partir de las cuales se puedan discernir principios unificadores en biología. Al comienzo de la revolución genómica, el concepto de bioinformática se refería sólo a la creación y mantenimiento de bases de datos donde se almacena información biológica, tales como secuencias de nucleótidos y aminoácidos. El desarrollo de este tipo de bases de datos no solamente significaba el diseño de la misma sino también el desarrollo de interfaces complejas donde los investigadores pudieran acceder a los datos existentes y suministrar o revisar datos.

Luego toda esa información debía ser combinada para formar una idea lógica de las actividades celulares normales, de tal manera que los investigadores pudieran estudiar cómo estas actividades se veían alteradas en estados de una enfermedad. De allí viene el surgimiento del campo de la bioinformática y ahora el campo más popular es el análisis e interpretación de varios tipos de datos, incluyendo secuencias de nucleótidos y aminoácidos, dominios de proteínas y estructura de proteínas.

El proceso de analizar e interpretar los datos es conocido como biocomputación. Dentro de la bioinformática y la biocomputación existen otras sub-disciplinas importantes: El desarrollo e implementación de herramientas que permitan el acceso, uso y manejo de varios tipos de información.

El desarrollo de nuevos algoritmos y de información estadística con los cuales se pueda relacionar partes de un conjunto enorme de datos, como por ejemplo métodos para localizar un gen dentro de una secuencia, predecir estructura o función de proteínas y poder agrupar secuencias de proteínas en familias relacionadas.

La medicina molecular y la biotecnología constituyen dos áreas prioritarias científico tecnológicas como desarrollo e innovación tecnológica. El desarrollo en ambas áreas están estrechamente relacionadas, se pretende potenciar la investigación genómica y postgenómica así como de la bioinformática, herramienta imprescindible para el desarrollo de éstas. Debido al extraordinario avance de la genética molecular y la genómica, la medicina molecular se constituye como arma estratégica del bienestar social del futuro inmediato. También, potenciar la aplicación de las nuevas tecnologías y de los avances genéticos para el beneficio de la salud. Dentro de las actividades financiables, existen acciones estratégicas, de infraestructura, centros de competencia y grandes instalaciones científicas. En esta área, la dotación de infraestructura se plasmará en la creación y dotación de unidades de referencia tecnológica y centros de suministro común, como centros de bioinformática, que cubran las necesidades de la investigación en medicina molecular. En cuanto a centros de competencia, se crearán centros de investigación de excelencia en hospitales en los que se acercará la investigación básica a la clínica, así como centros distribuidos en red para el apoyo a la secuenciación, ADN “microarrays” y ADN “chips”, bioinformática, en coordinación con la red de centros de investigación genómica y proteómica que se proponen en el área de biotecnología. En esta área la genómica y proteómica se fundamenta como acción estratégica o instrumento básico de focalización de las actuaciones futuras.

Las tecnologías de la información jugarán un [papel](#) fundamental en la aplicación de los desarrollos tecnológicos en el campo de la genética a la práctica médica como refleja la presencia de la bioinformática médica y la telemedicina dentro de las principales líneas en patología molecular. La aplicación de los conocimientos en genética molecular y las [nuevas tecnologías](#) son necesarios para el [mantenimiento](#) de la [competitividad](#) del [sistema](#) sanitario no sólo paliativo sino preventivo. La identificación de las causas moleculares de las [enfermedades](#) junto con el desarrollo de la [industria](#) biotecnológica en general y de la farmacéutica en particular permitirán el desarrollo de mejores [métodos](#) de [diagnóstico](#), desarrollo de fármacos personalizados y una mejor medicina preventiva.⁶

A finales de los años 80, la tecnología que desembocaría en la plataforma “GeneChip” fue desarrollada por científicos, en la empresa Affymax. El [proyecto](#) original estaba destinado a la [construcción](#) de péptidos sobre “chips”, pero desembocó en la capacidad para construir secuencias de ADN sobre “chips”.

⁶ Fuente: página web www.monografias.com/trabajos14/bioinforma/.

La aplicación práctica de esta idea se llevó a cabo por [la empresa](#) Affymetrix, que comenzó a actuar como una compañía independiente en el año 1993.

Los “biochips”, por tanto, surgieron de la combinación de las técnicas microelectrónicas y el [empleo](#) de [materiales](#) biológicos. Se basan en la ultraminiaturización y paralelismo implícito y se concretan en “chips”

de material biológico de alta densidad de integración válidos para realizar distintos tipos de estudios repetitivos con muestras biológicas simples.

Si en los “microchips” empleados en los ordenadores se consigue una alta densidad de integración de circuitos electrónicos en una oblea de silicio, en los “biochips” se logra una alta densidad de integración de material genético en una oblea de silicio, cristal o plástico. Los “biochips” están divididos en pequeñas casillas que actúan cada una a modo de un tubo de ensayo en el que se produce una reacción. El número de estas casillas es muy elevado, llegando incluso a los centenares de miles.

Cada casilla del “chip” posee una cadena de un oligonucleótido, que puede corresponder a una sección del gen de estudio (cuando se conoce su secuencia) o a mutaciones del mismo. Debido a la extrema miniaturización del sistema se pueden analizar en un único chip todas las posibilidades de mutación de un gen simultáneamente. Sólo aquellos fragmentos de ADN que hibriden permanecerán unidos tras los lavados y dado que se conocen las secuencias y posiciones de los oligonucleótidos empleados, tras los lavados se produce el revelado que consiste en introducir el “chip” en un escáner óptico que va a ser capaz de localizar, mediante un proceso similar a la microscopía confocal, las cadenas marcadas con el fluorocromo. Un ordenador analiza la información procedente del escáner y ofrece el resultado. Otro tipo de diseño permite la cuantificación de la expresión de múltiples genes simultáneamente.

La potencia de estos sistemas trae consigo la obtención, en tiempos muy breves, de grandes volúmenes de información, (secuencias, mutaciones, datos de expresión génica, determinaciones analíticas de interés clínico, “screening” con fármacos) que necesitan ser gestionados

con técnicas bioinformáticas para extraer conocimiento de utilidad en la investigación biomédica.

Parece que el futuro pasa por la integración de estas nuevas técnicas en el entorno clínico haciendo posible el concepto de análisis y diagnóstico en el "point-of-care". La revista Science destaca esta tecnología como uno de los 10 avances científicos más significativos del año 1998.⁷

A las Universidades les corresponde proveer el personal capacitado para solucionar los retos biotecnológicos, es por ello que ya en algunas Universidades se han preocupado por el análisis de los estudiantes y sus inclinaciones de conocimiento biotecnológico para su buen encauzamiento.

LA BIOTECNOLOGÍA EN MÉXICO

Estamos sin duda en el siglo de la biotecnología, sin embargo, varios de sus conceptos y alcances han sido fácilmente motivo de desinformación y confusión.

⁷ Fuente: página web www.monografias.com/trabajos14/bioinforma/.

Esta revolución tecnológica seguirá ampliándose y nos obligará a tomar decisiones prácticas sobre nutrición, diagnóstico y tratamiento de enfermedades, producción de nuevas variedades agrícolas, manejo del ambiente, valorando en cada caso, los posibles beneficios y riesgos eventuales.

Hasta hace unos 15 años, todos los productos biotecnológicos se producían por organismos aislados de la naturaleza; sin embargo, a partir del descubrimiento del ADN, del cual están constituidos los genes y de la manipulación genética, la biotecnología que hace uso de microorganismos, plantas o animales manipulados genéticamente se ha convertido en una de

las industrias más rentables, prometedoras y, en ocasiones, controvertidas del mundo.

Esta última faceta de la biotecnología es probablemente la más publicitada, ya que está asociada a las poderosas técnicas que de forma genérica se llaman “ingeniería genética” y que son capaces de producir organismos denominados “transgénicos”, esto es, aquellos a los cuales se les han introducido características genéticas de otras especies. Por ejemplo, ha sido posible que bacterias produzcan hormonas que sólo producen los mamíferos (como la insulina), que mamíferos produzcan en su leche, fármacos especializados (como aquellos que se usan para tratar infartos agudos) y que plantas sintetizen su propio insecticida (el cual ha sido extraído de una bacteria), por mencionar sólo algunos ejemplos.

Por otra parte, el conocimiento cada vez mayor del genoma humano, está generando, además de un potencial casi ilimitado de posibilidades en la prevención y tratamiento de enfermedades, implicaciones de carácter ético y legal que afectarán al ciudadano común y que la sociedad en general debe de conocer y considerar.

Las aplicaciones de la biotecnología tienen una profunda influencia en múltiples y estratégicos sectores de la actividad humana, tales como la salud, la alimentación y la preservación del medio ambiente. Se prevé que la biotecnología será la revolución tecnológica de mayor envergadura para la humanidad en el siglo XXI. La biotecnología cambiará las formas en que producimos y preservamos los alimentos, cambiará la forma en que se tratarán y prevendrán las enfermedades y proporcionará nuevas formas para preservar el medio ambiente. La biotecnología cambiará también la forma en que tradicionalmente se ha visto la vida en el planeta. Una revolución de esta magnitud no está exenta de riesgos, como no lo ha estado ninguna

revolución tecnológica anterior. Sin embargo, es posible que el público sólo perciba los riesgos, ya que –en general– son los riesgos los que más atención reciben de los medios de comunicación masiva.

Los oponentes al uso de modificaciones genéticas argumentan que transferir genes de una especie a otra no es "natural". Generalmente olvidan que es perfectamente natural morir de una enfermedad como la viruela, pero no es natural (y contribuye a disminuir la biodiversidad del planeta) tratar de erradicar el virus que la causa. Se vive en un mundo altamente manipulado y, en algún sentido, "no natural". Nuestra agricultura está dirigida y, estrictamente hablando, "artificial" (como "artificial" es el maíz que generaron como especie nueva los pueblos prehispánicos). Todos los métodos en los que interviene el hombre para mejorar los cultivos son, en alguna medida, "artificiales": se construyen plantas con características especiales con el fin de producir cultivos que permitan suplir las necesidades siempre crecientes de personas y animales. La salud humana es también altamente manipulada: inyectamos a nuestros hijos con virus atenuados para inmunizarlos, tratamos infecciones bacterianas con antibióticos, transferimos sangre y órganos de una persona a otra e implantamos dispositivos electrónicos para preservar la vida.

Desde luego que hay riesgos inherentes en cualquier aplicación tecnológica, particularmente en una tan poderosa como lo es la biotecnología actual. Sin embargo, la única forma de conocer y evaluar los riesgos es mediante el conocimiento generado con investigación científica. Afortunadamente, en México, el nivel científico en biotecnología es alto y contamos con científicos de primera línea en el área de la biotecnología moderna. De hecho, dos investigadores mexicanos formaron parte de los grupos que reportaron exitosamente –por primera vez a nivel mundial– la

construcción de bacterias y plantas transgénicas. Se trata de los doctores Francisco Bolívar (de la UNAM) y Luis Herrera Estrella (del Cinvestav).

En el país se cuenta con varias instituciones de investigación de excelencia que trabajan temas de biotecnología. Más de 300 investigadores en México se dedican de tiempo completo a estudiar diversos aspectos de la biotecnología. Existen varios posgrados de excelencia en los que se preparan a los nuevos biotecnólogos. Sin contar a las múltiples empresas dedicadas a producir bebidas alcohólicas y derivados lácteos, en el país existen más de 70 empresas biotecnológicas que producen la mayor parte de los más de 100 productos netamente biotecnológicos que se encuentran en el mercado mexicano. También hay empresas con capacidad tecnológica importante y que han puesto en el mercado fármacos producidos enteramente en México por técnicas de ingeniería genética. Un sector particularmente dinámico de empresas que usan técnicas biotecnológicas lo constituyen aquéllas dedicadas al tratamiento de aguas y gases residuales y a la micro propagación de especies vegetales.

Indicadores de la elevada actividad biotecnológica que se desarrolla en México, son los congresos que organiza –desde 1983– la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A.C., la organización más importante en su ramo en México y probablemente única en Latinoamérica. En estos congresos, en los últimos 6 años, el número de trabajos presentados se cuadruplicó. En 1993 se presentaron 162 trabajos y en el congreso del 2000 se presentaron más de 600. Sin duda, estos congresos se han convertido en el foro más importante de la biotecnología en el país. Esta sociedad profesional, que agrupa a cerca de 1000 asociados (40 por ciento de los cuales son estudiantes) tiene varias actividades, incluyendo la publicación de libros y de la revista de divulgación y análisis *BioTecnología*, premios para distinguir a biotecnólogos jóvenes que han

hecho su carrera en México y la organización de conferencias, foros y cursos, tanto a nivel nacional como en sus nueve delegaciones regionales.

La biotecnología revolucionará el siglo que se inicia. En México hay capacidad científica y tecnológica para capitalizar las numerosas ventajas que esta tecnología ofrece, así como para medir y manejar cuidadosamente los posibles riesgos inherentes a ella. El ciudadano común será afectado por la biotecnología y tiene derecho a estar informado con la mayor de las objetividades.⁸

⁸ Fuente: página web www.cddhcu.gov.mx (Biotecnología: una antigua y moderna aliada del hombre, Dr. Enrique Galindo).

La biotecnología en México de acuerdo al campo de aplicación se divide por sector y campos de actividad:

SECTOR	CAMPO DE ACTIVIDAD
Químico	Etanol, acetona, butanol, ácido orgánico (málico, cítrico, glutámico), enzimas, biopolímeros
Farmacéutico	Antibióticos, agentes de diagnóstico (anticuerpos, enzimas), inhibidores de enzimas, esteroides, vacunas.
Energético	Etanol, metano, (biogás), biomasa.
Alimentario	Cultivos iniciadores, bebidas (alcohólicas) levadura de panificación, aditivos (antioxidantes, colorantes, sabores), aminoácidos y vitaminas, modificación funcional de proteínas, almidones y pectinas; eliminación de toxinas.

Agrícola	Vacunas veterinarias, ensilaje y compostas, plaguicidas microbiales, rizobios y otros fijadores de nitrógeno, micorrizas, cultivo de tejidos y células, hormonas vegetales (ácido giberélico).
Minero	Beneficio de metales, biolixiviación, recuperación de petróleo.
Servicio	Purificación de aguas, tratamiento de efluentes, manejo y uso de desechos.

Tabla 1. Fuente: Elaboración propia.

En la investigación biotecnológica que se realiza en México, se puede tener tanto la que realizan las universidades, centros de investigación gubernamentales o bien la iniciativa privada así por ejemplo podemos citar: al Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), donde una de sus áreas sustantivas es La Unidad de Biotecnología (UBT).

La Unidad de Biotecnología (UBT) tiene como misión el realizar investigación básica y aplicada, desarrollos tecnológicos, así como formar recursos humanos en el área de la Biotecnología Vegetal y se han conformado líneas de investigación bien definidas: morfogénesis *in vitro* y micro propagación, mejoramiento genético por métodos biotecnológicos, estudios básicos en plantas obtenidas biotecnológicamente y estudios para la obtención de metabolitos bioactivos. Estas líneas convergen en cinco grupos de investigación. Dos de ellos henequén y cocotero, están asociados actualmente con programas de investigación establecidos. Otro más, plátano, está asociado con un programa emergente.

El cuarto grupo tiene como temática la fisiología de vitroplantas. El quinto grupo es el de química y tiene como temática la bioprospección de metabolitos bioactivos. El trabajo de investigación en la UBT está basado conceptualmente en las líneas, sin embargo el esquema práctico de trabajo de la UBT está basado en estos cinco grupos más que en las líneas de investigación. La operación a través de grupos con objetivos comunes permite identificar más fácilmente las necesidades (por ejemplo de personal e infraestructura) y poder atenderlas, así como las fortalezas para ser promovidas.

De esta forma el esfuerzo de la UBT está dirigido hacia fortalecer a estos grupos, principalmente para integrarles a esquemas de colaboración interinstitucional internacional asociados a programas globales de investigación.⁹

Actualmente, en México, se llevan a cabo investigaciones para lograr desarrollar, a partir de cordones umbilicales y placenta, pulmones, riñones o hígados para quien los necesita. El lugar donde se desarrollan estos proyectos es Probiomed, empresa 100 por ciento mexicana, pionera en biotecnología, que obtuvo el Premio Nacional de Tecnología 1999.

"El principal problema que siempre hemos enfrentado es la falta de confianza, ya que ha sido muy difícil convencer, tanto a las autoridades como al cuerpo médico, sobre lo que se está desarrollando en Probiomed", dice Manuel Algara, subdirector corporativo de la compañía.

Esta empresa forma parte de lo que se considera la nueva ola de producción en el presente siglo: la biotecnología, es decir, el desarrollo de productos orgánicos creados a partir de la genética y la biología molecular.

Otro punto importante es que la empresa tiene un vínculo estrecho con la comunidad científica en México.

De hecho, buena parte de la tecnología desarrollada por la firma se ha logrado con la colaboración de institutos y universidades mexicanas.¹⁰

⁹ Fuente: página web www.inifap.gob.mx

¹⁰ Fuente: página web www.entrepreneur.com.mx (Negocios y Biotecnología, Víctor Hugo Salas, Junio 2000)

En el campo de la agricultura, la segunda generación de transgénicos, la cual estará disponible en los próximos cinco años, incluirá un repertorio más amplio de cultivos (tanto básicos como secundarios) y la introducción de caracteres asociado a la calidad y valor nutricional.

Además existe un gran interés en utilizar plantas de cultivo para producir compuestos de valor terapéutico e industrial, tales como vacunas en papas y plásticos biodegradables en maíz.

La mejora continua en las tecnologías de marcadores moleculares logrará que el mejoramiento asistido por marcadores sea más económico y efectivo, y por consiguiente se podrá utilizar con un espectro más amplio de

especies; sin embargo, sería un error pensar que el uso de marcadores moleculares es obligatorio para poder alcanzar cualquier objetivo de mejoramiento genético.

Para lograr que la ingeniería genética logre convertirse en una herramienta efectiva, eficiente y confiable para el fitomejorador, en los próximos años la investigación deberá resolver necesidades asociadas con: la identificación de nuevas secuencias promotoras y estimuladoras de la expresión génica; el desarrollo de genes marcadores que no estén basados en la resistencia a antibióticos; el desarrollo de nuevos vectores o de fácil eliminación en las variedades comerciales; localización de fuentes de genes de resistencia y calidad del producto, y efecto del ambiente en la expresión de transgenes, así como su estabilidad.

Además, y aún más importante, se deberá evaluar el uso de la biotecnología al menos en cuanto a: riesgos para la salud humana; riesgos ambientales y ecológicos e impacto socioeconómico; el establecimiento de un sistema regulador confiable de los productos biotecnológicos; implicaciones éticas y propiedad intelectual.¹¹

LAS MATERIAS PRIMAS Y EL FUTURO DE LA BIOTECNOLOGÍA

Los criterios más importantes a la hora de seleccionar una materia prima para un proceso biotecnológico son: precio, disponibilidad, composición, forma y estado de oxidación de la fuente de carbono. En la actualidad, los más usados y de mayor valor comercial son la fécula del maíz, el metanol, la melaza y el azúcar en bruto. Los cultivos de cereales, en particular de maíz, arroz y trigo, se vislumbran con toda seguridad como las principales materias primas a corto y mediano plazo para los procesos biotecnológicos. Se cree, además, que este uso se puede alcanzar sin alterar demasiado los suministros alimentarios animales y humanos.

A largo plazo la biotecnología deberá ser capaz de aprovechar los componentes de la celulosa y la lignocelulosa como combustibles o materia prima pero, por el momento las dificultades tecnológicas son insalvables.

La complejidad química de estas moléculas es legendaria y su fragmentación en moléculas primarias económicamente útiles resulta más complicada aún de lo que se esperaba.

¹¹ Fuente: Revista de riego, Salinas G. Gilberto E. La biotecnología en el mejoramiento e solanáceas, Agosto 2006.

Para saber qué éxito tendrá la biomasa como materia prima crucial para la biotecnología, un informe de la organización para la cooperación y el desarrollo económico (OCDE, 1992) estableció los factores que determinarán la competitividad de los productos derivados naturales (biomasa) y sintéticos (biomasa fósil):

1. El precio relativo de las materias primas básicas.
2. La calidad, variabilidad y regularidad del suministro; y la seguridad de las materias primas.
3. El costo relativo de la conversión de los materiales con base química en comparación con los provenientes de productos agrícolas.
4. La demanda del mercado de lo natural en comparación con los productos sintéticos y la creciente demanda de productos biodegradables.

La biotecnología brinda para el futuro una transformación radical del sistema de salud, una industria limpia y el abasto energético. En efecto, amplias posibilidades, pero también cuestionamientos científicos, sociales y éticos.

Las secuencias genéticas más que ser un fin por sí mismas serán el comienzo del estudio científico para poner la información en contexto con respecto al significado biológico en el organismo. Muchos biólogos moleculares han postulado que el análisis de secuencia genético o de ADN de un individuo podría ser predictivo de la ocurrencia futura de enfermedad, por ejemplo, enfermedades cardiovasculares, cáncer y Alzheimer.

La aplicación de la tecnología de ingeniería genética a las ciencias de la vida es una realidad actual. Las futuras mejoras en los campos de genómica y proteómica permitirán una mejor comprensión de la biología de las moléculas, células y de los organismos enteros. Médicos y pacientes serán los grandes beneficiarios del desarrollo de tales estudios. Se aprenderá mucho sobre la individualidad humana y de cómo estos procesos influirán en la salud individual y la susceptibilidad a la enfermedad. Las nuevas aplicaciones de la biotecnología, como los animales y plantas transgénicos y proteínas y vacunas recombinantes, traerán un gran número de beneficios a la raza humana, no sin generar ciertas reticencias en algunos sectores de población. En general, los biotecnólogos deben facilitar una comunicación sencilla con la población. Los problemas éticos y morales suscitados por alguno de los aspectos de la nueva biotecnología deben ser dirigidos por una discusión abierta y continuada y una información detallada.

En la práctica, la mayoría de los productos que se derivarán de la biotecnología serán extensiones reconocibles de los existentes o tendrán una base de mejora en la producción. Las pequeñas mejoras en los procesos por la aplicación de estas tecnologías nuevas no serán muy destacables pero

ayudarán a las compañías productoras a aumentar su competitividad. La historia de la biotecnología muestra que debe haber una estrecha relación entre la universidad y la industria para mantener el esfuerzo creativo en la generación de nuevos productos y para expandir los campos de aplicación, la productividad y los beneficios sociales, a partir de la formación de recursos humanos.

Resulta también fundamental promover compromisos internacionales, pues el libre comercio y las grandes diferencias económicas entre los países dificultan un desarrollo biotecnológico sano. La tecnología de manipulación genética, combinada con la estructura económica del capitalismo moderno y las leyes del mercado, podría ocasionar una miopía trágica.

Las demandas y retos que enfrenta la sociedad para proveer de alimentos, salud y servicios a una población creciente en el país son mayúsculos y requieren el mejor esfuerzo y compromiso concentrado de todos los sectores y actores para resolverlos. Es indispensable que las acciones que se contemplen para resolverlos incluyan el respeto y la sustentabilidad del medio ambiente y de la biodiversidad mexicana. La biotecnología moderna ha tenido ya un efecto profundo en el sector de la salud y empieza a tenerlo en el sector agrícola y en la industria de alimentos; sin embargo, el impacto de la nueva tecnología biológica en el sector industrial, en particular el químico, y en el sector del medio ambiente, ha sido muy escaso. Para que ésta se transforme en una industria respetuosa del medio ambiente, por medio del desarrollo y la utilización de tecnología biológica que no contamine, en la producción de lo que hoy llamamos productos químicos y que en un futuro muchos serán productos bioquímicos, tales como los plásticos biodegradables y los biocombustibles como el etanol. Por otro lado, es de esperarse también un mayor esfuerzo

de la industria química, sobre todo de la industria petrolera, para invertir mayores recursos en el desarrollo de sistemas de monitoreo y remediación de nichos contaminados con derivados de petróleo y plaguicidas.

CONCLUSIONES

La biotecnología ya ha demostrado ser un conjunto de tecnologías de gran capacidad que están siendo aplicadas de forma creciente en muchos de los aspectos de la sociedad moderna. La utilización de procesos biológicos, como la fermentación que produce la cerveza y el vino, es muy antigua, el uso de los sistemas biológicos, especialmente microorganismos, en industrias tales como la cervecera, vitivinícola y de producción de quesos fue realizada primeramente de una manera totalmente empírica, siendo vistas las mejoras introducidas en estos procesos más como un arte que como una ciencia. Estos procesos biotecnológicos antiguos han sido sometidos a un estudio y análisis científico riguroso y exhaustivo, lo cual ha posibilitado el reemplazo del empirismo tradicional.

Un conocimiento apropiado de la selección de cepas microbianas, la genética y la biología molecular, conjuntamente con la mejora en la tecnología de los procesos biológicos, han producido grandes avances en todas las industrias de biotecnología tradicional y continuarán mejorando la calidad y seguridad de dichos procesos así como la efectividad en costos, ahora la concepción de la biotecnología es muy moderna.

Una característica principal de los nuevos avances biotecnológicos deriva del mejor conocimiento de los mecanismos biológicos y de cómo éstos transformarán con el tiempo la vida humana y darán un conocimiento más profundo de la agricultura, la acuicultura, el medio forestal y el medio ambiente biológico. La capacidad para seleccionar y manejar el material genético intra o inter especies ha permitido la oportunidad sin precedentes de alterar las formas de vida para el beneficio de la sociedad. La

secuenciación con éxito del genoma humano y de otras especies es el comienzo de un nuevo periodo científico de descubrimientos.

La tecnología del ADN recombinante de cultivos de células de mamíferos ha producido muchas proteínas recombinantes, como la insulina y vacunas, que están produciendo un beneficio médico considerable en el tratamiento de muchas enfermedades humanas. Indudablemente, la investigación y desarrollo de aplicaciones en esta área seguirá adelante.

La ingeniería genética en plantas no comenzó hasta prácticamente los primeros años de la década de los ochenta con el desarrollo de los plásmidos Ti de *Agrobacterium tumefaciens*, que ha permitido la introducción de construcciones genéticas sencillas en la mayoría de plantas de importancia agraria. Estos procesos ahora son relativamente rutinarios y los cambios introducidos en las distintas especies de plantas han sido tan ligeros que se requerirán ensayos bioquímicos altamente sofisticados para distinguir las variedades modificadas genéticamente de sus predecesoras. A pesar de la elevada y creciente evidencia de que la aplicación de la ingeniería genética en plantas es segura y que en su desarrollo siempre se han utilizado métodos responsables y seguros, ha habido un pequeño aunque bien organizado grupo de oposición a ésta.

La aplicación de cualquier nueva tecnología choca a menudo con el juicio erróneo y la malinterpretación de la opinión científica por parte del público. Ninguna tecnología está libre de riesgo y en nuestra desarrollada sociedad actual, la perfección es ahora lo esperado.

Las historias de miedo generan más interés público que los hechos reales. Además, siendo una crítica a los sistemas educativos actuales, la mayoría de la población ignora incluso los hechos biológicos más sencillos

y naturalmente encuentra la complejidad de la ingeniería genética desconcertante.

Si bien existe hoy en día un amplio conocimiento y experiencia en procesos biológicos y de ingeniería química esperando ser utilizados en procesos biotecnológicos productivos, su tasa de aplicación estará determinada, más que por cuestiones de tipo científico o tecnológico, por otro tipo de factores no menos importantes, tales como las políticas de inversión industrial, el establecimiento de necesidades de mercado y la economía de las capacidades de “marketing” necesarias para introducir nuevos productos en el mercado y por encima de todo, en cómo el público percibirá este nuevo grupo de tecnologías y productos innovadores.

La biotecnología jugará un papel fundamental en la búsqueda de soluciones para los muchos problemas que afectarán a la sociedad del mañana, de salud, de suministro alimentario y medios ambientes biológicos seguros. La investigación científica será clave para conseguir dichos logros. Sin embargo todavía falta mucho por hacer.

La biotecnología como cualquier disciplina científica puede ponerse al servicio de la humanidad o usarse en su contra. Las técnicas biológicas se extienden, como se ha visto, a numerosos campos relacionados con la medicina, la producción de alimentos, la de materiales específicos para equipo de investigación e industrial, la biología, pero también la del derecho y la ética. Si biotecnología es, en un amplio sentido, el aprovechamiento de los organismos vivos para hacerlos producir lo que deseamos, la fecundación *in vitro* es también un proceso biotecnológico. Distintas culturas, distintas visiones, distintas leyes. Pero lo que nos interesa ahora es destacar de qué forma la ciencia y la tecnología modifican

con su repercusión las relaciones humanas, las sociedades y la cultura. Hasta 1950 se necesitaban treinta y siete etapas para sintetizar la cortisona, en la actualidad sólo son once, habiéndose abatido los costos de producción. En otras palabras, las bioconversiones y la ingeniería de la fermentación han permitido dominar el tiempo de producción de sustancias importantes en el área de la salud.

Sin embargo, aún no se han resuelto en todos los campos los problemas técnicos que abatirán definitivamente los costos de producción biotecnológica.

El traslado del modelo piloto de laboratorio a la industria plantea dificultades tanto en los aparatos de fermentación, como en el aislamiento y purificación del producto. Aquí cobra importancia el apoyo de la informática en la producción de modelos, la optimización del tiempo, procesamiento de datos y archivo. Pero también la ingeniería química en el diseño de equipo, optimización de procesos y el cuidado del medio ambiente.

El desarrollo sustentable es hoy en día una prioridad mundial, y la biotecnología desempeña un papel central para alcanzarlo, sobre todo en la producción de alimentos, energía y recursos renovables, así como en la prevención de la contaminación.

Si de algo ha adquirido conciencia la humanidad, en particular las nuevas generaciones, es de la íntima relación entre las diferentes formas de vida del planeta y de la necesidad de reciprocidad entre ellas para subsistir. En ese contexto, es evidente que el extraordinario avance científico y

tecnológico registrado en el último siglo ha sido paralelo a un profundo daño causado al medio ambiente y a los ecosistemas. Surge así, la necesidad de cambios profundos en nuestras actividades para armonizar el crecimiento económico con el cuidado del entorno e incluir en nuestros paradigmas los que se comprometen a respetar el medio ambiente.

Hay un delicado balance entre nosotros y nuestro medio; al margen de los aspectos filosóficos que esto implica, el conocimiento sobre nuestro origen biológico, la evolución de la célula, el papel del oxígeno, el agua, el aire, la energía y la materia, contribuye a cobrar conciencia de nuestro papel como especie pensante en el planeta. Pero no sólo eso. Ese conocimiento también resulta fundamental para transformar los procesos en que se fundamenta la actividad económica, y debe tener como objetivo la conservación de los frágiles equilibrios que sustentan la vida, y con ello, la eliminación del riesgo de afectar a las generaciones que nos siguen. Esto implica adjudicar valor universal a una racional y respetuosa relación con el ambiente.

Nos enfrentamos a gigantescos retos: proveer alimentos en cantidad y calidad suficiente a la población y atenuar el efecto negativo de los sistemas agrícolas tradicionales. Es preciso resolver igualmente el problema de los residuos industriales y urbanos, pues hemos alterado el balance de los ecosistemas al llevarlos más allá de su capacidad de respuesta. Necesitamos asegurar la cantidad y la calidad del agua para la vida en el planeta. Sin agua no hay vida de ninguna especie y hemos afectado su ciclo natural. El oxígeno es otro elemento central del equilibrio: se requiere sustituir tecnologías que contaminan el aire y, sobre todo que inducen el efecto invernadero; al reforestar, contribuimos a restablecer el balance y conservar las especies.

Debemos desarrollar fuentes renovables de energía y aplicarlas de manera eficiente y racional; mejorar la calidad de vida de la población, particularmente en el terreno de la salud, mediante la creación de medicamentos, vacunas y tratamientos eficaces contra las plagas de la sociedad moderna como el SIDA y el cáncer, las enfermedades neurodegenerativas y otros males tan antiguos como la tuberculosis o la malaria.

La biotecnología desempeña ya un papel medular en los retos que enfrenta la humanidad, no sólo en el terreno de la alimentación sino también en el de la adaptación y desarrollo de tecnología limpia caracterizada por no ocasionar un daño al medio ambiente; ello incluye energías renovables, productos químicos inocuos para el medio que sustituyan a otros que resultan nocivos y métodos adecuados de monitoreo y control de contaminantes.

El número de entusiastas partidarios de la biotecnología crece paralelamente al de detractores que ven en ella riesgos para el hombre, la sociedad y el medio ambiente. Por otro lado, la desinformación, el abuso, la desconfianza y el miedo impiden con frecuencia la discusión racional de los principios generales que permitan aprovechar los avances del conocimiento sin poner en peligro el bienestar de la humanidad. En algunos casos los principios deben ir mucho más allá de simples convenios, leyes y mecanismos de regulación, pues tocan el terreno del comportamiento humano, de los valores y la ética. La gente debe estar bien informada y debe hacerse pública la posición del gobierno, la academia y la industria ante casos como la eventual manipulación genética de humanos o la creación de estereotipos de moda en el aspecto físico o intelectual. Este tipo de investigación no sólo atenta contra nuestras convicciones naturales, sino

que se halla explícitamente prohibida. La complejidad del ser humano es quizá su mejor protección, pues a nadie escapa que somos mucho más que 23 pares de cromosomas.

En cuanto a la experimentación con animales, si bien ha sido una práctica de la ciencia desde sus orígenes, hoy como nunca se cobra conciencia de su sufrimiento y se crean leyes de protección para evitarlo, así como comités y organismos que supervisan la investigación y obligan a justificar el empleo de animales en ella. Construir, reproducir y explotar animales transgénicos son actividades vigiladas por estas agrupaciones.

Pero es evidente que cada avance trae como consecuencia nuevas responsabilidades y amenazas. Constantemente, como individuos y sociedad, tomamos decisiones basadas en el balance de los riesgos y los beneficios, y si bien estos últimos pueden ser evidentes, no sucede lo mismo con los peligros, por lo que todos los aspectos de un proceso o de una tecnología relacionados con la bioseguridad deben analizarse y ponderarse de manera prioritaria. La experiencia de muchos años de la biotecnología tradicional y del mejoramiento genético debe servir de base para evitar que plantas o microorganismos transgénicos generen problemas a la salud o al medio ambiente, y podrá aprovechar siempre la sabiduría relativa a la interacción de los ecosistemas e impedir la pérdida de la biodiversidad. Con tal fin, se adoptaran todas las medidas que resulten recomendables en el contexto de la ética y la bioseguridad. La propia comunidad científica se ha encargado de someter a discusión los factores de riesgo; toca a la sociedad en su conjunto tomar las decisiones consecuentes.

México es una de las regiones con mayor diversidad biológica del planeta. Existen en su territorio especies de animales, plantas y microorganismos que no se encuentran en ninguna otra parte. Esta es una

gran riqueza, de mayor potencial que el petróleo, que es un recurso no renovable y si la utilizamos de manera inteligente, respetuosa y sustentable, podemos apoyarnos en ella de manera indefinida para no sólo resolver muchos de los importantes problemas y las demandas actuales de la nación, sino también para convertir a nuestro país en uno de los líderes mundiales, por su capacidad de crear y exportar tecnología biológica y productos terminados de alto valor agregado de origen biológico, así como también por su capacidad de formar recursos humanos.

Esta tesis surgió para dar a conocer la importancia y las posibles áreas de mejora en el tema de la biotecnología, para poder ofrecer a los jóvenes mexicanos una carrera de ingeniería con los más altos estándares internacionales. Por esta razón fue importante trabajar y desarrollar el tema de la Biotecnología y la Ingeniería Química. Es importante y resulta fundamental orientar la vocación de los ingenieros químicos hacia el conocimiento biotecnológico, de tal forma, el objetivo de esta tesis fue presentar al estudiante de la carrera de Ingeniería Química y al Ingeniero Químico en activo, un panorama general de la biotecnología.

RECOMENDACIONES

Consolidar y articular las instituciones y sus dependencias que trabajan en biotecnología en diferentes regiones del país. Invertir más para formar un mayor número de egresados en la carrera de ingeniería química especializados en biotecnología que permitan ampliar las fronteras del conocimiento para la solución de problemas relevantes y para crear una infraestructura competitiva en el ámbito internacional. Proporcionar al

egresado un conjunto de conocimientos básicos generales en el área de biotecnología. Promover que las instituciones trabajen de manera coordinada en áreas estratégicas y en las tendencias principales de los diferentes sectores. Invertir en la creación de nuevos centros e institutos de investigación, con financiamiento y normatividad que garanticen su viabilidad, que den a los participantes la oportunidad de organizarse. Estimular y fomentar la participación del sector productivo y de los inversionistas mexicanos en el desarrollo de nueva industria moderna en biotecnología. Es necesario estimular la vinculación del sector académico con el industrial y propiciar la formación de nuevas industrias por los propios académicos mexicanos. Analizar las estrategias exitosas de otros países, particularmente los más semejantes al nuestro. Desarrollar un marco jurídico avanzado e instancias adecuadas para el desarrollo de la biotecnología. Profesionalizar la discusión, la comunicación y el análisis sobre bioseguridad, bioética y bioprospección por parte de la sociedad mexicana y promover la utilización de la biotecnología para la solución de problemas reales. Incorporar en los planes de estudio de la carrera de Ingeniería Química asignaturas relativas a la enseñanza de la Biotecnología, en forma de paquetes optativos, que permitan obtener una orientación definida en este campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias Ortiz, Carlos F., Elena Arriaga Arellano, Hugo A. Barrera Saldaña, Francisco G. Bolívar Zapata, Pedro Bosch Guha, Jorge Espinosa Fernández, Enrique Galindo Fentanes, Amanda Gálvez Mariscal, Adolfo Gracia Gasca, Luis Herrera Estrella, Alfonso Larqué Saavedra, Agustín López-Munguía Canales, Onofre Muñoz Hernández, Adalberto Noyola Robles, Roberto Ortega Lomelín, Rodolfo Quintero Ramírez, Octavio Tonatiuh Ramírez Reivich, Sergio Revah Moiseev, José Antonio Serrato Hernández, Jorge Soberón Mainero, Francisco Xavier Soberón Mainero, *Biología moderna para el desarrollo de México en el siglo XXI: Retos y oportunidades*, 1ª. ed., México, (Conacyt / FCE), 2002.
- Bolívar Zapata, Francisco G., Conferencia, *Genómica y Biotecnología*, Facultad de Química, UNAM, miércoles 19 de abril, 2006.
- Cadena Hernández, Ramón, Tesis, *El cometido del ingeniero químico y las operaciones unitarias en la biotecnología*, UNAM, 1991.
- Falcó Fernández de Córdova, Carlos, *Entender de vino*, España, mr ediciones, 2004.
- García Fernández, Horacio, *Biología: la lámpara de Aladino*, 5ª. reimpresión, México, ADN Editores, S.A. de C.V., 2002.
- Garin Silva, Eugenia, Tesis: *Análisis de la evolución profesional de los alumnos de ingeniería química generación 1988.*, México, D.F., UNAM, Facultad de Química, 2003.
- Kraus, Arnoldo y Antonio R. Cabral, , *La bioética*, 1ª. Ed., México, Consejo Nacional para La Cultura Y las Artes, 1999.

- Lombera Martínez, Juan Carlos, *Tesis: Análisis de los planes de estudio de la carrera de ingeniería química*, México, D.F., UNAM, Facultad de Química, 2002.
- López Munguía C., Agustín, *La biotecnología*, 1ª. ed., México, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, 2000.
- López Ruiz, Miguel, *Normas técnicas y de estilo para el trabajo académico*, 4ª. Ed., México, U NAM, 2003.
- Salinas G., Gilberto E., *La biotecnología en el mejoramiento e solanáceas*, Revista de riego, Agosto 2006.
- Smith, John E., *Biotecnología*, 4ª. ed., España, Editorial Acribia, S.A., 2004.
- Valiente, Antonio y Primo S., Rudi, *El ingeniero Químico, Qué hace?*. Ed. Alhambra Mexicana, México, 1985.
- Walker, Richard, *Genes y ADN*, 1ª. Ed., México, Santillana Ediciones Generales S.A. de C.V., 2003.

Paginas web consultadas

- www.inifap.gob.mx
- www.entrepreneur.com.mx (Salas, Víctor Hugo, *Negocios y Biotecnología*, Junio 2000).
- www.cddhcu.gov.mx (Dr. Galindo, Enrique, *Biotecnología: una antigua y moderna aliada del hombre*).
- www.monografias.com/trabajos14/bioinforma/.
- www.monografias.com; Osorio, Mario Andrés.

- www.bioplanet.com
- www.cecyl.gov.ar
- www.grupomodelo.com