

112
24.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

BIOMASA PARA LA PRODUCCION DE
COMBUSTIBLES Y COMPUESTOS ORGANICOS POR
METODOS QUIMICOS Y ELECTROQUIMICOS

TRABAJO MONOGRAFICO DE
ACTUALIZACION
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
FRANCISCO NUÑEZ ALCANTARA



MEXICO, D. F.

1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

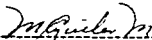
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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. Saloma Terrazas Miguel
Vocal:	Prof. Aguilar Martinez Martha
Secretario:	Prof. Torres Barrera Rodolfo
1er. suplente	Prof. Ramirez Burgos Landy Irene
2do. suplente	Prof. Barcena Ibarra Vicente Agustin


Este trabajo se desarrollo en el departamento de fisicoquimica, edificio E. Laboratorio de Electroquimica 110 y biblioteca de Posgrado de la Fac. de Química UNAM.

Asesor del tema:



Dra. Martha Aguilar Martinez

Sustentante:



Francisco Nuñez Alcántara

AGRADECIMIENTOS:

A DIOS

PORQUE ME DIO SABIDURIA Y ENTENDIMIENTO PARA ESCOGER EL CAMINO QUE ME HA LLEVADO A OBTENER ESTE TITULO PARA PODER SALIR ADELANTE.

A LA U.N.A.M

POR ABRIRME SUS PUERTAS Y HABERME DADO LA OPORTUNIDAD DE FORJARME UN FUTURO, LA CUAL RECORDARE POR SIEMPRE POR HABER SIDO EL MEDIO DE ESTE LOGRO TAN IMPORTANTE EN MI VIDA.

A MIS PADRES

POR DARME EL BELLO DON DE LA VIDA Y HABERME APOYADO SIEMPRE EN MIS ESTUDIOS Y A LOS CUALES LES DEBO ESTE LOGRO.

A LA DOCTORA MARTHA AGUILAR

POR HABERME ALENTADO SIEMPRE A SEGUIR Y NO DEJAR EN SEGUNDO TERMINO EL PROYECTO DE TESIS (TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION) CON EL CUAL AHORA ME RECIBO COMO INGENIERO QUIMICO.

A NUESTROS MAESTROS

**POR HABERME COMPARTIDO SUS CONOCIMIENTOS Y POR LA GRAN LABOR
QUE REALIZAN DENTRO DE LA UNAM. FORMANDO PROFESIONISTAS.**

A MIS HERMANOS

CARMELA. DELIA. ROSIO. GLORIA. BEATRIZ .

A MIS AMIGOS, AMIGAS

**RIOS MIGUEL ANGEL. SERGIO CAMACHO. DAVID MORALES. CESAR DURAN.
JOSE LUIS CRUZ. EDGAR. TOÑO. AMARILLAS. SIMON. CHAVANIER. CLAUDIA.
YOLANDA.**

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
1 ANTECEDENTES	5
2 DEFINICIÓN DE BIOMASA	11
3 FUENTES DE BIOMASA	14
3.1 BASURAS ORGÁNICAS	17
3.2 CULTIVOS DE BIOMASA	18
3.2.1 Cultivos en tierra	18
3.2.2 Cultivos acuáticos	23
4 COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA BIOMASA	26
4.1 COMPOSICIÓN	26
4.1.1 Carbohidratos	29
4.1.2 Ligninas	33
4.1.3 Ácidos grasos	35
4.2 CARACTERÍSTICAS	36
4.3 PROPIEDADES QUÍMICAS DE PLANTAS ACUÁTICAS	37
5 CONVERSIÓN DE BIOMASA	39
5.1 PROCESOS FÍSICOS	41
5.1.1 Molienda	41
5.1.2 Separación	41
5.1.3 Deseccación	41

5.2	PROCESOS BIOQUÍMICOS	42
5.3	PROCESOS QUÍMICOS	43
5.4	PROCESOS ELECTROQUÍMICOS	46
5.4.1	Conversión electroquímica de carboxilatos a hidrocarburos	47
5.4.2	Electroquímica de celulosa, hemicelulosa y almidón	48
5.4.2.1	Aplicaciones en celdas de combustible	49
5.4.3	Electroquímica de monosacáridos	53
5.4.4	Electroquímica de síntesis de polialcoholes	54
5.4.5	Electroquímica de ligninas, la pirólisis carbonizada de lignina y compuestos relacionados	55
5.4.5.1	Electroquímica de ligninas	55
5.4.5.2	Agentes blanqueadores alternativos	58
5.4.5.3	Procesos electroquímicos aplicados a derivados de licores a partir de procesos de pulpación	59
5.4.5.4	Recuperación de reagentes	59
5.4.6	Dioles y Trioles	60
5.4.7	Electroquímica de CO ₂	62
5.4.7.1	Reducción de dióxido de carbono en medio prótico	62
5.4.7.2	Reducción de dióxido de carbono en medio aprótico	65
6	ASPECTOS AMBIENTALES	67
6.1	CONTAMINACIÓN DEL AIRE	68
6.2	CONTAMINACIÓN DEL AGUA	73
6.3	TECNOLOGÍAS DISPONIBLES	74
6.3.1	Técnicas disponibles para la disminución de la contaminación	74
7	ASPECTOS ECONÓMICOS	75
7.1	CULTIVOS EN TIERRA	75
7.2	BASURAS ENERGÉTICAS	79
7.3	COMERCIALIZACIÓN	80
7.4	CELDAS DE COMBUSTIBLE	82

8.	PERSPECTIVAS	84
	8.1 CORTO Y MEDIANO PLAZO	84
	8.2 LARGO PLAZO	85
	8.3 EN EUROPA	86
	8.4 EN MÉXICO	86
9.	CONCLUSIONES	92
	BIBLIOGRAFÍA	94

RESUMEN DEL PROYECTO:

En el proyecto se realiza el estudio de la producción de combustibles y compuestos orgánicos a partir de la biomasa por métodos electroquímicos y químicos.

La biomasa es toda la materia orgánica que puede aprovecharse para generar energía útil, y está formada por los árboles, arbustos, pastos, cultivos y plantas acuáticas, y por los residuos y desechos orgánicos, tanto forestales, agrícolas y animales, como los urbanos e industriales.

Las dos fuentes de biomasa son: a) la basura orgánica, b) la materia cultivada biológicamente. Las basuras orgánicas comprenden la corteza de los árboles, gabazo de caña, residuos provenientes de cultivo etc. La materia cultivada biológicamente comprende: a) los silvicultivos, es decir, el cultivo exclusivo de árboles que se desarrollan en un período corto comprendido entre 4 a 7 años.. b) el cultivo de árboles frutales de interés por su contenido en azúcares, c) el cultivo de semillas por su contenido de aceite y d) el cultivo de algas en agua dulce o salada de interés por su contenido de nutrientes y de compuestos químicos.

La composición de la biomasa se pueden dividir en: la celulosa, hemicelulosa y ligninas, siendo la más importante la celulosa por ser el principal constituyente de la planta (aproximadamente del 45-50 %).

Las características químicas de la biomasa puede dividirse en dos clases muy importantes: por su contenido energético y por su contenido de cenizas que varía dependiendo del tipo de biomasa. Esto dos puntos son necesarios para poder utilizar la biomasa y el proceso adecuado para obtener altos rendimientos de energía.

Entre los procesos con los que se cuenta para la obtención de energía, combustible y químicos están: 1. Físicos. 2. Biológicos y Bioquímicos, 3. Térmicos, 4. Procesos Químicos y 5. Procesos Electroquímicos.

El desarrollo energético para el siglo XXI implica la producción de combustibles a partir de recursos renovables siendo la producción de éstos no contaminante.

Los cultivos de biomasa utilizando como base tanto tierra como agua, beneficiarían considerablemente al medio ambiente al enriquecerlo con oxígeno que es generado por el proceso de la fotosíntesis llevada a cabo por las plantas. Para evitar la deforestación se tiene

previsto utilizar cultivos exclusivos para la producción de árboles con periodos cortos de crecimiento y basuras orgánicas provenientes de desperdicios de corteza de arboles , gabazo de caña , paja etc. El cultivo de algas es otro recurso de biomasa que puede servir para evitar la deforestación. Las algas pueden contribuir al mejoramiento del ambiente y además podrían ser utilizadas para purificar el agua residual. sin embargo, es necesario aplicar tratamientos posteriores a fin de impartirle características de potabilidad. Los procesos que utilizan biomasa como materia prima, son procesos de carácter ecológico por lo que no se daña el medio ambiente, otra ventaja es que la materia prima es renovable, por lo que se tiene una fuente de materia prima inagotable para la producción de energía.

En el futuro a partir de los sistemas dirigidos de cultivos integrados conocidos como agroforestales podrían generarse combustibles y alimentos.

La fotosíntesis clorofílica, proporciona un almacenamiento natural de energía solar en gran escala, esto es en toda la población vegetal. Es decir, la población vegetal funciona como un almacén sin limite en cuanto cantidad y duración aparte de que es transportable sin importar la cantidad ó la distancia que hay que transportar, lo anterior implica que el costo de las materias primas está por debajo del petróleo, gas natural, gas L.P, aceites combustibles etc.

En los procesos electroquímicos podemos tomar en cuenta que: los costos de la energía eléctrica y sistemas del reactor no son una fracción mayor de todos los costos o típicamente los costos de electricidad son del 10 al 12 % de los costos totales de la operación de la planta, este es equivalente al costo de algunos reactivos químicos. Los costos del reactor electro-orgánico también son comparables a los costos del procesamiento químico convencional.

Introducción

El fin de la era del combustible fósil se está acercando. Esta situación causa una gran preocupación por la posibilidad de una crisis de energía. La dependencia del combustible fósil es muy grande ya que prácticamente todo se deriva del petróleo y esta dependencia es para todo el mundo en general e incita a desarrollar sistemas de soporte, si se quiere asegurar un mundo próspero para generaciones futuras. Hay que considerar que se tienen solamente unas pocas décadas para producir energía a través de recursos renovables. Afortunadamente las tecnologías están a la mano para comenzar el camino de transición de los combustibles fósiles a otro tipo de combustibles.

Una alternativa es aprovechar la energía proveniente del sol, con todo lo que se deriva de él (luz, calor, viento, materia vegetal, etc.).

Se conocen múltiples técnicas para utilizar la energía solar, entre las cuales se encuentra la biomasa.

La biomasa incluye cualquier materia orgánica, planta o animal. La energía de biomasa o bioenergía, que es almacenada en estos desperdicios orgánicos, trata de la transformación en energía útil, y el uso final que se dé a esa energía. La transformación de estos materiales en energía puede ser tan simple como cortar árboles y quemarlos, o tan compleja como tomar caña de azúcar u otros cultivos y convertir sus azúcares en combustibles líquidos y compuestos orgánicos. La belleza de la producción de energía de biomasa es que las tecnologías de conversión pueden reemplazar una amplia variedad de fuentes de energía tradicionales. La energía de biomasa puede sustituir los combustibles fósiles en forma sólida o líquida, y puede generar tanto electricidad como compuestos orgánicos.

Debido a que la biomasa depende de la energía solar es importante considerar a esta última. La tierra recibe en total 3.0×10^{21} J/año de los cuales el 3.1×10^{21} J/año son captados por las plantas esto representa alrededor de 10 veces el consumo mundial de energía, lo que en términos de energía representa 25 millones de barriles

de petróleo crudo equivalente al día, la cual es comparada con la presente producción de petróleo.

Como se puede observar la biomasa tiene la ventaja sobre las demás fuentes de energía en que es un almacén natural de energía sin límite de duración y transportable no importa la cantidad o la distancia.

En efecto, es la única fuente en la que su utilización es a la vez: perpetuamente renovable, cuantitativamente suficiente, técnicamente posible, ecológicamente aceptable, económicamente accesible y socialmente deseable. Con respecto al medio ambiente podemos decir que la biomasa ayudaría a resolver muchos de los problemas ambientales como sería la disminución de CO_2 por medio del cultivo de biomasa para la producción de combustibles y compuestos orgánicos. Del mismo modo, la producción de biomasa puede significar mayores empleos e ingresos en las áreas rurales para los campesinos a través del cultivo y procesamiento de sus elementos y con esto crear nuevas fuentes de trabajo.

Los costos de la biomasa serán muy bajos si se utiliza la basura agrícola pues los costos de la materia prima serían cero por lo que esto hace que sea muy atractivo para su utilización y dejaría muy atrás, en este aspecto, a los combustibles fósiles. Otro punto muy importante que lo hace atractivo, es que las empresas pagarían por que se recogiera, llevara y procesara su basura agrícola y ayudaría a resolver uno de los mayores problemas de una sociedad, que es la eliminación de desechos. En la conversión de la biomasa se utilizan cuatro métodos que son: el biológico, termoquímico, químico y el electroquímico. El método electroquímico al compararse directamente con cada una de las técnicas para producir tanto energía como compuestos orgánicos tiene la ventaja de que se realiza en un solo paso obteniéndose productos tanto en el ánodo como el cátodo sin obtener residuos contaminantes, además como ya se mencionó destaca por sus múltiples ventajas: ambientales, económicas y por su selectividad de productos y mayor versatilidad.

1.0 ANTECEDENTES

Cuando la gente habla acerca de una era de energía solar se refiere, por lo general, a algún periodo indefinido en el futuro. Pero durante la mayor parte de su historia la raza humana ha dependido por entero del sol, explotando maneras cada vez más sutiles para lograr ese bien tan útil que llamamos energía. El sol es un recurso masivo: alrededor de 3×10^{24} joules de su energía son captados por la superficie terrestre cada año. Esto es algo así como 20 veces la energía que consume la raza humana. Sin embargo, la energía del sol llega de una forma discontinua y dispersa. La mayor parte de la historia de la tecnología energética ha consistido en intentos de concentrar la energía solar en un módulo más compacto y compensar los efectos de las nubes, la noche y el invierno.

La última tecnología energética existente en el mercado para la producción de energía parte del recurso primario, dado que resulta el más versátil y confiable, como puede ser el construir una turbina para captar agua en un arroyo de montaña y generar electricidad, en este caso se ha transformado la energía solar en un recurso seguro y versátil¹¹.

Pero la naturaleza ha realizado para concentrar, tratar y acumular la energía solar, con el mecanismo de la fotosíntesis, un trabajo mucho mejor que toda la destreza de los ingenieros. Un campo de maíz, un bosque, incluso una extensión de terreno de maleza o monte bajo, son almacenes de energía solar concentrada. Para explotarlo en su grado más elemental, reunir simplemente la biomasa, secarla si es necesario, y hacer fuego con ella. Esta tecnología ha sido útil a la raza humana desde el amanecer de su historia hasta el momento actual. Y como veremos, no da señal alguna de que vaya a desaparecer.

Lo que eclipsó a la biomasa simple como principal fuente de energía del mundo occidental fue el descubrimiento de que la naturaleza había proporcionado

energía en formas incluso más concentradas: los combustibles fósiles. Es importante recordar cuán reciente ha sido la aparición del combustible fósil, y qué versátil fuente de energía es. El combustible fósil más importante, el carbón, llegó a ser de uso indefinido en Europa y E.U.A. sólo en el siglo XIX. En Gran Bretaña, a causa de la deforestación producida en gran medida por el aumento demográfico del siglo XVIII, el cambio se produjo antes. Pero la energía animal, eólica e hidráulica alimentaron aún la mayor parte de la revolución industrial británica, que fue la primera del mundo¹¹.

La primera noticia que se tiene de la utilización de la biomasa para la producción de energía fue probablemente observada y descrita inicialmente por Shirley en 1667 que estaba basada en la producción de gas combustible a partir de biomasa, aunque el descubrimiento de su origen en la descomposición de la biomasa puede atribuirse a Volta en 1776¹². Existen noticias también de que en 1871 se presentó, en una exhibición tecnológica en Londres, el principio de un gas combustible a partir de desechos de granja, vegetales y aguas residuales domésticas¹³. En 1883-84 Pasteur y Gayón concluyeron que la fermentación de estiércol en ausencia de aire producía un gas que podría ser usado para calefacción e iluminación¹⁴. Otros autores señalan que el primer intento formal para construir un digestor productor de metano a partir de desechos orgánicos, se hizo probablemente en la India en 1890¹⁵. Por otra parte se tienen referencias¹⁶ de que en 1896 el biogás fue empleado en Exeter, Inglaterra, en un sistema de alumbrado público. En 1911 la ciudad de Birmingham contaba ya con un digestor municipal¹⁷ y en 1918 Lord Ireagh construyó uno de los primeros biodigestores rurales de Europa de alimentación por lotes en una granja de Surrey, Inglaterra¹⁸.

En el siglo XIX parece originarse industrialmente la fermentación de alcohol y su destilado para la obtención de energéticos. En la literatura revisada se encontró poca información sobre el desarrollo histórico de este último aspecto; sin embargo, la primera referencia encontrada comenta que hacia 1864 en la ciudad de Cincinnati

se fermentaba maíz para producir metanol y posteriormente usarlo en sistemas de iluminación ⁽¹⁾. La fermentación de los azúcares de madera se logró en 1910 ⁽²⁾. Durante la década de los 40's del presente siglo y como consecuencia de la segunda Guerra Mundial se intensificaron los esfuerzos por obtener combustibles líquidos a partir de la biomasa. En el transcurso de los últimos años de la segunda Guerra Mundial se construyó una planta de 15x10⁶ litros/año de etanol a partir de madera, aunque nunca fue operada ⁽³⁾.

El concepto de una industria química basada en la madera fue la principal prioridad en la segunda guerra mundial ⁽⁴⁾. En un caso de emergencia durante la segunda guerra mundial, en donde los combustibles fósiles escasearon (carbón o petróleo), estos fueron sustituidos durante un corto periodo, por la biomasa como combustible. Por ejemplo en la primera guerra mundial Alemania produjo glicerina para la producción de dinamita a partir de la fermentación del azúcar ⁽⁵⁾. En 1935 once países consumieron 576,000 ton de metanol y etanol como sustituto de la gasolina ⁽⁶⁾; en 1945 El Reino Unido produjo 500,000 toneladas de etanol a partir de la fermentación de papas y durante 1946-1947 en Suecia se establecieron 33 plantas, produciendo 60,000 ton/año de etanol, a partir de maderas finas. De estas, se produjeron otros productos como metanol, acetona, ácido acético, aceites pesados, etileno, óxido de etileno, glicol, butanol y polímeros de celulosa. Seis de estas plantas todavía están funcionando ⁽⁷⁾.

En la segunda Guerra Mundial los bajos costos y la versatilidad del petróleo capturaron rápidamente la atención del mercado de energía (1950-60) y químicos en preferencia a otros recursos como el carbón y madera por lo cual, estos fueron desplazados. Después de la segunda guerra mundial sólo Suecia y la URSS tuvieron el interés para continuar utilizando la biomasa, por ejemplo en la URSS aproximadamente 15 plantas industriales están basadas en la hidrólisis ácida de la madera para usarse en la producción de levadura ⁽⁸⁾.

Pero trece años más tarde, la <<crisis del petróleo>> de 1973-1974 recordó al mundo que sus reservas de petróleo eran limitadas y estaban desigualmente distribuidas.

Esta fue una clara advertencia que hizo que muchos países desarrollados y en vías de desarrollo empezaran a investigar más métodos de producción de energía a partir de biomasa.

Las perspectivas para la utilización de biomasa en la producción de químicos depende de la disponibilidad de la materia prima y su apropiado proceso de conversión. Históricamente, el carbón remplazo a la madera como mejor combustible pero consiguientemente fue desplazado por el petróleo.

Con respecto al desarrollo de las celdas de combustible, hace pocos años se encontró el primer registro sobre la utilización de celdas electroquímicas, en la síntesis de ácidos aldónicos a partir de aldosas, lo que es un ejemplo de la electrólisis indirecta. Esta fue desarrollada en los años 30's por Isabell y Frush⁽¹¹⁾. En 1956, los trabajos de investigación sobre celdas de combustibles fueron llevados a cabo en pocos lugares alrededor del mundo. En los Estados Unidos unicamente cinco compañías estuvieron interesadas y el programa militar fue modesto. Desde que se desarrolló esta tecnología en el mundo esta ha crecido exponencialmente, en 1961, arriba de cincuenta compañías en los Estados Unidos iniciaron investigaciones sobre las celdas de combustible⁽¹²⁾.

En los años 60, varias compañías llevaron a cabo diversos programas sobre la producción de combustibles orgánicos, incluyendo glucosa, en celdas de combustible. Por ejemplo, Monsanto Research Corp. (1962) separó 148 componentes. California Research Corporation (CRC) (1962) experimentó con 43 combustibles orgánicos. Algunos de los productos que obtuvieron las dos compañías a partir de glucosa, manosa y fructosa fue el sorbitol y manitol a diferentes concentraciones^(13,14). Más tarde Monsanto en 1965 anuncia su proceso de electrodimerización para la producción de adiponitrilo y Nalco en el mismo año su

ruta electroquímica para la producción de tetraalquilplomo ⁽¹¹⁾. En 1974 Fedoronko ⁽¹²⁾ realiza la reducción de monosacáridos para la producción de polialcoholes. En ese mismo año Parker y Swann ⁽¹³⁾ dan a conocer materiales de electrodos para la reducción de glucosa, fructosa y manosa.

En 1975 Sarkanen ⁽¹⁴⁾ investigó la oxidación a gran escala de ligninas por ozono o peróxido de hidrógeno en un medio de ácido acético o neutro para producir bióxido de carbono, ácido fórmico, ácidos acéticos y pequeñas cantidades de ácidos dicarboxílicos tales como malónico, ácido succínico y ácido oxálico y por una oxidación más drástica por ejemplo, por ácido nítrico, pueden dar 20% de ácido oxálico. Esta nitración de las ligninas era usada para la deslignificación de la madera dura y grasas en el oeste de Europa. La Hydrocarbon Research, Inc. (1980) desarrolló un proceso para convertir lignina a fenol y sus derivados (benceno, aceite combustible y gas combustible).

Anbar (1973) ⁽¹⁵⁾, Anbar et al. (1976) ⁽¹⁶⁾ y McMillen et al ⁽¹⁷⁾ (1977) describen la combinación entre procesos químicos y electroquímicos utilizando aleaciones de metal como ánodos (ejemplo: Pb, Sn o Pb-Sn) y un cátodo de aire con la formación del óxido del metal y producción de electricidad como carga externa. El ánodo es regenerado por una reacción química y el metal oxidado es reducido por combustibles carbonáceos (reacción carbotérmica).

El paso del desarrollo industrial probablemente tiene que ser más rápido si se quiere que la industria electroquímica crezca. Un resultado de esto es probablemente el número de nuevos procesos comercializados en el período de 1965-1980 (La referencia 18 (tabla 1) da una lista de algunas compañías que desarrollaron métodos para la obtención de productos por procesos electroorgánicos) ⁽¹⁸⁾.

Tabla 1. SINTESIS ELECTROORGANICA DE INTERES INDUSTRIAL				
Producto	Materia prima	Compañía/país	Escala	Tipo de proceso
Acido acetileno-carbónico	butenediol	BASF (Alemania)	planta piloto	oxidación de grupos funcionales
Adiponitrilo	acetonitrilo	Montano (I.U.A.) Monsanto (R.U.) Asahi (Japón)	10'000 Kg./año (comercial) 10'000 Kg./año (comercial) 2 x 10'000 Kg./año (comercial)	Unión reductiva
alcohol α -aminobencílico	ácido antranílico	BASF (Alemania)	planta piloto	Reducción de grupo funcional
1-amino-4-metoxianilina	1-etoxianilina	BASF (Alemania)	planta piloto	retroceso red. ox.
p-aminofenol	nitrobenceno	Japón Holliday (R.U.)	comercial comercial	retroceso reductivo
anilina	nitrobenceno	India		reducción indirecta [1] (III)
p-aminidina	nitrobenceno	BASF (Alemania)	planta piloto	retroceso reductivo
nitroquinona	nitroaceno	Holliday (R.U.)	comercial	oxidación indirecta
benzaldehído	tolueno	India	planta post-piloto	oxidación indirecta [M(III)]
alcohol	dimetil terc. butano	Hoechst (Alemania)	planta piloto	reducción de grupo funcional
1,4-dihidroxianileno	nafaleno	Hoechst (Alemania)	planta piloto	reducción
1,4-dihidroxianil éteres	nafol éteres	Hoechst (Alemania)	planta piloto	reducción
ácido dihidroxianílico	ácido itálico	BASF (Alemania)	comercial	reducción
2,5-dimetoxihidrofeno	metano	Japón	comercial	alcohol oxidado
orgánicos fluorados	hidrocarburos alifáticos, ácidos carbonílicos	Dai Nippon (Japón)	comercial	substitución anódica
ácido gluconico	glucosa	India	3'000 Kg/año (comercial)	oxidación del grupo funcional
ácido glucoídico	ácido oxálico	Japón	(comercial)	reducción del grupo funcional
hexahidroxarabazita	hexahidroxarabazita	BASF (Alemania)	(COMERCIAL)	reducción
hidroquinona				
quinona	benzina	varios	planta piloto	reducción de par o oxidación anódica
malol	alcohol isofenol	Osaka (Japón)	planta piloto	oxidación
ácido metálico	ácido metano- benzenosulfónico	BASF (Alemania)	planta piloto	reducción del grupo funcional
2-metil-1-nitro acetato	2-nitrotolueno	BASF (Alemania)	planta piloto	substitución anódica
pinacol	acetona	Japón	planta piloto	reducción
		BASF (Alemania)		

CAPITULO 2

2.0 DEFINICIÓN DE BIOMASA

La biomasa, en un estricto sentido, se refiere a la materia orgánica producida por la fotosíntesis como las plantas crecidas en tierra ó agua⁽¹⁾. En un sentido más amplio, sin embargo, la biomasa puede ser definida como el resultado de la fotosíntesis directa (plantas acuáticas y terrestres) así como de la fotosíntesis indirecta. Este último termino incluye a los subproductos de los procesos de vida (estiércol de animales) y a los de nuestra civilización (desperdicios sólidos municipales, residuos fecales y residuos industriales)⁽²⁾.

En la biósfera, la porción de la tierra en la cual existe vida, depende de la energía del sol para impulsar el ciclo biológico como se muestra en la figura 1⁽³⁾.

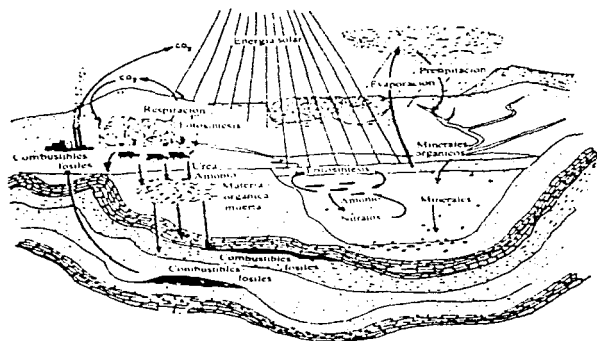
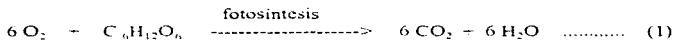


Fig.1

Este ciclo de energía y materia entre los animales y las plantas, que está alimentado por la energía del sol es un concepto muy simple sin embargo, válido y cierto. Las plantas toman una pequeña cantidad de energía luminosa que llega del sol a la tierra y la transforman en energía química almacenada en diferentes sustancias, es decir, las plantas captan energía del sol para producir productos químicos complejos a partir de compuestos simples, cuya base es una estructura de carbono. Cuando se hace uso de la materia vegetal, ya sea como fuente de calor ó como productos químicos, se descompone de nuevo a bióxido de carbono y agua. El caso más simple es el de los azúcares, que se transforman según la reacción:



La energía que contienen seis moléculas de CO₂ y seis moléculas de H₂O es mucho menor que la de una molécula de glucosa. Por lo tanto, en el proceso de la fotosíntesis, es necesario transformar sólo una parte de la energía luminosa, que viene del sol, en la energía química que mantenga unidos a los átomos en ese azúcar (2).

Esto sucede en un proceso muy complicado, pero cuyo detalle se conoce en buena parte. A través de la fotosíntesis, las plantas que crecen en la tierra ó en el agua, así como ciertas bacterias fotosintéticas, reducen el bióxido de carbono a materia orgánica y oxígeno molecular (3), esta situación convierte entonces a los vegetales en los organismos más importantes e indispensables en el camino de la utilización de la energía solar, como transformadores de la energía luminosa en energía de enlaces químicos fundamentalmente de la glucosa (4)(5).

Coombs (2) estima que la eficiencia máxima teórica global de conversión de energía solar a compuesto de carbono en la planta es aproximadamente de un 5.6 % por un prolongado periodo de tiempo para especies terrestres, sin embargo, en la práctica las eficiencias de conversión a compuestos de carbono en las plantas se

encuentran en un intervalo de 0.1 - 2% de eficiencia de conversión dependiendo de la especie, clima, insolación y lugar donde se desarrolla la especie.

Se encontró que la biomasa acuática tiene eficiencias de conversión altas. Debido a que ésta no desarrolla grandes cantidades de tejidos no fotosintéticos secundarios que requieren energía de respiración ⁽¹²⁾.

Si tomamos en cuenta que la conversión máxima de energía luminosa a energía química es del 1% ⁽¹³⁾ y la comparamos con la conversión de las celdas solares que es del 12 al 15 % de rendimiento, esta cifra es desalentadora, pero el producto de los sistemas fotovoltaicos consiste en electricidad que tiene que almacenarse por separado, proceso que baja inmediatamente el rendimiento global a una cifra por debajo del de las plantas. En éstas, la conversión y almacenamiento de energía van en el mismo paquete. Por esto, sin duda, las plantas serán importantes en las ecuaciones futuras de energía ⁽¹⁴⁾.

La materia orgánica producida en el proceso de la fotosíntesis tiene varios usos como son: alimento para el ser humano y el reino animal, materiales estructurales de varios objetos, como papel, productos de fibra, etc. y en una menor extensión en países industrializados, como energía para procesos de combustión. La materia orgánica ó su producto de descomposición, son transformados por calor, presión y tiempo en combustibles fósiles que se queman para generar electricidad o para transformarse en reactivos ó productos químicos y en combustibles líquidos para la propulsión de vehículos. Considerando que la disponibilidad de tales recursos fósiles como petróleo, gas natural, carbón y aceite, son finitos y no renovables, hay muchos otros energéticos y químicos que no son finitos ya que son renovables porque son parte del ciclo biológico impulsado por el sol (fotosíntesis).

CAPITULO 3

3.0 FUENTES DE BIOMASA

Las fuentes de biomasa las podemos dividir en: 1.- basuras orgánicas y 2.- materia cultivada biológicamente. Los cultivos de biomasa se dividen en:

- A) Cultivos en tierra
- B) Cultivos acuáticos
 - a) en agua dulce
 - b) en agua salada

La intensidad de la radiación solar incidente en la superficie terrestre es un factor clave en la fotosíntesis. El crecimiento natural de la biomasa no tiene lugar sin la energía solar. La insolación varía con la localización y el clima y como se sabe es alta en los trópicos y cerca del ecuador (véase tabla 2).

Tabla 2
Insolación en varias latitudes con atmósfera limpia

Localización	Latitudes	Máximo W/m ²	Minimopromedio 2W/m ²	W/m ²
Ecuador	0.0°	315	236.0	263
Trópicos	23.5°	341	171.0	263
Meridianos	45.0°	355	70.9	210
Circulo Polar	66.5°	328	0.0	158

para convertir W/m² a Btu/m² di multiplicar por 7.016

La figura 2 muestra como varía anualmente la insolación sobre la superficie terrestre, con respecto a la localización (27). En una latitud dada la energía incidente no es constante y muestra grandes cambios, en distancias relativamente cortas.

Cada año, la superficie terrestre recibe 3.0×10^{24} joules de radiación solar, de los cuales 3.1×10^{21} joules son captados por las plantas y transformados en productos químicos (energía almacenada). Por lo tanto, el 99.9 % de la radiación no se utiliza, es decir la energía utilizada por las plantas es de cerca del 0.1% (28). Las plantas han

demostrado ser comercialmente viables y parecen ya prometer mucho en las zonas más soleadas del mundo entre 35° norte y 35° sur.

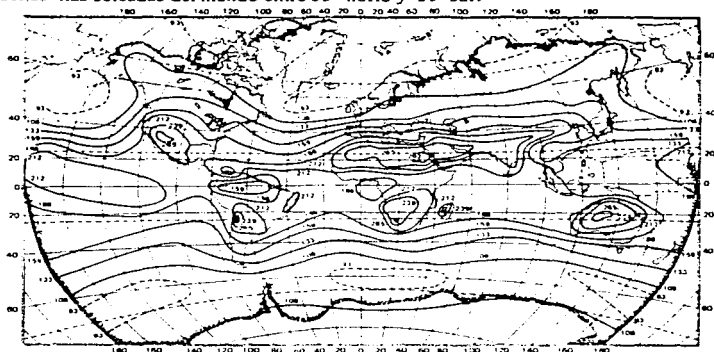


Fig. 2 insolación anual que recibe la tierra en W/m²

Estimaciones sobre la producción mundial anual de biomasa, comúnmente señalan valores entre 140×10^9 y 160×10^9 ton/año, esto representa del 6 al 15% es decir, alrededor de 10 veces el consumo mundial de energía. La producción mundial de biomasa forestal se estima en 74×10^9 ton/año, lo que en términos de energía representan 25 millones de barriles de petróleo crudo equivalentes al día o siete veces el consumo de energía, la cual es comparada con la presente producción de petróleo y se muestra en la tabla 3 ⁽²³⁾.

La mayor parte de la biomasa consumida con propósitos energéticos corresponde a la quema de leña y carbón vegetal, generalmente en las comunidades rurales de los países en vías de desarrollo y para uso doméstico, por lo que es considerada como la cuarta fuente más grande de energía en el mundo y la segunda en México después de los hidrocarburos ^(22,29,30). Aunque no se cuenta con datos

precisos se estima que en México unas 15 millones de personas consumen alrededor de 92.182 pentacalorías al año, lo que equivaldría aproximadamente a un 4.4% del consumo total de energía primaria comercial del país ⁽²⁾.

Tabla 3
Producción Anual de Biomasa en el Mundo

Fuentes de producción	Ton. métricas
Producción primaria neta (materia orgánica)	2.0×10^{11}
Producción forestal (materia seca)	9.0×10^{10}
Consumo mundial de madera	7.8×10^8
CEREAL	
Como cosecha	1.5×10^{11}
Como almidón	1.0×10^{10}
Cultivos de raíces	5.7×10^8
como almidón	2.2×10^8
Cultivos de azúcar	1.0×10^{10}
Como azúcar	9.0×10^8
Producción presente de aceite	2.8×10^8

Las fuentes terrestres de biomasa están mejor definidas y cuantificadas y han sido más estudiadas que las fuentes marinas. La mayor parte de la biomasa explotable energéticamente corresponde a las primeras ⁽³⁾. Por supuesto, esto no es tan simple como se piensa, el explotar la energía vegetal presenta dos problemas. Primero, el recurso no está distribuido uniformemente en el mundo, en algunas partes es abundante y en otras es escaso o no existe por lo que los proyectos de energía a partir de biomasa tienen que tomar en cuenta la situación geográfica y segundo la cantidad de energía necesaria para recolectar y transportar ese enorme recurso ⁽⁴⁾.

Algunos tipos de recursos de biomasa son la agricultura, silvicultura, acuicultura, residuos y basuras orgánicas, en la tabla 4, se dan algunos ejemplos de estos tipos de biomasa ⁽⁵⁾.

Tabla 4
Tipos de Biomasa

Recurso	Clima	Tipo	Producto	Ejemplos
Agricultura	templado	producción de carbohidratos	basada en azúcar	granos (algodón, trigo, avena y cebada) (tubérculos (papas))
			basada en azúcar	raíces (azúcar remolacha), tallos (sorgo dulce)
		aceites	aceite de semillas	cacaohuile, girasol
		lignocelulósicas	látex	semillas lechosas (algodón, alfaifa y trebol)
	tropical y subtropical	producción de carbohidratos	basados en azúcar	granos (arroz) (tubérculos (cañapa))
		aceites	aceites basados en azúcar de semillas	caña de azúcar, aceite de castor, jujoba y látex
		lignocelulósicas	Látex	guayule (grasas de Kenaf y Juhuaon)
silvicultura	templado	madera dura	madera y madera contrachada	ruble, álamo, maple y álamo temblón
		madera blanda	pulpas	pino, el sur, abeto
	Tropical y subtropical	aceite	Resinas caucho natural	hevea brasilensis
Acuicultura	fresca, salobre, o acuática marina	lignocelulósicas	madera y pulpa	musciproteína y caoba (sprulimialta proteína, chlorella y algas para la producción de lípidos)
residuos	cultivos forestales	productos de madera		
basuras	animales	procesos de la comida		
		municipales (sólidos)		
		domésticos		
		industriales		

3.1 BASURAS ORGÁNICAS

La cantidad de residuos agrícolas como la paja de trigo y de arroz, así como el estiércol animal, se ha estimado en unos 4,200 millones de toneladas por año; si éstos se aprovechan energéticamente por procesos de conversión disponibles, podría representar 63 millones de TJ/año (60 quats/año), es decir, cerca de la cuarta parte del consumo mundial total anual de energía, o unas dos veces el consumo total anual de energía de los países en desarrollo ⁽²⁴⁾.

La corteza de los árboles, los residuos de la actividad forestal (que representan cerca de la mitad de toda la madera cortada), los granos y los residuos

agrícolas, constituyen una fuente de biomasa apropiada y atractiva para la obtención de energía ⁽²⁾. La tabla 5, enlista algunas fuentes de energía de la biomasa e indica el potencial del biocombustible ⁽³⁾.

Tabla 5
POTENCIAL ANUAL DE BIOCOMBUSTIBLES

Materia prima	Potencial (quads)
Madera convencional y basura de desecho	7.5
Energía de cosechas	4.0
Agricultura	1.0
Plantas de aceite (aceite de semillas y algas)	2.0
Basura municipal	2.5
Total	17.0

1 quad = 10 E-15 BTU
(Solar Energy Research Institute)

Por otra parte se esta analizando cuantos residuos pueden ser removidos del bosque sin causar una seria erosión en la tierra o pérdida de nutrientes; cuando consideramos los residuos de materia incluimos los residuos que serán utilizados para generar electricidad y calor por procesamiento, basuras tales como puntas de árboles y ramas, árboles muertos y secos, arbustos y pastos diversos. El incremento en el uso de residuos va a depender del costo total el cual incluye recolección, transportación y procesamiento ^(2,3).

Con respecto a la disposición de la basura sólida en ciudades y pueblos está disponible a un costo muy bajo (la recolección, transportación y disposición). La separación de la fracción de celulosa de estas basuras, no obstante, puede ser cara. En general la basura sólida contiene cerca del 21 al 53% de papel y un 24% de gabazo de frutas y vegetales y el resto consiste en basura doméstica .

3.2 CULTIVOS DE BIOMASA

3.2.1 Cultivos en tierra

Cerca de la tercera parte de la tierra son bosques ⁽⁴⁾. La silvicultura ó cultivo de árboles se práctica empleando 5 métodos: explotación, cultivos extensivos,

cultivos intensivos, naturista y rotación corta. El método de explotación, es simplemente la tala de arboles sin contemplar la regeneración, por el contrario en el método extensivo se considera la regeneración. El método intensivo consiste en el cultivo y cosecha de arboles esencialmente comerciales de especies puras y resistentes a las enfermedades tales como el abeto douglas y el pino. El método naturista es el cultivo de especies de árboles de mezclas selectas incluyendo las maderas duras las cuales son especies seleccionadas para mantener el ecosistema del sitio ⁽¹⁾. La silvicultura de rotación corta es el método sugerido como el más eficiente para la conversión de energía pues en contraste con los métodos convencionales de silvicultura se tiene un rendimiento alto y este puede ser utilizado para cultivar durante todo el año ⁽²⁾.

El cultivo de rotación corta ha sido estudiado intensamente en el mundo aproximadamente durante 20 años, con el propósito de producir materia prima para pulpa y energía industrial. Algunas plantaciones instaladas en E.U.A. a gran escala han sido instaladas a nivel de Suecia ó Brasil. Estas alcanzaron rendimientos alrededor de 12-15 toneladas de materia seca/ hectárea/año ⁽³⁾.

Algunos de los factores que se deben tomar en cuenta para el sitio donde se van a cultivar ciertos tipos de arboles son: la cantidad de lluvia, la pendiente de la tierra, la insolación, temporada del cultivo, etc. ⁽⁴⁾.

Una gran cantidad de información sobre cultivos de madera de rotación corta han sido recopilados por la Oak Ridge National Laboratory, la dirección técnica de la US Department of Energy's Short Rotation Woody Crops Program (SRWCP). Esta compañía desarrolló un sistema de base de datos para evaluar el crecimiento y producción de más de 25 diferentes especies con el cultivo asociado y las condiciones climáticas de más de 100 sitios distintos en E.U.A., el rendimiento obtenido así como numerosas curvas que evalúan la rapidez de crecimiento como una función de la especie, sitio y densidad de población ⁽⁵⁾.

Los cultivos de rotación corta pueden ser de dos tipos intensivos o extensivos. Los intensivos comprenden periodos cortos de crecimiento (4 a 7 años). Los cultivos extensivos comprenden periodos largos de 20 a 50 años o más. Los tamaños comerciales de árboles pueden requerir periodos de 30 a 80 años o más para su cosecha. La producción de árboles en países desarrollados es cerca de 9-28 ton/hm²/año (4-125 ton cortas/acre/año) y la producción de selva tropical es de 20.5 ton/hm²/año (9-22 ton/acre/año) aparentemente sin entradas grandes de energía en fertilizantes, irrigación, cultivo y cosecha¹¹¹.

Se propone que los cultivos de rotación corta intensivos tales como el arbusto del algodón, alder rojo (aliso rojo) y álamo temblón sean cultivados intensivamente y cosechados mecánicamente de cada 2 a 5 años cuando estos alcancen una altura de 3-6 m y sólo unos pocos centímetros de diámetro¹¹².

Daniel Auclair¹¹³ investigó en Francia el rendimiento de estos dos tipos de tratamientos, los cuáles dieron los siguientes resultados: cerca de 3.5 ton. en el tratamiento intensivo y 0.6 ton. en el tratamiento extensivo. Este experimento se realizó para 500 hectáreas de cultivo. Estos valores se obtuvieron bajo condiciones muy controladas, la rotación incluye en los cultivos una buena preparación de la tierra.

Tiefenbacher¹⁴² realizó un estudio exhaustivo de la rotación corta intensiva en Austria con varias especies del genero *Alamus*, *Betula*, *Populus*, *Robinias* y *Sorbus* los cuáles fueron cultivados en 70 sitios diferentes.

Dentro del género *populus*, el eucalipto, está caracterizado por rotación corta en espacios cerrados, utilización de la energía durante el periodo de rotación, la plantación direccionada, mecanizada e intensiva y los costos de recolección, la selección y el transporte de la biomasa son minimizados por este concepto de relación de energía (entrada-salida).

Se conocen aproximadamente de 450 a 700 especies de eucaliptos. Los eucaliptos son árboles nativos de rápido crecimiento en Australia y son su principal

fuelle de energía porque crecen a un tamaño conveniente para cosecharse en aproximadamente 7 años. Varias especies tienen la habilidad para regenerarse después de la cosecha, además pueden ser cultivadas por medio de un pequeño tallo del árbol. En varios condados de Estados Unidos, los eucaliptos son convertidos en carbón y usados como combustible, la energía de éste también ha sido usado para la destilación integrada.

Las manipulaciones genética y ambiental aunque son técnicas costosas para los cultivos de árboles (luz artificial, atmósfera controlada, humedad y nutrición) se están investigando en cultivos de rotación forestal corta para mejorar la madera producida intensivamente y reducir el ciclo de crecimiento y así proporcionar grandes cantidades de biomasa en un corto período de crecimiento. Se estima que estos árboles cultivados para energía estarán listos para cosecharse en 10 años y producirán cerca de 30 m³ /hm² por año (429 ft³/acre por año) un ejemplo es el álamo híbrido. Actualmente se investiga la mejora genética con fijación de nitrógeno en algunas especies.

Otra idea debatida es el control de los productos vegetales regulando su metabolismo para producir mayor o menor cantidad de hidratos de carbono, lípidos y proteínas. Debido al conocimiento acerca del metabolismo de los vegetales, es posible manipularlos para producir cualquier producto deseado, ciertos tipos de árboles como los pinos han sido estimulados para producir resinas y terpenos combinada con la producción de olefinas obteniendo rendimientos altos. En el norte de México y suroeste de E.U.A. se está investigando a gran escala, la posibilidad de producir altos rendimientos en plantas que contienen poliisopreno tales como la planta del guayule (14).

Por otra parte se están investigando los cultivos de arbustos de jobo en tierras irrigadas por agua de mar, porque sería conveniente poder crear especies de plantas productoras de hidrocarburos resistentes al agua salada (15).

Las plantaciones de árboles son otros recursos no utilizados. La producción anual de semillas o frutas que contienen azúcares pueden ser usados para la producción de energía por fermentación (etano). Todo esto significa cultivar árboles, vegetales o algas únicamente por su contenido alimenticio y energético.

Una manera de producir una mayor cantidad de biomasa podría ser cultivar plantas tropicales de crecimiento rápido que utilizan el denominado mecanismo C4 de la fotosíntesis, tales plantas incluyen a la caña de azúcar, maíz y papiro, pero en el resto del mundo la fotosíntesis C3 normalmente es la que predomina y no crecen con tal rapidez como las plantas que utilizan el mecanismo C4. Las plantas C4 (sorgo, caña de azúcar) bajo condiciones óptimas han logrado eficiencias de conversión que se acercan al 3 %.

Las plantas C3 convencionales fijan el carbono mediante el ciclo de Calvin⁽¹⁴⁾ por lo que, la fotosíntesis tiene dos dificultades, primero pérdida de agua a través de los estomas por transpiración y segundo, en la fotorrespiración en la cual el oxígeno compete por bifosfato de ribosa. El índice de esta reacción limita el suministro de bióxido de carbón a los cloroplastos de la planta incluso cuando se dispone de mucha luz, agua y nutrientes y disminuye el crecimiento de la misma. Las plantas C4 reducen las pérdidas debidas a la fotorrespiración fijando el carbono temporalmente y liberándolo después y fijándolo a continuación. Esto ocurre de día; células especiales alrededor de los haces vasculares fijan de nuevo el carbono después de una acumulación temporal. es decir, que mantiene los cloroplastos cebados con bióxido de carbono y permite así una utilización más eficaz de las altas intensidades de la luz solar de los trópicos para producir más biomasa. Pero Bassham⁽¹⁵⁾ señala que las plantas C3 pueden lograr eficiencias de conversión mas altas si la atmósfera en la que crecen se enriquece con bióxido de carbono, hasta un nivel por ejemplo de 0.2 % normal al 0.3 % (esta técnica se ha utilizado ya durante algunos años para productos de invernadero de alto valor nutritivo y forraje).

Bassham ⁽²⁴⁾ propone la existencia en los desiertos del suroeste de Estados Unidos de grandes invernaderos de plástico de ciclo cerrado, como una posible solución al cultivo de celulosa económica, estos invernaderos, utilizan agua reciclada y una atmósfera enriquecida de bióxido de carbono condiciones que permitan alojar un cultivo tal como alfalfa.

La agricultura energética parece ser una propuesta viable en países en desarrollo ya que se puede utilizar tierra improductiva para cultivar vegetales por su contenido energético y proporcionar alimentos. Este sistema se investiga seriamente en los Estados Unidos, Irlanda, Francia y Australia, pero tiene aplicación inmediata en los países en desarrollo con climas benignos. De nuevo, la ganancia económica y la energética neta podría variar de un país a otro, pero seleccionando vegetales adecuados, ya sean autóctonos o importados, podría ser éste un sistema viable. Una de las ventajas de los cultivos energéticos es que los gastos de capital podrían ser bajos aunque la utilización de mano de obra podrían ser alta lo que no deja de ser una ventaja en muchos países en desarrollo ⁽²⁵⁾.

3.2.2 Cultivos Acuáticos

Los cultivos de plantas acuáticas proveen otro recurso de biomasa como alimento. Estas plantas varían de algas a macrofitos. Frecuentemente consideramos a las plantas como posible alimento biomásico para su conversión en químicos o combustibles .

Las algas unicelulares tales como la especie *Chlorella* y algunas plantas acuáticas han sido producidas por procesos continuos al aire libre con eficiencias de fotosíntesis altas. En los cultivos extensivos se han reportado velocidades de crecimiento de producción de 1.10 ton/ (hm².d) [0.5 ton.corta/acre.d] (seca) ⁽²⁶⁾. Esto corresponde una velocidad anual de (401 ton / hm². yr) [179 ton / cort / (acre por año)]. Las algas también son producidas en forma de suspensiones, en lagos y

estanques donde la producción de biomasa depende del área, así como de la producción por unidad de volumen, los cuales son parámetros importantes.

Las microalgas tienen una eficiencia alta de producción pero su recolección es difícil. Las macroalgas tienen una baja producción pero son más fáciles de recolectar. En ambos tipos de algas, el bajo contenido de lignina lleva a la conversión fácil para combustibles y químicos por microorganismos.

La primera consideración en el uso de biomasa de algas es su valor alimenticio, con un alto contenido proteínico (aproximadamente 30 - 65% del peso seco). En México y en algunos países de Asia se produce biomasa celular para uso alimenticio ¹¹.

Otro uso importante de las algas es la habilidad para producir compuestos con un alto valor de lípidos. Investigaciones realizadas sobre el alga del género *Chlorella* encontró que puede contener 30-86% de su peso seco en lípidos. Otras microalgas que pertenecen al género de la *Chlorella* son la *C. eugelana*, *Scenedesmus*, *Microactinium* y *Spirulina*, así como otras, que también producen altos rendimientos en lípidos. La producción de algas está comprendida en el intervalo de 20-30 ton secas/año acre.

Por otra parte una variedad de compuestos como aminas, ácidos orgánicos, aldehídos orgánicos y terpenos pueden ser secretados por algas.

Un candidato muy fuerte para las aplicaciones energéticas es el jacinto acuático (*Eichhornia Crassipes*). Esta especie de biomasa acuática es altamente productiva así como también pueden extenderse estos cultivos en climas cálidos. Es una planta muy prolifera y que se produce principalmente por vástagos vegetativos, los jacinatos acuáticos pueden duplicar su número de ocho a diez días en aguas cálidas enriquecidas con nutrientes formando enormes y sólidas balsas flotantes. La planta está formada por un tallo vertical carnoso llamado rizoma del que se desarrollan las raíces, algas y flores.

Se estima que el jacinto acuático puede ser producido a una velocidad de aproximadamente 150 ton/hm².año, si la planta es cultivada en un buen clima, el

jacinto acuático no tiene competencia, no tiene usos alternos y se considera como una especie indeseable. Esta planta contiene entre el 17 y el 22 % de proteína bruta, del 15 al 18 % de fibra y del 16 al 20% de ceniza. Los estudios sobre índice de crecimiento sugieren una tasa de producción anual de 712 toneladas de materia vegetal seca por hectárea ¹⁰⁰.

El cultivo de macroalgas en océano abierto es otra opción la cuál, no sólo provee de energía sino también de alimentos y compuestos químicos. El primer candidato fué el kelp gigante (*Macrocystis Pyrifera*). Después de varios años de estudios en el laboratorio se encontró que un modulo de 0.1 acres de cultivos de kelp serán incorporados en un futuro cercano por la General Electric ¹⁰¹. Otras especies de algas tienen el potencial para cultivarse, pero no han sido estudiadas ¹⁰².

Wilcox planteó ²⁴ en el simposio llamado Ocean Food and Energy Farm en San Diego California, E.U.A., para resolver el problema de escases de tierra se tendría que ir al mar, para cultivar en plataformas, macro y microalgas marinas alimentadas mediante agua profunda, fría y rica en nutrientes, llevada a la superficie mediante bombeos. Las algas marinas contienen poca celulosa, pero podrían procesarse mediante acción bacteriana o química para producir metano, más otros productos, tales como fertilizante, etanol, lubricantes, ceras, plásticos, fibras y por supuesto, un espectro completo de productos petroquímicos. Además, las algas marinas podrían utilizarse, asimismo, directa o indirectamente como fuente de alimento.

La conclusión es que la fotosíntesis puede proporcionar suficiente material renovable con el que se pueda alimentar al mundo, pero para hacer una proporción práctica semejante tenemos que concentrar el potencial ya sea en granjas energéticas de alta tecnología o cultivando enormes plantaciones de rotación corta. Tal estrategia suscita cuestiones del medio ambiente pertinentes como las que implican las estrategias energéticas basadas en energía carbonífera o nuclear.

CAPÍTULO 4

4.0 COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA BIOMASA

4.1 COMPOSICIÓN

La biomasa existe en muy variadas formas, sin embargo, si se considera la conversión, de los compuestos estructurales de la biomasa a compuestos químicos, solamente necesitamos concentrarnos en los polímeros naturales. Esto sólo se aplica para maderas y residuos agrícolas.

La mayor parte de la biomasa terrestre está constituida por árboles y estos a su vez se dividen en gimnospermas y angiospermas. Las maderas suaves (coníferas) pertenecen a la primera categoría, poseen mayor contenido de lignina y contienen manano (polisacáridos convertidos en manosa) en su parte hemicelulósica, y las maderas duras (árboles de hojas anchas) en la segunda categoría, contienen un polímero de xilosa (azúcares del grupo de las pentosas) en lugar de manano^[1].

Ambos tipos de maderas difieren considerablemente en sus características como combustibles. Las maderas suaves se queman más fácil y rápidamente con una flama más intensa debido a su mayor contenido de resinas volátiles y aceite (brea), y tienen por ende un contenido energético, por unidad de masa, del orden del doble respecto al de las maderas duras^[1]. En la referencia (49) se da la información de las características como combustible de 26 especies de maderas duras y 16 especies de maderas blandas.

Diferentes tipos de células en las plantas, vivas y muertas, componen los materiales de la biomasa. La estructura y composición de estas células varían dependiendo de la localización en la planta y de la especie de que se trate. Las células vivas son aquellas que están verdes, (compuestas de proteínas, agua, una pequeña cantidad de pared celulósica) y una muy pequeña fracción de células en la corteza de la madera, la mayoría de las cuales están muertas. Una representación

esquemática de la estructura de las fibras de la madera dura y suave se muestra en la figura 3⁽¹⁰⁾.

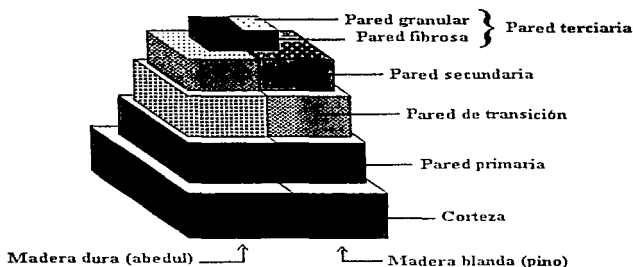


Fig. 3 Modelo de la estructura de las fibras para madera dura (izquierda) y madera blanda (derecha)

Las microfibras de celulosa están enlazadas en una matriz de hemicelulosa y lignina; estos tres polímeros naturales son los compuestos promedio de la pared celular de la planta y representan aproximadamente el 95% y el restante está compuesto de aceites, azúcares, resinas, grasas, ceras, alcaloides, etc. La estructura y propiedades físicas de la madera están determinadas por su contenido porcentual de estos tres polímeros, ver figura 4⁽¹¹⁾.

La fibrosidad en los árboles es proporcionada por la celulosa, este polímero es una fibra natural que tiene pequeños mecanismos que le dan fortaleza al árbol, sin embargo la gran fuerza de un árbol proviene de otro polímero natural llamado lignina, en donde sus enlaces están entrecruzados para dar una fuerza en tres dimensiones que le dan tal fortaleza al árbol. La lignina es un polímero irregular de n-propil benceno (fenil propano) y su estructura precisa depende del tipo de árbol, ver figura 4.

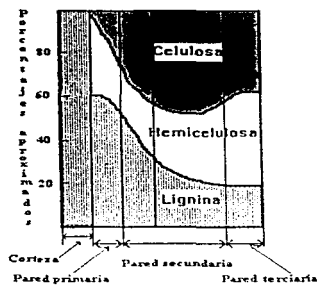


Fig. 4 Distribución aproximada de los constituyentes poliméricos en la pared celular de abeto Douglas ⁽²⁾

La figura 4 ejemplifica la distribución aproximada de estos tres polímeros en la pared celular para una madera suave, la lignina está presente en altas concentraciones en las capas exteriores, para proveer rigidez estructural, reforzando y cimentando las fibras, su concentración decrece conforme se aleja de la superficie. En contraste, el contenido de celulosa es bajo en la primera pared celular y se incrementa en la segunda. Las hemicelulosas están presentes en todas las capas celulares, con un alto porcentaje en las capas interiores. La corteza generalmente contiene sustancias más extractivas (lípidos e hidrocarburos) y menos material de celulosa y hemicelulosa.

La composición para maderas adultas es diferente tanto para madera blanda como para madera dura. La madera blanda, contiene un alto contenido de lignina y un bajo contenido de celulosa y para la madera dura, el contenido de lignina es bajo y el contenido de celulosa es alto. La madera joven posee generalmente concentraciones altas en lignina y bajas en celulosa.

Haciendo una comparación entre los árboles y los residuos agrícolas se encuentra una serie de diferencias marcadas, por ejemplo el diámetro del tronco de los residuos agrícolas no puede llegar a ser muy grande ni muy ancho, aún si se cultivan en condiciones especiales. Además algunos troncos de la biomasa agrícola tienen un hueco en el núcleo o corazón, como es el caso de cereales y pajas, en otros como el tallo del maíz y el gabazo que es sólido. En estos se encontraron cuatro categorías de células (por ejemplo para el trigo) fibras 50%, enzimas 30%, epidermis 15% y vasos 5%. El tallo del maíz y gabazo contienen iguales proporciones de fibras y células. La fracción de fibras en hierba es similar a la madera, pero la cantidad de fibras que no son células es más alta ^[10].

La biomasa vegetal del sorgo es un recurso renovable para la producción de energía y forraje; en un experimento, se evaluaron doce tipos de sorgo para determinar la concentración estructural de celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa fue el componente predominante en la corteza y la hemicelulosa en el corazón del árbol en muchos casos, por lo que llama la atención como una fuente de carbohidratos para la producción de metano ^[11].

La basura vegetal constituye la más abundante fuente renovable. En las plantas, la lignocelulosa es el constituyente principal y está presente en toda la vegetación particularmente en los desperdicios agrícolas ^[12]. El contenido de celulosa en basuras agrícolas está en un intervalo de 240 a 390g/kg y la composición de hemicelulosa entre 120 a 417g/kg.

4.1.1 CARBOHIDRATOS

La energía primaria obtenida de la biomasa proviene del contenido de carbohidratos, mismos que constituyen el principal producto de la fotosíntesis, apareciendo en forma de azúcares, celulosas y hemicelulosas. Los azúcares simples son la fuente de energía, ya que los polisacáridos pueden almacenar reservas de alimentos (ejemplo: almidón) ó desarrollar funciones estructurales tales como

impartir resistencia mecánica (robustez) a la pared celular de la planta (ejemplos celulosa y hemicelulosa) ¹¹.

Los principales monosacáridos que componen los polisacáridos de la pared celular son glucosa, manosa, galactosa (azúcares de seis átomos de carbono), xilosa y arabinosa (azúcares de cinco átomos de carbono). La glucosa es el más abundante en la naturaleza. Este puede aparecer en estado libre en muchas plantas, especialmente en frutos o como constituyente de los polisacáridos. La figura 5 indica las formas posibles que puede presentar la D-glucosa por mutación.

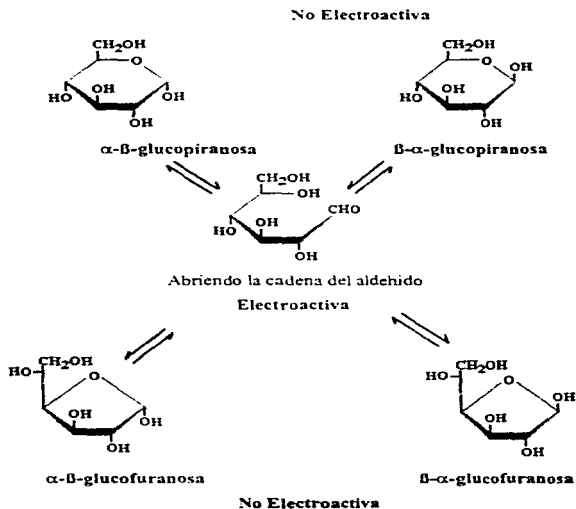


Fig.5 Mutación de la D-glucosa

La celulosa es el material más abundante en la tierra. Este es un polímero lineal de la β-D glucosa, con eslabones de unidades monoméricas por enlaces 1,4 glicosídicos. Aunque la estructura química de la celulosa está bien estudiada y entendida en muchos aspectos, en algunos otros no, como son la estructura cristalina y fibrilar que están sujetas todavía a estudio (13).

La estructura del campo cristalino en la celulosa puede presentarse en más de una forma entrelazada (14,15). La figura 6 muestra que los enlaces de puente de hidrógeno intermolecular e intramolecular son fuertes, así, el paquete de celulosa es conjuntado en forma de microfibras en las cuales las regiones cristalinas (de alto orden) están alternadas con regiones amorfas (de menor orden).

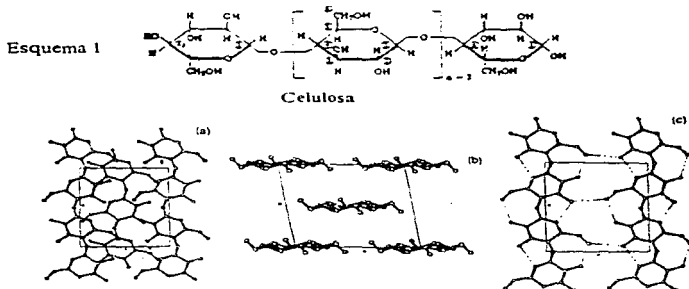


Fig.6

Proyección del modelo de la cadena paralela para la celulosa. (a). Proyección perpendicular en el plano ab. La cadena central está escalonada con respecto a ésta en el origen. (b) Proyección perpendicular en el plano ab visto a lo largo de las fibras axiales. (c) puentes de hidrógeno en el plano 020.

La celulosa está presente en las plantas en aproximadamente el 50% en madera y en un 90% en las fibras de almidón. La celulosa se encuentra sólo en las microfibras. Las estructuras fibrosas y los enlaces de hidrógeno le imparten una gran

tensión e insolubilidad en agua, debido a que el orden de la estructura cristalina es alto y limita la accesibilidad de reactantes o enzimas para la hidrólisis de los polímeros en unidades de glucosas monoméricas". Los ácidos fuertes y álcalis complejos y soluciones concentradas de sales pueden expandir y dispersar (o en algunos casos disolver) la celulosa y romper su estructura cristalina para posteriormente aplicar la hidrólisis.

En el almidón, la glucosa presenta unidades con arreglos estequiométricos diferentes a la celulosa de 400 a 1,000 unidades de α -D-glucosa (como piranosa), que están unidas por enlaces alfa-1,4; estas uniones producen los polímeros lineales, amilosa. El almidón es un carbohidrato monosacárido que actúa como una reserva de energía para las plantas⁽¹⁰⁾. Porque de las estructuras bifurcadas, la accesibilidad de reactantes o enzimas es más fácil. El almidón ha sido un sustrato tradicional para fermentaciones conteniendo 17-27% de amilosa, pero el más abundante es la amilopetina que se encuentra en un sin número de granos de cereal.

La hemicelulosa es también un hidrocarburo pero se diferencia de la celulosa en que es amorfo, se hidroliza fácilmente y está compuesta por pentosas más que por hexosas. La hemicelulosa es de la familia de los heterosacáridos estructurales que están asociados con la estructura de la celulosa del polisacárido en la pared celular.

Estas tienen un grado de polimerización de aproximadamente 200 unidades sin embargo, aunque éstas no son solubles en agua, en ácido son rápidamente solubles y fácilmente hidrolizadas para producir compuestos monoméricos: D-manosa, D-galactosa, D-xilosa, D-glucosa y L-arabinosa (en orden decreciente en abundancia). El ácido 4-O-Metilglucorónico, ácido glucorámico y ácido galacturónico son formados también en estas hidrólisis.

La composición de la hemicelulosa en maderas suaves es del 25% estos polímeros estructurales consisten de diversos monosacáridos por ejemplo pentosas (principalmente), hexosas, pequeñas cantidades de ácido uránico y sus derivados y otros metilatos de azúcares neutros (ver figura 7)⁽¹¹⁾.

Los galactoglucomanos, principales hemicelulosas presentes en la madera suave están compuestas de enlaces lineales de β -D- manopiranosas y β -D- glucopiranosas en una relación aproximadamente 1-4 unidades por 1-4 enlaces glucosídicos. La unión de una pocas unidades de galactosa producen también los llamados glucomanos.

En las maderas duras del 15 al 30% de la pared celular está compuesta de hemicelulosa en las cuales están presentes D-xilosa, D- manosa, D-glucosa (en orden decreciente de abundancia). Las cadenas en la mayoría de las hemicelulosas en la madera dura están compuestas de unidades β - D- xilopiranosas enlazada por cadenas de 1,4- glicosídicos (los xilanos).

4.1.2 LIGNINAS

La lignina es la parte de la pared celular que no es carbohidrato sino que es un polímero derivado de fenil alanina y de la tirosina, dos aminoácidos y esta representa del 18 al 28 % en la madera.

En la madera dura los enlaces entre ligninas son más frecuentes que en madera suave. Las maderas suaves contienen aprox. 48% de β -O- 4 éter como uniones y el 60% en maderas duras. Las ligninas de maderas suaves tienen una estructura más condensada y tienen un peso molecular mas alto que las maderas duras, por ejemplo, las estructuras condensadas en las posición 2 ó 6 y los enlaces difenilo pueden constituir del 12 al 14 % en maderas suaves y su contribución en maderas duras está en el rango de 7.5 a 8.5%. Sin embargo, la unión del segundo grupo metoxi sobre el anillo aromático junto al grupo fenólico reduce considerablemente los enlaces C-C, por esta razón, entre otras, las maderas duras son más fáciles de delignificar que las maderas suaves. La revisión por Alder¹⁹⁹ debería ser consultada para una mejor comprensión de la estructura de la lignina como una función de la especie así como una narración muy elegante de como las estructuras de lignina evolucionaron en los últimos 100 años. La mayoría de las

ligninas de madera tienen una variación pequeña de ácidos relacionados, especialmente el ácido felúrico y p-hidroxibenzoico. Las ligninas tienen cantidades bajas de estos ácidos asociados.

Estos polímeros irregulares sirven como un cemento entre las fibras de las maderas así como un agente endurecedor por lo que este actúa como una barrera para las enzimas y por lo tanto se previene la degradación de la pared celular.

Por otra parte los materiales de lignina son muy complejos, de hecho estos polímeros son muy difíciles de definir. Otros polímeros naturales no pueden degradar a las ligninas a monómeros estructurales de una manera definida y fácil, además, son estructuras que dependen no solamente de la genética sino también del método de preparación.

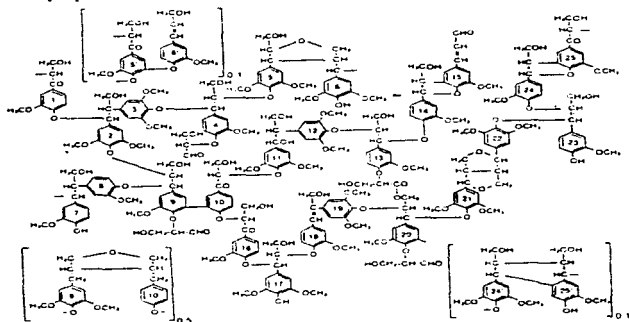


Figura 8. Estructura propuesta de una lignina

Freudenberg y colaboradores⁽⁵⁷⁾ en 1946 y al presente por Alder y colaboradores⁽⁵⁶⁾ investigaron y aportaron una gran variedad de reacciones de degradación (ejemplos oxidación, reducción e hidrólisis sobre un número de ligninas separadas cuidadosamente) y estos describen la caracterización estructural de 56

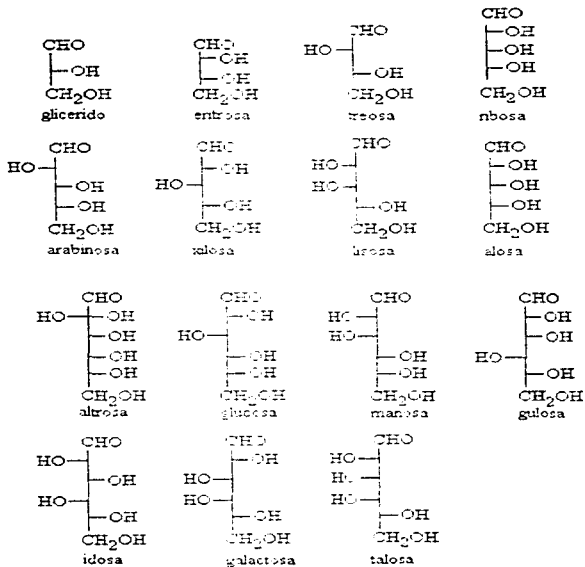


Fig.7

preparaciones de ligninas cuantificadas del grupo original y el asesoramiento de los diferentes tipos de enlace. Tales conocimientos son valiosos para la evaluación de ligninas como materiales en aplicaciones poliméricas.

4.1.3 ÁCIDOS GRASOS

Los aceites vegetales provenientes de semillas o de lípidos que están contenidos en la biomasa acuática, contienen una mezcla compleja de ácidos grasos.

Aunque las grasas son normalmente concentradas en semillas suaves (como el maíz, girasol, cártamo, etc.), los ácidos grasos pueden ser obtenidos a partir de la saponificación de la fracción extractiva de la madera (ejemplo éter o benceno como extracto). El ácido oleico y linoleico son predominantes en madera de pino, álamo y abedul que están presentes en cantidades pequeñas junto con otros ácidos saturados. Estos ácidos grasos se encuentran como triglicéridos (coexistiendo en árboles y plantas verdes), y son esterificados a otros alcoholes (tales como esteroides), los cuales existen como ácidos libres [1].

Las fracciones extractivas de la madera son de aproximadamente 5% del peso seco de la madera, la cual puede ser incrementada utilizando compuestos químicos adecuados (por ejemplo un sin número de compuestos alifáticos en las grasas), tal como el 1,1 dimetil 1-4,4-dicloruro de bupiridino.

Las fracciones de cadena larga como la brea seca, turpentina y ácidos grasos de cadena larga son usadas como materia prima para la producción de químicos. El contenido y composición de esta fracción varía de acuerdo con las especies y la localización en el árbol. Los terpenos son importantes compuestos orgánicos volátiles, que tienen fragancias características las cuales pueden ser químicamente modificadas. La fracción de resina consiste de ácidos pimáricos y abieticos que están instaurados.

Una variedad de compuestos de fenol también pueden ser encontrados en esta fracción de la madera, estos compuestos son importantes para calentar el condensado

en la cuál la estructura en cadena es condensada en el carbón metilo (α - al grupo alcohólico del anillo heterocíclico) en posiciones, no saturadas del condensado, adyacentes con estructura aromática. Las fracciones de brea modificadas se usan en la impermeabilización en la industria de la pulpa y el papel. Las fracciones de terpenos son usadas como tiner o limpiador.

Las cantidades extractivas son fraccionadas en sus componentes para usos específicos tales como productos primarios para aceite, resinas politerpénicas e insecticidas, ver referencia (41) para más detalle de la composición química y otros usos de esta fracción importante de la madera en la industria química.

4.2 CARACTERÍSTICAS

Los diferentes compuestos de biomasa pueden ser expandidos para obtener diferentes calores de combustión como se ilustra en la tabla 6 (14).

Los monosacáridos tienen el más bajo contenido de carbono, el más alto grado de oxigenación y el más bajo valor calorífico. Cuando el contenido de carbono incrementa, el grado de oxigenación se reduce debido a que las estructuras convierten más hidrocarburos y los valores caloríficos se incrementan. Los compuestos grasos tienen altos valores caloríficos.

Tabla. 6 Valores aproximados de combustibles de compuestos selectos de biomasa

Componentes	Carbón, % (a)	MJ/kg (b,c)
monosacáridos	27	15.0
disacáridos	42	16.7
polisacáridos	44	17.5
ligninas	53	25.1
proteína cruda	53	24.0
grasa	75	39.4
carbohidratos	41-44	16.7-17.7
fibra cruda(d)	47-50	18.8-19.8

(a) valores aproximados, (b) seco, (c) para convertir MJ/kg. a Btu/lb, multiplicando por 430
(d) contiene 15-30% de lignina

La celulosa es el compuesto que tiene el más alto valor calorífico de 7.53×10^7 BTU/ lb. Los materiales fibrosos de la madera tienen contenidos del orden de entre 18.8 y 19.8 MJ/Kg (8.2×10^7 Btu/lb). Los aceites derivados de plantas secas tienen una mayor energía y aprovechan el valor calorífico de hidrocarburos parafínicos. Las concentraciones altas de compuestos inorgánicos en las especies de biomasa pueden afectar considerablemente los valores caloríficos porque los materiales inorgánicos generalmente no contribuyen al calor de combustión.

4.3 PROPIEDADES QUÍMICAS DE PLANTAS ACUÁTICAS

Las plantas marinas contienen cerca del 50-89% de agua, la cual se encuentra en dos formas: como solución salina y material coloidal (almacenada). La variación en el contenido de agua de especie a especie es inconsistente y va a depender de la región geográfica, edad y salud de la planta. Las algas café pequeñas y algas verdes típicamente contienen aproximadamente 80% de agua y las algas rojas 70%.

Las cenizas son un término común para todo material orgánico en la planta, con la excepción del agua. La mayoría de las cenizas en plantas marinas contienen materiales alcalinos, clorados, sulfatos, fosfatos, carbohidratos y silicatos. Las cenizas representan el 5% del peso seco de la planta y el 4% de éste se encuentra en forma de compuestos solubles en agua. Las algas marinas contienen más sulfuros (0.5-1.0% del peso seco) que otros organismos excepto que las bacterias fijadoras de sulfuro.

Más del 90% de nitrógeno en las plantas marinas se halla como proteína, el restante se encuentra como nitritos y amonio. De 0.5 al 0.66 de la proteína y todo el nitrógeno inorgánico está disuelto en agua ⁽¹⁾.

En general las paredes celulares están compuestas con materiales de parte fibrilar y región mucilaginosas, como en la biomasa terrestre la parte fibrosa está compuesta de celulosa, sin embargo, los polímeros lineales de β -D-manosa también han sido observados. Las hemicelulosas similares a los mananos y los xilanos

también son encontrados en las algas, además la biomasa acuática contiene ácido algínico y sus sales. Estos compuestos están formados principalmente por derivados de ácido urónico. En la mayoría de las algas investigadas está presente el sulfato en los polisacáridos conteniendo grupos semi-ésteres. Los polisacáridos sulfatados, incluyendo al pirano, han sido encontrados en una fracción pequeña en algunas especies de algas conocidas (ver referencias 55,56 detallando las funciones de estos carbohidratos) y que representan una constante preliminar de la pared celular. Un sin número de carbohidratos almacenados en la biomasa terrestre han sido encontrados en la biomasa acuática, estos incluyen alfa-1,4- glucopiranososa como derivados disacáridos tal como sacarosa y monosacáridos tales como glucosa, galactosa, xilosa, altrosa, idosa y sorbosa han sido identificados en algunas especies de algas. Otras clases de sacáridos, tales como polialcoholes han sido encontrados así como derivados del inositol, los polisacáridos lineales (manitol, sorbitol, eritritol, galactitol) en biomasa acuática son mas complejos que los de biomasa terrestre.

El contenido proteínico de plantas marinas ha sido estudiado por investigadores interesados en su uso como alimento humano o forraje. Lewis ⁽¹⁾ reportó las variaciones de especie a especie en concentraciones proteínicas (7.4-41.1% de peso seco). La calidad proteínica puede variar de lugar a lugar en la misma planta, pero no varia con la edad. Aunque algunos compuestos tóxicos (ejemplo ácido 2-amino caprílico) están presentes en algunas algas otras tienen esencialmente aminoácidos esenciales para la nutrición humana.

Otros compuestos han sido estudiados en algas marinas, estos incluyen ácidos acrílicos y linoleicos, sesquiterpenos, lactonas terpenoides, fenoles, etc. El ácido algínico, un pequeño polisacárido soluble en agua, de la alga café que consiste en grandes cantidades de sal de calcio y magnesio de mezclas de polímeros de ácidos D-manurónico y L-glucurónico ⁽²⁾.

CAPITULO 5

5.0 CONVERSIÓN DE BIOMASA

Varios métodos pueden ser usados para la producción de energía, electricidad y combustibles sólidos, líquidos y gaseosos a partir de biomasa. Además se pueden producir por un rango amplio de técnicas de proceso.

Las tecnologías más adecuadas para convertir la biomasa en energía y los productos que se derivan de un proceso dependen, entre otros factores de:

- a) La clase de biomasa.
- b) Su contenido de humedad..
- c) Las condiciones del proceso de conversión (tasa de alimentación de la materia, tamaño de las partículas, relación biomasa- aire, temperatura de conversión, etc.).
- d) El uso final del producto energético.

Los métodos de conversión los podemos dividir en:

- A) Físicos
- B) Bioquímicos
- C) Térmicos
- D) Químicos
- F) Electroquímicos

Entre las condiciones que han incrementado el interés de la biomasa destacan:

- a) La existencia de tecnologías bien desarrolladas para generar a partir de ella energía calorífica (quemándola en calderas) y combustibles líquidos y gaseosos, tales como alcoholes etílico y metílico o metano (Pueden ser útiles con sólo modificaciones menores en dispositivos estándar empleando una mezcla de biocombustibles de baja concentración e hidrocarburos; esto es, los combustibles obtenidos de la biomasa pueden ser complemento o sustituto de los combustibles

fósiles) y b) muchas de las sustancias orgánicas obtenidas del petróleo, gas natural o carbón empleadas en industrias como la petroquímica, pueden obtenerse también a partir de la biomasa. Por otra parte, entre las fuentes renovables de energía, la biomasa es quizá la única opción que tiene potencial para proporcionar en un futuro próximo cantidades importantes de combustibles líquidos y gaseosos, que podrían ser de gran interés para el sector transporte (el cual representó el 23.7% de la demanda de energía interna de México en 1979 y en 1990 alrededor del 20% de dicha demanda) (13).

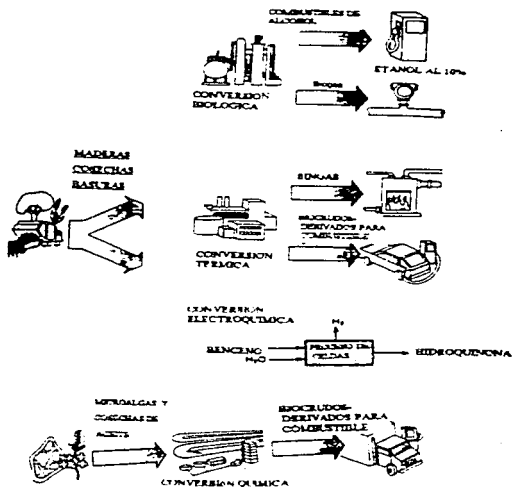


Figura. 9 Conversión de combustibles a combustibles útiles.

5.1 Procesos Físicos

Los procesos físicos se pueden dividir en tres métodos:

5.1.1 Molienda

5.1.2 Separación

5.1.3 Deseccación

5.1.1 Molienda

Se reduce el tamaño de partícula preparando la biomasa para almacenamiento, embarque y para el uso directo como combustible en los procesos de conversión.

El tamaño final de partícula de la biomasa depende del uso al que se destine como combustible. En los procesos de gasificación térmica, el tamaño del material influye en la rapidez de combustión. En los procesos biológicos tales como la digestión anaeróbica para la producción de metano, las partículas pequeñas aumentan la rapidez de reacción porque hay una mayor área superficial expuesta para los organismos (1).

5.1.2 Separación

Algunas veces se desea la separación de la biomasa en dos o más componentes para diferentes aplicaciones, por ejemplo en la biomasa forestal se separa la corteza de los componentes de la pulpa y en la biomasa marina la separación es importante para aislar varios químicos.

5.1.3 Deseccación

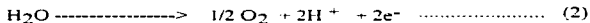
Esta es referida comunmente a la vaporización total o parcial del agua en la biomasa. De otra manera sería mayor la energía consumida, por ejemplo la combustión directa de algas con un alto contenido de humedad es técnicamente posible pero no es favorable energéticamente hablando o bien, tratamientos térmicos tales como la pirólisis e hidrogasificación no pueden ser usados directamente sin

antes secar las algas. Los métodos tales como la digestión anaeróbica son los más aceptados para usar las algas marinas debido a que no tiene que ser removida el agua de ellas para su uso en los digestores.

5.2 Procesos Bioquímicos

Un apasionante avance en la investigación sobre energías renovables fue el descubrimiento, hace unos trece años (1984) ⁽¹⁾, de que la luz podía descomponer el agua en hidrógeno y oxígeno utilizando membranas que contenían clorofila con enzimas añadidas al agua para actuar como catalizadores. Esto fue el primer paso hacia el desarrollo de un sistema "biológico" que puede transformar a la energía solar en un combustible útil, el hidrógeno. En aquellos primeros días, el proceso (para producción de hidrógeno gaseoso en una celda electroquímica) continuó solo unos minutos, antes que el sistema muriese, un reflejo de la inestabilidad de los compuestos biológicos cuando se separan de su entorno natural. Durante los últimos años, ciertos laboratorios de Estados Unidos y Europa, incluyendo los King's College, de Londres, han prolongado la vida de los sistemas más de 20 veces en duración, de modo que puede continuar produciendo hidrogeno durante diez o más horas. Al mismo tiempo, el índice de producción de hidrógeno ha aumentado en un orden de magnitud ⁽²⁾. La biofotosíntesis tiene atributos únicos comparada con cualquier otro sistema energético conocido: el sustrato (agua) es abundante; la fuente de energía (luz solar) es efectivamente ilimitada; el producto (hidrógeno) puede almacenarse y no es contaminante; y el proceso es completamente renovable porque cuando se consume el hidrógeno, se regenera el sustrato, agua. Otro atractivo de este sistema es que opera a temperaturas ambiente normales y no implica intermediarios tóxicos ⁽³⁾.

Luz



Los problemas de creación de un sistema bioquímico estable que funcione durante horas, son enormes y puede que jamás se resuelvan. No obstante, si pudiésemos comprender cómo actúan los procesos fotobiológicos, e imitarlos después, posiblemente creando un sistema completamente sintético, podríamos finalmente ser capaces de aprovechar la energía solar disponible en climas templados y cálidos. En donde sólo la intensidad de la luz determinaría el índice de producción de hidrógeno. Sin embargo, la producción fotobiológica de hidrógeno se halla aún en fase experimental y tiene que refrendarse y emplear investigación diversa antes de estar dispuesta para su desarrollo final^{41,24}.

Otra posibilidad, aunque aun más inverosímil, es el desarrollo de una "batería biológica". Esta idea surge del descubrimiento de que ciertas bacterias púrpuras que viven en el Mar Muerto desarrollan una diminuta diferencia de potencial cuando el sol brilla sobre ellas⁴².

5.3 Procesos Químicos

Una gran cantidad de compuestos químicos pueden ser obtenidos por biomasa, especialmente a partir de madera (silviquímica), por muy diferentes métodos termoquímicos (ver tabla 7). Por ejemplo, la pirólisis de la madera fue usada por la Ford Motor Company en 1929 para la manufactura de varios compuestos químicos como se muestra esquemáticamente en la fig. 10. El alcohol de madera (metanol) fue manufacturado a gran escala por la destilación destructiva de la madera desde los años 30's y principios de los 40's la cual, fue posteriormente desplazada por los combustibles fósiles.

La química de los productos silviquímicos está relacionada directamente con la composición de los árboles, sin embargo, algunos químicos en especial no son obtenidos a partir de su procesamiento porque, se producen naturalmente en ciertas especies de plantas o pueden ser fácilmente derivadas de éstas, por ejemplo el ácido alginico del kelp café gigante y los alcaloides fisiológicamente activos en ciertas

plantas. El etanol se produce por métodos químicos a partir de almidones mediante fermentación, este método es empleado desde hace muchos años.

Tabla 9. Fuentes, Procesos, y Productos

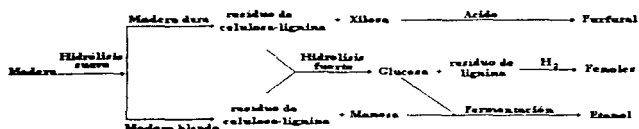
Fuentes de biomasa	Procesos de conversión primaria		Productos energéticos primarios
Basadas en biomasa -árboles -plantas -hierbas	separación carbón péculu hidrogenación fermentación anaerobia fermentación aerobia biocatálisis oxidación parcial refinación de vapor hidrólisis química hidrólisis enzimática otras conversiones químicas procesos naturales	energía combustibles sólidos combustibles gaseosos	biogás biogás biogás combustibles de carbón metano hidrógeno gas de bajo valor térmico gas de mediano valor térmico etanol metanol hidrocarburos ligeros acetos
Basadas en agua -algas unicelulares -algas multicelulares -plantas acuáticas		combustibles líquidos químicos	

La disponibilidad de azúcares con seis átomos de carbono, tal como la glucosa es un factor importante en el desarrollo de la industria química basada en la biomasa. Desafortunadamente, mucha de la biomasa tiene un gran contenido de celulosa en vez de azúcar con seis carbonos, por lo que tiene una baja biodegradabilidad y por lo tanto no puede ser fácilmente convertida a alcohol y a otros productos por fermentación sin primero liberar los monosacáridos.

La producción de monosacáridos puede ser llevada a cabo por la disolución de la celulosa, separando las sustancias insolubles por precipitación antes de efectuar la hidrólisis. Por medio de este método se destruyen las estructuras cristalinas complejas y algunas células que pueden estar presentes y se obtiene un alto rendimiento de glucosa. Una aproximación para mejorar la fermentación del alcohol es combinar la sacarificación y la fermentación. La hidrólisis de la celulosa catalizada por enzimas y la fermentación para obtener alcoholes toma lugar en el mismo recipiente en presencia de enzimas y levadura. Reduciendo la presión del

fermentador y reciclando las enzimas y la levadura se obtiene una producción del 70 al 80 % de etanol⁽¹⁴⁾.

La hidrólisis ácida moderada de la hemicelulosa en madera produce predominantemente una solución de xilosa o manosa y un residuo de lignocelulosa. El tratamiento de estos residuos con ácido fuerte produce una solución de glucosa, la cual pueda ser combinada con manosa para la fermentación del alcohol. Los fenoles pueden ser producidos a partir de estos residuos por hidrogenación y el furfural a partir de xilosas por tratamientos con ácido fuerte. Los productos son etanol, furfural y fenoles.



Obviamente, hay muchas rutas diferentes para la producción de químicos orgánicos, por su alto contenido de polisacáridos y su reactividad. El valor práctico de los procesos de conversión selectivos para uso comercial con biomasa dependen de la disponibilidad y precio de los mismos productos químicos del petróleo y gas natural.

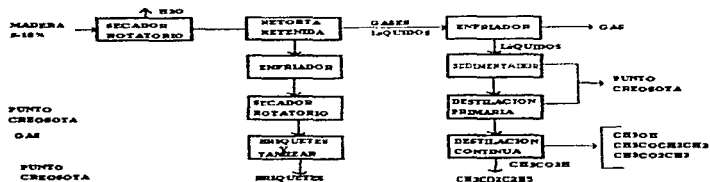


Fig. 10 Esquema del proceso de la Ford Motor Company (1929)

5.4 Procesos Electroquímicos

La electricidad es un intermediario universal de la utilización de la energía y su consumo esta creciendo rápidamente debido a sus múltiples ventajas.

Estas situaciones plantean el problema del estudio de mejores caminos a seguir para convertir en electricidad la energía química contenida en la biomasa vegetal.

La vía tradicional de las centrales térmicas para la producción de electricidad es aplicable, a partir de todos los combustibles, inclusive aquellos que se pueden extraer de la materia vegetal. Pero la larga cadena energética de este proceso pasa por el calor y tiene por lo tanto el grave inconveniente de estar estrictamente limitado en su rendimiento por el principio de Carnot y la reversibilidad de la combustión térmica a alta temperatura.

Existe otro camino mucho mas directo: este es la conversión electroquímica donde la energía química es transformada en energía eléctrica en una sola etapa. Esta forma presenta la ventaja considerable de evitar el paso por el calor y por consecuencia, limitada por el ciclo de Carnot. Esta conversión directa se hace en una celda de combustión electroquímica, a una temperatura moderada y sin contaminación.

La electroquímica se basa en materiales poliméricos básicos tales como la celulosa, hemicelulosa, lignina (obtenidos a partir de procesos químicos como la hidrólisis ácida o la fermentación) y de aceites vegetales (por extracción), tal como el aceite de algodón, etc. para su transformación en productos útiles.

La síntesis electroorgánica puede ofrecer una gran selectividad de productos a partir de varios procesos químicos, principalmente los procesos reductivos, que se llevan a cabo dentro de los procesos electroquímicos. Las variables habituales que se deben tomar en cuenta para que se lleven a cabo las reacciones electroquímicas son temperatura, presión, pH, catalizador y tiempo, otras variables adicionales a considerar son la conductividad de la solución y el diseño de la celda (1).

5.4.1 Conversión Electroquímica de Carboxilatos a Hidrocarburos

En 1834, Faraday llevó a cabo la primera electrólisis de carboxilatos dando hidrocarburos, y que mas tarde fueran rigurosamente investigados y dados a conocer por Kolbe (1847)⁽⁶⁰⁾.

Los primeros trabajos de Faraday y Kolbe establecieron que los ácidos grasos podrían usarse completamente para oxidarse a hidrocarburos pero, en su teoría clásica del potencial controlado de reducción de nitrobenzeno para dar anilina indicó que el método electroquímico puede ser selectivo (ver la figura 11)⁽⁶¹⁾.

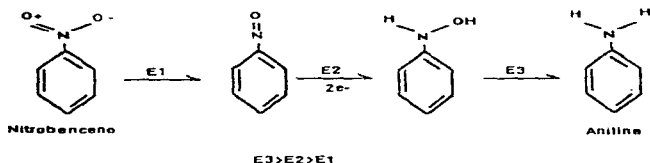


Figura 11 Potencial controlado, en la reducción de nitrobenzeno

Por otra parte, el hidrógeno puede ser generado catalíticamente de 0.7 a 1.3V con carboxilato como un depolarizador anódico. Las reacciones anódicas producen CO_2 e hidrocarburos. Esta química no es muy atractiva para una parte del sistema de producción de hidrocarburos útiles. La conversión análoga realizada a partir de acetato a metano y bióxido de carbono y fotocatalizada por la absorción de luz a partir de partículas de bióxido de titanio (que tienen una cantidad de platino en la partícula) fue poco fotocatalizada en un medio de carboxilato. En esta reacción el TiO_2 se comporta como un fotoánodo, además los aniones acetato se convierten a radicales metilo y CO_2 . El ión hidrógeno es reducido con un cátodo de platino dando hidrógeno gaseoso.

5.4.2 Electroquímica de la Celulosa, Hemicelulosa y Almidón.

La electrólisis de la celulosa en medio ácido (0.5 molar de ácido sulfúrico y $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ saturado) llevan a una degradación considerable de la celulosa. La celulosa oxidada parece retener su elasticidad física y su carácter fibroso , en el cual fueron obtenidos números de cobre altos (Los números de cobre reflejan el número total de grupos reducidos en la celulosa, determinados por la reducción de la solución de Fehling) (véase Nikitin ⁽⁶¹⁾), pero el incremento correspondiente del ácido carboxílico no fue tan significativo.

Por otra parte la electrólisis de soluciones coloidales de la hemicelulosa fué investigada como un medio para recuperar la solución alcalina de un licor cáustico (5M de NaOH) a partir de una planta viscosa. Cuando se aplicaron 4.2 voltios a la celda, las hemicelulosas disueltas (2% en peso) fueron oxidadas a CO_2 y H_2O . La electrólisis se llevo a cabo en una celda dividida por una placa de asbesto. En el cátodo, fue colectado hidrógeno puro y en el ánodo cristalizó carbonato de sodio decahidratado en la solución. La solubilidad de la hemicelulosa decreció con el incremento del contenido de carbonato de sodio, al final de la electrólisis se obtiene una pequeña cantidad de polisacáridos precipitados en solución.

Oertel ⁽⁶²⁾ informó haber degradado y oxidado del 60 al 70% de la celulosa a entidades de bajo peso molecular por medio de la electrólisis con electrodos de platino de una suspensión de algodón a un pH neutro conteniendo, 16% de cloruro de potasio. Estas fueron indicadas por los grandes números de cobre (aproximadamente 30) observados. Variando la concentración del electrolito, la densidad de corriente y el tiempo se obtiene una goma-gel con propiedades adhesivas ⁽⁶³⁾. Los números de cobre y el contenido de ácido carboxílico urónico total se incrementan con el aumento de la concentración del electrolito y la densidad de corriente. La concentración total del ácido carboxílico se incrementa durante 8 horas

y después decrece. Los números de cobre se incrementan permanentemente con el tiempo de electrólisis.

Más tarde Neuberg ¹⁴⁴ investigó la electrólisis de aproximadamente 50 compuestos orgánicos incluyendo almidón, manitol y rafinosa. Neuberg encontró que después de muchos días los polímeros (el almidón, algodón, manitol y rafinosa) fueron fragmentados en azúcares y estos fueron degradados por medio de una reacción de dos pasos a azúcares más bajos.

Farley e Hixon ¹⁴⁵ reportaron que el almidón de maíz pudo ser oxidado por la electrólisis alcalina en una solución de cloruro de sodio. La rigidez y la elasticidad del gel de las pastas, que se obtienen a partir de la oxidación del almidón, disminuye con el aumento de la oxidación.

Una de las electrólisis más efectiva de estos materiales poliméricos de glucosa fue llevada a cabo en los años 60's. Esta fue la oxidación indirecta del almidón a almidones de dialdehído, inicialmente fue empleada una celda con un ánodo de óxido de plomo y un cátodo de acero, y fue usado un separador de óxido de aluminio poroso. El anolito fue una solución de sulfato de sodio acuoso conteniendo ácido yódico. La figura 12 indica las reacciones en el compartimiento del ánodo, más tarde en un proceso de dos pasos, el ácido yódico fue convertido a ácido peroyódico en una celda electroquímica y este reactivo fue, bombeado hacia el reactor químico donde el almidón fue oxidado a almidón dialdehído. Este proceso fue llevado a cabo a escala comercial ¹⁴⁶

5.4.2.1 Aplicaciones en celdas de combustible

Brockris y colaboradores ¹⁴⁷ investigaron la posibilidad del uso de la celulosa y del almidón como combustibles para sistemas de celdas de combustible. Los carbohidratos tales como sacarosa, celobiosa (dímero β-D-glucosa) y glucosa fueron investigados bajo las mismas condiciones experimentales, las condiciones

experimentales empleadas fueron 40% de H_3PO_4 y 5N de $NaOH$ a una temperatura de 80 a 100°C, usando un electrodo de platino (52 cm^2) como ánodo.

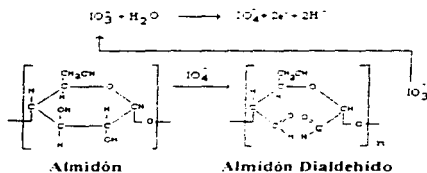
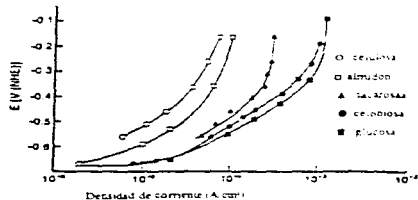


Figura 12. Oxidación indirecta del almidón a almidón dialdehído

La gráfica 1 compara la rapidez de oxidación anódica de los carbohidratos investigados en medio alcalino a 80°C observándose que la reactividad decreció con el incremento de la complejidad en las moléculas. Por las energías de activación (cerca de 10 kcal/mol de celulosa) uno puede esperar densidades de corriente de 5 mA/cm² a temperatura altas, las cuales pueden ser obtenidas en soluciones acuosas.



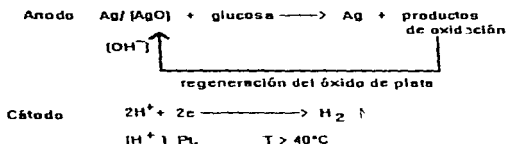
Gráfica 1 Comparación de la rapidez de oxidación anódica de varios carbohidratos en $NaOH$ a 80°C

La posibilidad de obtener electricidad a partir de la oxidación de la biomasa en una celda de combustible fue intensamente estudiada en los años 60^{os}. Varios

intentos fueron realizados para llevar a cabo la oxidación completa de un material como por ejemplo, la glucosa con electrodos de platino y carbono poroso platinizado en solución acuosa o suspensiones a varios pH's con intervalos de temperatura de 25-100°C. La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



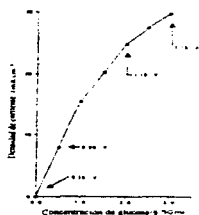
la glucosa se oxida en el compartimento del ánodo de plata en un medio básico se oxida y se reduce en el compartimento del cátodo de platino. Las reacciones se muestran en el esquema 2.



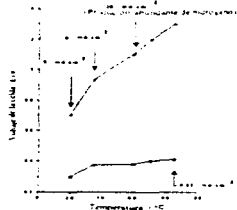
Esquema 2

La oxidación de la glucosa involucra los pasos de la reacción electroquímica heterogénea ⁽¹⁴⁾ en los cuales los óxidos de la superficie no son mostrados ni caracterizados. La superficie activa oxidada se genera espontáneamente, cuando los protones en el catolito ácido son reducidos en el cátodo. Como resultado de estas reacciones espontáneas, un flujo de corriente eléctrica corre en el exterior y una corriente iónica, iones sodio, vía migración por medio de una membrana de Nafion en el compartimiento del cátodo, además se producen productos intermedios como ácido glucónico, arabónico y fórmico.

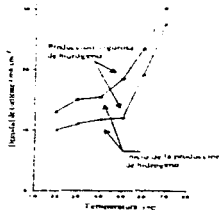
En la gráfica 2 se muestra como al aumentar la glucosa aumenta el flujo de corriente y el voltaje de la celda. En las gráficas 3 y 4 se muestra el aumento de voltaje y la densidad de corriente, pero ahora aumentando la temperatura.



Gráfica 2

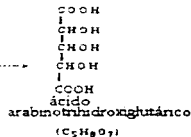
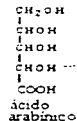
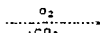


Gráfica 3



Gráfica 4

Bockris et al. ⁽⁶⁾ encontraron experimentalmente que 2 faradios fueron involucrados en la reacción de un mol de CO₂, pero de acuerdo con la ecuación 3. 4 faradios están involucrados en la producción de 1 mol de CO₂. La diferencia entre resultados experimentales y la estequiometría de la ecuación fue explicada por el postulado de que las reacciones de oxidación química están unidas con la degradación de la unidad de glucosa.



y



Esquema 3

De acuerdo con este esquema, 2.3 faradios son usados por mol de CO₂ producidos, un valor que concuerda bien con los resultados experimentales.

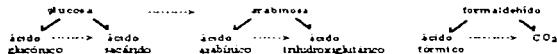
La contribución de la reacción química para producir CO₂ en este esquema concuerda con las pruebas en blanco, sin corriente (~ 15% durante la oxidación anódica).

Cálculos a 120°C indicaron que una densidad de fuerza de ~1 mW/cm² pudo ser obtenido en una celda de combustible celulosa-aire. Estos resultados sugirieron que la oxidación y la degradación electroquímica de celulosa como un posible camino para convertir la basura de celulosa en combustible para los vehículos espaciales ⁽³⁾.

5.4.3 Electroquímica de Monosacáridos.

La electroquímica de monosacáridos y compuestos derivados fue revisada por Fedronko ⁽¹⁾ quien enfatizó el uso de técnicas polarográficas para análisis de carbohidratos.

Desde hace mucho se conoce que las soluciones ácidas de glucosa pueden ser oxidadas y degradadas. Loeb ⁽²⁾ y Nuberg ⁽³⁾ demostraron que los productos de la electrólisis sufren oxidación y fragmentación, seguida por oxidación. Con ánodos de plomo en una solución de ácido sulfúrico, los productos de oxidación son ácido glucónico [CH₂ OH (CH OH)₄COOH], ácido sacárico [COOH(CHOH)₄COOH], así como los compuestos resultantes de la fragmentación seguida por una oxidación, tales como ácido arabinico [CH₂OH(CHOH)₂COOH], ácido trihidroxiglutarico [COOH(CHOH)₂COOH], y formaldehído, ácido fórmico y CO₂.



Esquema 4

Neuberg ⁽¹⁾ comprobó que el bióxido de carbono puede ser electroquímicamente separado a partir de ácidos aldónicos con la formación de aldosas mas bajas. El mecanismo propuesto para la oxidación fué la formación de ácido aldónico y el ácido 2-cetoaldónico. El ciclo de degradación se pudo repetir completamente hasta la conversión de los monosacáridos en bióxido de carbono.

La síntesis de gluconato de calcio se lleva cabo comercialmente por Sandoz-Chefaro. Por ejemplo, en la India la producción electrolítica a escala pequeña de gluconato de calcio es llevada a cabo en celdas que contienen electrodos de grafito que rotan. El voltaje de la celda es de 10 a 12 V, operando de 10-15 A/dm², con un consumo de electricidad de 4kW/Kg⁽²⁾.

5.4.4 Síntesis de Polialcoholes

La electrorreducción de D-glucosa ha sido investigada en soluciones acuosas, este carbohidrato esta presente en la forma ciclohemicetal y el rompimiento del anillo para la forma aldehídica en una reacción catalizada ácido/base. La forma aldehídica es la especie electroactiva, por lo tanto, un medio básico incrementará la rapidez de electrorreducción. Sin embargo, un medio básico fuerte también favorece la isomeración D-glucosa a D-manosa y D-fructuosa con la aldonización y la hidratación simultánea. El sorbitol y el manitol son los principales productos de reducción. Sin embargo, tambien otros productos han sido aislados y caracterizados.

Las condiciones para la producción electrolítica de sorbitol y manitol fueron inicialmente propuestas por Creighton ⁽³⁾. La Atlas Power Co. comenzó la producción de 1500 Ton/año en 1937, sin embargo, el proceso fué reemplazado posteriormente por la hidrogenación catalítica, un estudio posterior indica que la hidrogenación química catalítica consume aproximadamente 10 veces menos energía que los procesos electroquímicos.

Se han reportado 20 metales para cátodos y algunas de sus aleaciones para la reducción de glucosa a sorbitol, cátodos con alto sobrevoltaje y alta superficie con

actividad catalítica tales como Hg, pb, Zn, Zn/Hg,Pb/Cu, Sn/Hg dieron del 40 al 70 % de la eficiencia de corriente en polialcoholes.

La oxidación del carbón es un proceso de dos pasos que involucra la reacción de la rapidez controlada de carbono con bióxido de carbono formando monóxido de carbono y la oxidación posterior del monóxido de carbono por oxidación primaria. La rapidez global de la oxidación del carbono es directamente proporcional a su área accesible. Una energía de activación de 40 Kcal/mol se encontró para todos los tipos de carbones probados. Esta energía parece estar asociada con la rapidez determinada de la desadsorción del monóxido de carbono de la superficie del carbono, el acoplamiento del paso químico se ha intentado con varias configuraciones de celdas encontrándose problemas con los materiales debido a la naturaleza corrosiva del plomo y de los carbones con plomo llevando a configuraciones de celdas del tipo de densidad diferentes:

La celda de plomo- aire no operó satisfactoriamente como una celda indirecta de combustible para carbono (ó hidrogeno ó monóxido de carbono) obteniéndose densidades de corriente de ~ 40 mA/cm² a ~ 0.3 V. Con ánodos de estaño se muestra un desempeño mejor que con los ánodos de plomo, el voltaje de la celda es de ~ 0.7 V y ~ 100 mA/cm² a una temperatura de 770° C ¹¹.

5.4.5 Electroquímica de ligninas, la pirólisis carbonizada de lignina y compuestos relacionados

5.4.5.1 Electroquímica de ligninas:

Las ligninas pueden ser separadas del material de lignocelulosa por diferentes pretratamientos (por ejemplo hidrólisis, oxidación etc.). Las ligninas normalmente son mas fáciles de oxidar que la glucosa y otros monosacáridos (22).

Por su facilidad para oxidarse se usan en la pulpación (utilizando peróxido de hidrógeno o cloruro) y en el blanqueado de pulpas. Las pulpas que contiene grandes cantidades de lignina y hemicelulosa, necesariamente tienen que ser blanqueadas debido a que son apropiadas para varios usos tales como papel blanqueado y

periódico. Se emplean un sin número de agentes blanqueadores, por ejemplo, cloro, dióxido de cloro, hipoclorito, peróxido y oxígeno en combinación con algunos pasos de hidrólisis. En la industria la secuencia puede tener de 3 a 7 pasos¹⁷⁻²¹.

La oxidación extensiva de lignina por ozono o peróxido de hidrógeno en medio neutro o en medio ácido con ácido acético, produce bióxido de carbono, 5% de ácido fórmico y del 7 al 10% de ácidos dicarboxílicos tales como ácido malónico ($\text{HOOC} - \text{CH}_2 - \text{COOH}$), ácido succínico ($\text{HOOC} - (\text{CH}_2)_2 \text{COOH}$) y ácido oxálico [$\text{HOOC} - \text{COOH}$]. Una oxidación más drástica, con ácido nítrico por ejemplo, puede dar 20% del ácido oxálico. La autooxidación de ligninas a 200°C bajo presión puede producir no solamente ácidos grasos sino también bajas cantidades de ácido oxálico²².

Otra ruta importante, es la degradación química de donde cerca del 5% de lignina, es convertida en químicos útiles. Un buen ejemplo es la formación de vainillina, sin embargo, para romper la lignina se necesitan condiciones severas. Esto no es una sorpresa, porque aunque no es conocida con detalle la estructura de cada una de las ligninas, se conoce que poseen estructuras complejas e irregulares en parte por los monómeros enlazados fuertemente por enlaces carbono - oxígeno y carbono - carbono.

La lignina aislada de madera consta de 150 o más de tales unidades (enlaces). La figura 13 ilustra la estructura parcial de una lignina, la complejidad de la molécula y las cadenas grandes que tienen que romperse para dar derivados de benceno, incluyendo vainillina (La estructura precisa de la lignina depende de la especie de donde es obtenida está²³).

La autooxidación de lignina por nitrobenzono a 160°C en medio alcalino produce vainillina. Esta se usa en perfumes, saborizantes y productos farmacéuticos. éstas se producen comercialmente por la autooxidación de los ácidos lignosulfónicos.

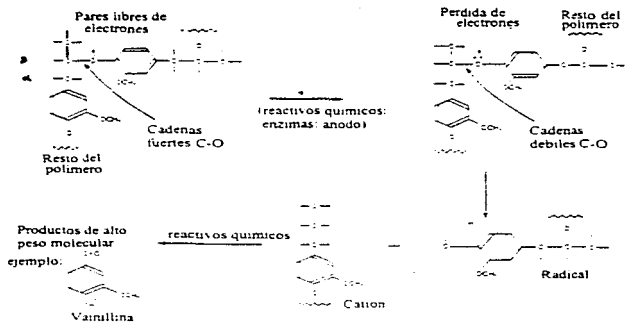
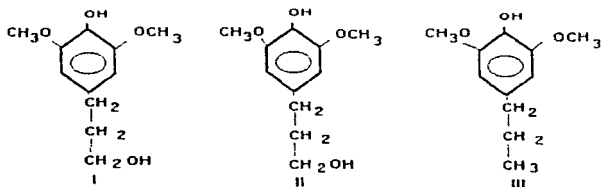


Figura 13

Por otra parte, la nitración de la lignina, se usa para la delignificación de madera dura y grasas en Europa Occidental para la formación de nitroligninas.

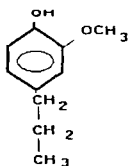
La hidrogenación y la hidrogenólisis pueden ser empleadas para producir compuestos fenólicos a partir de las ligninas usando un catalizador de níquel, en la hidrogenación de la lignina de la madera de maple, BrewerTM separó del 10 al 15% de lignina como los compuestos I, II y III:



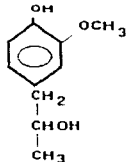
Los compuestos I, II y III fueron aislados con un rendimiento del 10 al 15% (el núcleo aromático esta intacto). Si la hidrogenación es llevada a cabo con cromito

de cobre como catalizador y a altas presiones, la hidrogenación de los anillos aromáticos puede ocurrir y los derivados de propilciclohexano pueden ser aislados con altos rendimientos.

Shorygina ¹¹ aisló el 28% de lignina como los compuestos IV y V. La hidrólisis o etanolisis de lignina también produce compuestos fenólicos.



IV



V

5.4.5.2 Agentes Blanqueadores Alternativos

Varios intentos se han realizado para disminuir el número de pasos que llevan al blanqueamiento de pulpas con la ayuda de un agente intermediario oxidante a partir de la electrólisis de iones cloro o la oxidación de ferrocianuro en presencia de oxígeno. La pulpa es suspendida en un medio apropiado y la electrólisis se lleva a cabo usando un ánodo dimensionalmente estable (o grafito) con cátodos de acero inoxidable usando bajas temperaturas para el blanqueamiento en presencia de soluciones de ferrocianuro alcalino; algunos aditivos se usan para disminuir la degradación de la celulosa. Algunos de los blanqueadores alternativos son los perácidos, principalmente los ácidos peracéticos.

Un nuevo método ha sido propuesto para convertir el bajo contenido energético de los ácidos hidrocarboxílicos, licores en perácidos para blanquear en una pulpa integral y la producción de blanqueadores, por ejemplo, el ácido láctico puede ser oxidado a acetaldehído que puede reaccionar con peróxido de hidrógeno para la producción de ácido peracético ¹².

5.4.5.3 Procesos Electroquímicos Aplicados a Derivados de Licores a partir de procesos de pulpación.

La acidificación en el compartimiento del ánodo en una celda dividida ha sido propuesta para precipitar lignina a partir de residuos de pulpa. Este proceso usa neutralizadores y coagulantes para la formación de complejos a partir de los cationes generados por la oxidación de los ánodos metálicos, también se utiliza una membrana selectiva de cationes y se emplearon densidades de corriente de 50 a 200 mA/cm² con 90°C. Las ligninas resultantes se separan por filtración o flotación.

Selivanov ⁽¹¹⁾ purificó efluentes a partir de la manufactura de papel usando ánodos de grafito y cátodos de acero inoxidable a 20-30 mA/cm² (14-15 V) con una rapidez de flujo de aproximadamente de 0.8 ml/h. La flotación y electrocoagulación permiten la separación de sólidos. La mayor reducción de la demanda biológica de oxígeno fue registrada en 1% y el contenido de sólidos suspendidos en agua fue de aproximadamente 5mg/l. La estimación de la energía consumida fue 1kw/m³ para el tratamiento de estos efluentes.

5.4.5.4 Recuperación de Reagentes

Los residuos de licores se acidifican con HCl, el cual precipita a la lignina y forma sulfuro de hidrógeno y soluciones salinas. La hidrólisis de estas soluciones con NaOH y Cl₂, seguida por la absorción del H₂S en una solución alcalina, recupera el sulfuro cáustico químico y regenera cloro para blanquear.

Estos licores ricos en polisulfuro incrementan significativamente la rapidez de delignificación. La oxidación electroquímica de los licores verdes puede aplicarse a cabo en pulpas semiquímicas obteniéndose rendimientos altos y durante el proceso reduce los niveles nocivos de olores.

La recuperación electrolítica de soluciones usadas en la producción de derivados de celulosa, tales como el rayón, han sido investigadas. La recuperación

de NaOH y H_2SO_4 utiliza energía, pero este costo es compensado por la reducción del 50% del vapor necesario para recuperar Na_2SO_4 .

La electrolisis de los lignosulfonatos de sodio producen un material de color café claro con significativos cambios en el contenido de los grupos carbonilo, carboxilo y ácido sulfónico. La distribución del peso molecular del polímero es cambiada de tal forma que ésta puede ser usada en una variedad de aplicaciones en las cuales es necesario el empleo de surfactantes solubles estables de dispersantes y blanqueadores. Por otro lado, esto es posible electroquímicamente por la despolimerización de lignosulfatos de calcio en componente de árboles principalmente de peso molecular bajo con rendimientos arriba del 60%. Altas producciones de metil etil cetona a partir de una variedad de fuentes de ligninas han sido obtenidos después de la electrolisis exhaustiva. Así se confirma en el trabajo de Bailey y Brooks¹¹¹ quienes presentaron una revisión exhaustiva de la literatura de la electrolisis de la lignina.

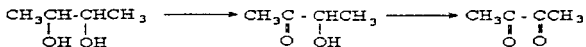
Por otra parte, Dauidov¹⁸⁴ et. al. incrementaron el blanqueamiento de la pulpa a 115 mA/cm^2 en una celda individual (3% NaCl). El decoloramiento con cloro causa un decrecimiento en el contenido de holocelulosa, sin embargo, durante la hidrogenación se llega a un brillo más estable. Stroniskii y Chupka¹⁸⁵ usaron un innovador proceso indirecto de blanqueado, con el par ferricianuro/ferrocianuro como el agente catalítico transmisor de electrones en NaOH a 60 C. Otros ejemplos son aquellos en los cuales el oxígeno electrogenerado es el agente blanqueador.

Pershina¹⁸⁶ investigó el uso de potenciales químicos y electroquímicos modificando la hidrólisis de lignina (a partir de la hidrólisis ácida de la madera).

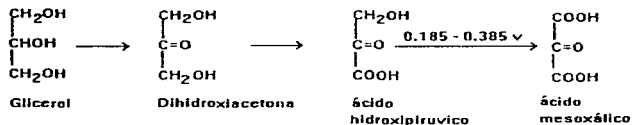
5.4.6 DIOLES Y TRIOLES.

Dependiendo de la elección del material del ánodo, se controla el potencial de la electrolisis permitiendo la selectividad del paso en la oxidación de estos compuestos. Con electrodos de platino en H_2SO_4 acuoso diluido, el etilenglicol es oxidado a glicoxal, ácido oxálico y otros productos. Con electrodos de platino

platinado en el mismo medio, el 2, 3-butanediol es oxidado con 80% de eficiencia de corriente a acetona la que puede ser oxidada a 2, 3- butanediona:



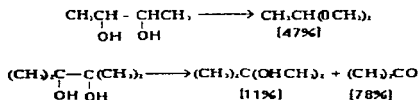
La oxidación de glicerol en solución alcalina con un ánodo de Ni Raney puede ser controlada para dar uno de los siguientes productos:



Esquema 5

Estas oxidaciones implican la transformación de grupos funcionales pero la molécula sale intacta.

La electrolisis de una variedad de dioles cíclicos y acíclicos, incluyendo los derivados de biomasa 2,3 butanediol y el pinacol a partir de acetona, con ánodos de carbón en forma de bastón con disolvente CH₃OH y p-toluénsulfonato de tetraetilamonio produjo el aldehído dimetilacetil.



Esquema 6

5.4.7 Electroquímica del CO₂

La conversión de CO₂, H₂O y luz solar en metanol provee un almacén de energía solar. El resultado final de este almacenamiento es poder usarlo como energía eléctrica, generada a partir de un dispositivo fotovoltaico para remover CO₂ de la atmósfera y reducirlo a metanol, este proceso es similar en muchos aspectos a la fotosíntesis.

El método a usar se divide en 3 pasos:

- 1) La remoción y concentración de CO₂ en la atmósfera.
- 2) La reducción de CO₂ a monóxido de carbono (CO).
- 3) La reducción de CO a metanol.

Para llevar a cabo estos pasos eficientemente debemos desarrollar experimentos adecuados para la concentración de CO₂ y la reducción a CO por medio de catálisis.

Se está estudiando cada uno de estos tres pasos, la concentración electroquímica del CO₂ usando acarreadores electroquímicamente activos:

La reducción de CO₂ a CO ha sido el resultado del desarrollo de una clase de catalizadores conjuntamente con una serie de pasos ya determinados, los cuales se están utilizando para desarrollar catalizadores que obtengan mayor rapidez de reacción, una mayor selectividad y mayores tiempos de vida. Un ciclo catalítico completo (ver figura 14).

5.4.7.1 Reducción de bióxido de carbono en medio prótico

Royer⁽²³⁾ en 1970 estudió la reducción electroquímica del CO₂ acuoso usando electrodos de zinc y bicarbonato de sodio como electrolito, sintetizando como único producto al ácido fórmico.

Utilización de CO₂

- 1) Concentración de CO₂ atmosférico
- 2) Reducción electroquímica de CO₂ a CH₃OH

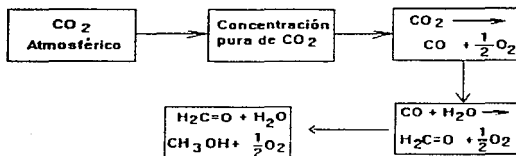


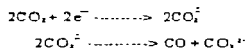
Figura 14 Reducción de CO₂ a metanol

Más tarde, con sistemas electrolíticos acuosos simples sin catálisis, el CO₂ se redujo con electrodos comunes con un alto rendimiento hasta ácido fórmico⁽¹⁴⁾. Esto es llevado a cabo en una celda dividida con una membrana de intercambio catiónico, obteniéndose ácido fórmico con aproximadamente 80% de eficiencia por un proceso indirecto: Na₂SO₄ + NaHCO₃ acuosos en el electrolito con un pH de 7 a 9 con cátodos de cobre y una densidad de corriente de aproximadamente 2A/dm². El ácido fórmico, es un compuesto químico industrial útil, el cual debe ser considerado como un reactivo para fijar al hidrógeno, aunque este reactivo forma un ácido corrosivo en lugar de un alcohol inocuo, fácilmente descompuesto catalíticamente (por ejemplo con Pb) a bióxido de carbono e hidrógeno. El ácido fórmico tiene que ser usado como un agente de hidrogenación y formilación en una síntesis de Traube⁽¹⁵⁾ modificada de cafeína y teofilina (Esquema 7).

El voltaje catódico para la reducción del CO₂ es aproximadamente -2V contra SCE. Se han hecho estudios para modificar el disolvente del sistema electrolítico de soporte (SSE) y para incorporar la catálisis, para: (a) disminuir el voltaje requerido y como consecuencia afectando los procesos más energéticamente favorables; (b) convertir CO₂ a otros productos energéticos (ejemplo, CH₄, CO+H₂, CH₂O y CH₃OH) y (c) sintetizar productos con más de un átomo de carbono. Esto se realiza

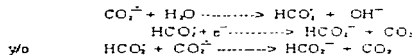
5.4.7.2 Reducción de bióxido de carbono en medios apróticos.

Un reciente estudio describió la reducción de CO_2 en dimetil sulfóxido, (DMSO) con electrodos de Au y Hg. Las técnicas electroanalíticas de cronopotenciometría y coulombimetría a potencial controlado fueron usados en presencia de agua intrínseca o deliberadamente adicionada, el ácido fórmico fué encontrado en sistemas totalmente secos, un proceso ión electrón produce CO y CO_3^- posiblemente por la secuencia:

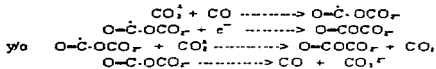


el cual, postula una desproporción del anión radical.

La mayoría del producto obtenido en la reducción del CO_2 es el dianión oxalato. Un estudio mecanístico encontró que CO , CO_3^{2-} , $(\text{COO})^{\cdot-}$ y HCOO^- pueden ser formados a partir de CO_2 en las sig. reacciones competitivas. En medio aprótico o prótico las siguientes reacciones pueden ocurrir:



En un medio rigurosamente aprótico, El CO_2 puede sufrir una variedad de electrotransferencias (E) y pasos químicos (C) : a) dimerizar el dianión oxalato (y una reacción E-C) (b) atacando a la molécula de CO_2 en el átomo de carbono para producir un dímero radical en forma de anión que en un segundo paso de transferencia de electrones (a partir de CO_2 o del electrodo) se reduce al dianión oxalato; (una reacción E-C-E) ó (c) ataca a una molécula de CO_2 en el átomo de oxígeno:



La ruta ECE a oxalato fue propuesta como un resultado de evidencia a espectroelectroquímica pero después fue cambiado.

Amatore y Sáveant ²⁰ también hacen énfasis en que la distribución de productos depende fuertemente de los factores de operación y difusión en espesor de las capas. Esto da inseguridad en la extrapolación de los resultados obtenidos en el contexto de las técnicas electroanalíticas a las condiciones que prevalecen en la electrólisis a macro escala de CO₂ en disolventes tales como N, N-dimetil formamida (HCONH₂) y DMSO se llevan acabo simultanea e independientemente en Monsanto, Texaco, DECHEMA produciendo principalmente oxalato. Esta electrólisis ha sido estudiada para ser adaptada a la producción a gran escala.

Fischer ²¹ describe una reacción paralela en la cual la reducción catódica de CO₂ en CH₃CN/ (C₂H₅), NCIO, en una celda no dividida esta combinada con la disolución anódica de zinc. El ácido oxálico es liberado del precipitado ZnC₂O₄ por ácido sulfúrico y el sulfato de zinc es electrolizado separadamente para producir Zn, el cual es reciclado, resultando un proceso limpio con eficiencias de corriente optimas mayores al 90 %.

CAPITULO 6

6.0 ASPECTOS AMBIENTALES

Aún cuando desde hace tiempo existía interés y preocupación sobre ciertos efectos ambientales de algunas fuentes de energía, tales como el control de humo en las plantas termoeléctricas que queman carbón, lo que dió origen al empleo de precipitadores electrostáticos y al estudio para remover los compuestos de azufre de los gases de chimeneas, ésta preocupación se centraba sólo en aspectos aislados del problema y se concentraba en las fuentes de energía convencionales.

A partir de la llamada crisis de energía en 1973, el interés en los efectos ambientales se acentuó, cuando se empezaron a promover fuentes que, aún cuando siendo ya conocidas no habían recibido casi ningún desarrollo. Se empezó entonces a hablar ampliamente de energía solar, energía eólica, biomasa, geotermia, etc., y se empezaron a oír frases, que aún hoy se escuchan, de energías que son gratuitas, no contaminantes, seguras, etc.. Esas frases eran parciales y lo eran en dos sentidos, en primer lugar porque trataban de resaltar las ventajas de las fuentes que cada quien prefería y en segundo lugar, porque no abarcaban la totalidad del aspecto que trataban, sino sólo una parte limitada del mismo, por ejemplo, al decir que la energía solar era gratuita se consideraba únicamente su llegada a la superficie de la tierra, pero se dejaba de mencionar el costo de las instalaciones para aprovecharla, lo que las hacían incoestables, sobre todo en la era de los combustibles baratos y que aún ahora que los combustibles son caros, limitan su aplicación a casos especiales pero que en un futuro no muy lejano llegarán a ser tan baratas como lo son los combustibles fósiles.

El capítulo lo podemos dividir en tres aspectos ambientales importantes que son:

1. La contaminación del aire
2. La contaminación del agua
3. Tipos de tecnologías disponibles

6.1 Contaminación del aire

Desde la pasada década, las naciones industrializadas han empezado a apreciar la magnitud y el tamaño del riesgo resultado de los procesos industriales presentes y pasados como consecuencia de la utilización de combustibles no renovables. La contaminación ambiental no es de nuestros días, el hombre desde la antigüedad usaba la madera para calentar sus alimentos y para proporcionarse calor, lo cual aún se realiza como una actividad para obtener energía ⁽¹⁾.

Los combustibles fósiles se utilizan actualmente para la fabricación de todo, su uso se ha extendido tanto que todo gira alrededor del petróleo por lo que el consumo del petróleo como energético es en grandes cantidades; por ejemplo en México representa el 90,3 % ⁽²⁾ del consumo de energía, por lo que, para poder evitar el continuo deterioro de nuestro medio ambiente es necesario sustituirlo por un recurso que no sea contaminante y a su vez sea barato.

Entre los factores que contribuyen al deterioro del medio ambiente existen tres cuestiones ambientales que están relacionadas estrechamente con la energía a partir de los combustibles fósiles que son: la lluvia ácida, el efecto invernadero y la deforestación ⁽³⁾.

La realidad de la lluvia ácida ya no admite más duda, ni su efecto sobre la vegetación, los peces, las carreteras, los edificios, etc. Aunque sí se puede dudar sobre el mecanismo de su causalidad. La lluvia normal es ligeramente ácida, la disolución del dióxido de carbono atmosférico en el agua de lluvia aumenta el pH aproximadamente entre 5,60 y 5,65. Este valor varía un poco de región a región y puede ser inferior a 5,6 en aquellas donde la atmósfera carece de elementos alcalinos ⁽⁴⁾.

No obstante, la lluvia (la precipitación- lluvia y nieve- para ser precisos) se ha vuelto sensiblemente más ácida en algunas zonas de Estados Unidos y de Europa Occidental y el aumento de su acidez muestra una relación con ciertos deterioros graves de la flora y la fauna; en particular, la destrucción en los bosques de ciertas

especies comunes de árboles y la desaparición de peces en los lagos sensibles a la acidez, como la trucha y el salmón.

La precipitación ácida se debe principalmente a la liberación en la atmósfera de óxido de azufre y nitrógeno que reaccionan con agua para formar ácidos sulfúrico y nítrico. Los efectos destructores de la lluvia ácida han sido observados principalmente en Estados Unidos y Europa Occidental.

Por otra parte la liberación de CO_2 de la biósfera debido a la combustión de la leña, a la deforestación (lo que ha disminuido la biomasa terrestre en un 7%) y la oxidación del humus o materia orgánica del suelo se produce en cantidades mayores que la fijación de CO_2 por fotosíntesis, con lo que la cantidad de CO_2 en la atmósfera se ha venido incrementando al paso del tiempo.

Otra fuente del incremento del CO_2 atmosférico, según Stuiver, el factor dominante de este incremento, es la combustión de combustibles fósiles, con lo que se genera una cantidad adicional de CO_2 que no forma parte del ciclo del carbono y una parte del cual se acumula en la atmósfera (figura 15).

En los últimos 125 años, la concentración de CO_2 en el aire ha aumentado de 268 ppm a 334 ppm o sea, un incremento del 25% ó 0.5 ppm de CO_2 por año es decir cerca de 6 billones de toneladas.

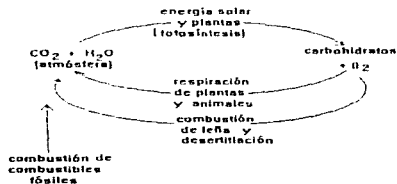


Fig. 15 Ciclo del carbono y del CO_2 en la atmósfera

Hoy, el CO₂ es eliminado de la atmósfera con una rapidez aproximadamente igual a la mitad de la velocidad con la cual se produce. El uso actual de combustibles fósiles es de unos 5,000 millones de toneladas anuales de carbono, lo que incrementaría el contenido de CO₂ en el aire en unas 2.4 ppm al año si todo este CO₂ se acumulara en la atmósfera. Sin embargo, las mediciones del aumento anual muestran que éste corresponde a 1ppm, por lo que el resto aparentemente se absorbe en los océanos⁽¹⁰⁾.

Se ha postulado que el aumento del CO₂ atmosférico tendrá serias consecuencias sobre el clima de la tierra. Una duplicación del nivel de CO₂ en el aire en la época pre-industrial, hasta niveles de 540-590 ppm, aumentaría la temperatura global de la atmósfera en unos 3°C, con un aumento de 6 a 7°C en los polos y sólo 1°C en el ecuador. Estos resultados fueron obtenidos a partir de examinar las fotografías proporcionadas por satélites en el polo sur. En donde se puede observar la cantidad de hielo que ha desaparecido en los últimos 20 años, cerca de 1.2 millones de km²⁽¹¹⁾, como consecuencia el nivel del mar ha aumentando cerca de 2 a 3 mm por año durante los pasados 50 años comparado con el 1mm por año durante el anterior medio siglo. Un reciente reporte del Environment Protection Agency⁽¹²⁾ prevee un aumento global en los niveles del océano de 144cm (4.8 ft) y 217 cm (7 ft) para el año 2000. Habría además un aumento global de la precipitación pluvial de un 7% sobre todo en altas latitudes, que se tornarían más húmedas, mientras que las latitudes bajas se volverían más secas. Si estos modelos climáticos son correctos, el aumento de CO₂ en la atmósfera resultaría en cambios profundos de los patrones de la vegetación, desertificación y agricultura⁽¹³⁾.

Siegenthaler y Oeschger⁽¹⁴⁾ han estimado que para evitar que el contenido de CO₂ en la atmósfera sobrepase un nivel 50% mayor que los niveles pre - industriales, podríamos seguir quemando combustibles fósiles, a la tasa actual, hasta finales del presente siglo, pero para entonces "una parte sustancial de la producción global de energía deberá provenir de nuevas tecnologías". Con este escenario, el aumento

global de temperatura sería de "solamente" 1 a 2°C, sin consecuencias climatológicas desastrosas. Si estas premisas son correctas, en los próximos siglos sólo podremos quemar aproximadamente un 10% de las reservas conocidas de combustibles fósiles.

Resulta evidente la urgencia con que se habrán de implementar tres tipos de acciones: la primera consiste en evitar la reducción de las superficies forestales, sobre todo de las selvas tropicales, reducir la quema indiscriminada de leña, y detener la desertificación. La segunda acción es rehabilitar las tierras erosionadas, desarrollar cultivos alternativos con altos rendimientos y reforestar los sitios dañados por la deforestación y tercero la sustitución de los combustibles fósiles por otras fuentes de energía que no produzcan perturbación del ciclo del carbono en la naturaleza, tales como la energía solar.

El uso de residuos forestales y ciertos tipos de maleza utilizados como combustibles puede disminuir los problemas de contaminación del aire. La remoción de maleza y residuos forestales reduce los riesgos de incendio y disminuye las enfermedades de las plantas causadas por la degradación de los desechos ⁽¹⁰⁾.

Otra opción es el cultivo de la biomasa para actuar como un sustituto directo de los combustibles fósiles (si se usa como sustituto estamos hablando de una contribución no neta de CO₂ al medio ambiente) ya que existe un gran potencial para la producción de combustible a partir de la biomasa. La comunidad europea (C.E.) está planeando una política que aumente al doble el uso de biomasa para el año 2005 y utilizar los biocombustibles para captar el 5% del mercado de vehículos de motores de combustibles y como consecuencia reducir la emisión de CO₂ atmosférico aproximadamente 180 millones de toneladas (Mt) equivalente a 50 m³/año.

Si se utilizan de 15 a 20 millones de hectáreas (Mha) de tierras cultivables para cultivos de biomasa, esto representa una disminución anual de 90 - 120 Mt³ o cerca de 50 a 120m³ de las emisiones de combustible fósiles independientemente del

combustible desplazado (7 - 17% del total de emisiones de carbono (C.E) para la comunidad). La política necesaria es que haya una mayor penetración de biocombustibles en el mercado, tal como el incremento de estudios, desarrollo y demostración, subsidios para biocombustible y carbón. Por lo que la biomasa se considera una de las llaves de los recursos renovables de energía para el futuro, junto con su gran potencial, disponibilidad económica, aceptación social y beneficios ambientales aunque esto es raramente considerado en estadísticas energéticas oficiales ⁽¹²⁾.

El control de la erosión y de los cultivos prolíferos es una política importante que implica la agricultura y el desarrollo de recursos alternativos de energía renovable.

Los granjeros del sureste de E.U.A. han sido capaces de realizar ambas políticas con un nivel alto de control de la erosión y un nivel aceptable de beneficios a través de la producción de cultivos energéticos de la biomasa con altos rendimientos. Este proyecto examina la factibilidad de una producción tecnológica en términos del beneficio de cultivos, control de la erosión y programas gubernamentales. Por lo que la erosión ha sido reducida por la diversidad de cultivos vegetales y forestales en granjas permanentes, además se obtienen rendimientos altos ⁽¹³⁾.

La producción de hierba como una cosecha energética en tierras altamente erosionadas disminuye los niveles de erosión con bajos costos y pueden hacerlas más fértiles y así mantener un nivel aceptable de proliferación ⁽¹⁴⁾.

Asumiendo que una productividad en peso seco de 12t/ha/año (cerca de 6 te/ha/año), la cuál es el objetivo del programa energético de la Comunidad Europea para la producción de biomasa, los Estados Unidos podrían teóricamente aislar todas sus emisiones de CO₂ reforestando el 25% de su territorio, Europa del este requeriría reforestar el 42% de su territorio y Japón 129% ⁽¹⁵⁾.

Pareciera ser que de las estimaciones hechas acerca de la reforestación para absorber el carbono liberado por los combustibles fósiles requiere menos territorio que para producir la biomasa para reemplazar estos combustibles. Esto sin embargo, no es necesariamente cierto dado que las cosechas periódicas de biomasa para obtención de energía permite que la tierra sea usada indefinidamente. Además, los productores de cultivos bioenergéticos elegirían cultivos herbáceos o madera de rotación corta por lo cual el rendimiento anual es de 2 a 3 veces mayor que para las especies de rotación larga.

Se conocen múltiples técnicas para utilizar la energía del sol y sus derivados para disminuir la contaminación ambiental como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8

Uso de la Energía en el Mundo. Emisión de Carbono y Metas

Fuentes de energía	1989		Metas para 2030	
	energía (mioe ^a)	carbón (millones de tons)	energía (mioe ^a)	carbón (millones de ton)
Acete	3,098	2,393	1,500	1,160
Carbon	2,231	2,396	240	430
Gas natural	1,707	975	1,750	1,000
Renovables ^b	1,813	7,060
Nuclear ^b	451	0	0
Total	9,600	5,764	10,490	2,590

a Millones de ton de aceite equivalente

b bajo ciertas circunstancias, entre la energía renovable y la energía nuclear pueden resultar en una emisión positiva de carbono

5.2 Contaminación del agua

La contaminación de ríos, lagos y mares es otro problema relacionado a la contaminación por lo que, con ayuda de la biomasa acuática podemos solucionar estos problemas y de paso obtener biomasa para producir energía.

La NASA en sus laboratorios de Tecnología Espacial ha demostrado, que ciertas algas pueden servir para purificar el agua como es el caso del jacinto acuático que ha sido utilizado para purificar las aguas residuales brutas de pequeñas comunidades al sur del Mississippi. Un estanque de media hectárea cubierto de

jacintos acuáticos, con un tiempo de retención de aguas residuales mínimo de dos semanas, puede purificar, a niveles aceptables de 75 a 80%, los residuos diarios de 1,000 personas^[24].

Los experimentos en los Laboratorios Nacionales de Tecnología Espacial de la NASA han demostrado, por lo tanto, que en condiciones tropicales y subtropicales los jacintos acuáticos tienen la capacidad de absorber elementos orgánicos, metales pesados, nutrientes y otros elementos químicos de agua residual, para producir al mismo tiempo grandes cantidades de materia vegetal. Esta biomasa de jacinto acuático, cuando se cultiva en aguas residuales libres de metales tóxicos, es una fuente potencial de proteína, fertilizante, gas metano y otros valiosos productos^[24].

6.3 Tecnologías disponibles para la disminución de la contaminación

Estas son algunas de las alternativas con las cuales se disminuiría el impacto ambiental, pero no solo se trata de disminuir la contaminación sino de evitarla y controlarla, entre las técnicas que podemos usar se encuentran^[25]:

Las técnicas electroquímicas que pueden proveer una elegante solución para muchos problemas ambientales y energéticos, como son: limpieza, versatilidad, químicos y combustibles por medio de procesos redox^[25].

El reactor puede ser controlado para obtener procesos químicos espontáneos cuando la energía eléctrica generada u otra energía química se suministra para manejar los cambios químicos^[25].

Durante los últimos años las técnicas electroquímicas han tenido un gran avance en la utilización de celdas electroquímicas utilizando biomasa para la producción de compuestos orgánicos y combustibles^[25].

Por otra parte existen otras tecnologías las cuales, no contaminan y proporcionan electricidad, compuestos químicos y combustibles como son: la combustión, pirólisis, hidrogasificación, gasificación, reducción química, hidrólisis enzimática, hidrólisis ácida y biometación. Prácticamente todas las tecnologías de conversión de biomasa indicadas están disponibles comercialmente.

CAPÍTULO 7

7.0 ASPECTOS ECONÓMICOS

7.1 Cultivos de biomasa

Los cultivos de biomasa en tierra pueden proporcionar grandes cantidades de energía. La conversión de ésta a su máximo potencial, es sin embargo, un problema complejo y esencialmente involucra a la economía. El costo de la energía de la biomasa se proyecta ser menos de la mitad del costo que tiene el presente combustible fósil, pero las operaciones a nivel piloto se tienen que realizar con el objeto de confirmar estas proyecciones económicas.

Un parámetro económico para evaluar los costos totales serían los costos de adquisición de la tierra, preparación de la misma, los sistemas de irrigación, cultivo, cosecha, transportación, instalación de equipo permanente (tales como irrigación, pozos y bombas), tipos de plantaciones, localización del mercado para su venta etc. Esto lleva también a una evaluación del consumo centralizado y descentralizado de la biomasa ⁽¹¹³⁾

En la tabla 9 se muestra una evaluación de los costos de producción con respecto al modelo conceptual propuesto por Inman et. al. ⁽¹¹²⁾ El modelo económico calcula con propiedad el capital de investigación, depreciación, costos de combustible, impuestos y seguros, junto con datos financieros, tales como el precio de la escalación y la rapidez del impuesto, estos datos se usan para estimar el retorno de equidad y el flujo de efectivo. En los costos de producción se tienen costos adicionales de cosecha, procesamiento, secado y almacenamiento ⁽¹¹⁴⁾

Los mayores costos están asociados con el manejo intensivo de fertilizantes e irrigación que son aproximadamente del 36% al 39% del total de los costos de producción. Los costos fijos y los costos de transportación son más de la tercera parte de los costos de operación, cerca del 14% del costo total, seguido por el costo de la renta de la tierra que es cerca del 5-7% y la preparación de la tierra junto con el

cultivo de la misma que es aproximadamente del 4% del costo total. Los costos de operación pueden disminuir, si se reduce la cantidad de fertilizantes y pesticidas o por medio de aplicaciones de ingeniería genética con las cuales se producirían cultivos que madurarán más rápido y serán más resistentes a las enfermedades ^(8,10)

Tabla 9
Costos estimados de operación para granjas de energía

TEMAS	TEMAS	Costos (1978 dólares)		
		BAJAS	PROMEDIO	ALTOS
Imaginación				
Trabajo	\$ acre-año	----	4	----
Combustible	\$ acre-año	----	43	----
Total	\$ acre-año	----	47	----
Fertilización				
Fertilizante y cal	\$ acre-año	20	27	45
Aplicaciones	\$ acre-año	5	7	12
Total	\$ acre-año	25	34	57
Control de hierbas	\$ acre	0	8	10
Cultivación	\$ acre	17	24	30
Transportación	\$ ODT	1.70	2.30	3.25
Plantación	\$ tiempo de vida de la granja		270,000	----
Supervisión	\$ año		370,000	----
Personal de soporte	\$ año		50,000	----

a) usada por Inman et al

El valor práctico de la energía obtenida de la biomasa finalmente depende del costo que se requiere para su producción hasta llegar al consumidor final de la energía vendible y de los biocombustibles (ver tabla 10). Para que esto se pueda llevar a cabo primero el precio de la biomasa debe ser competitivo con respecto a los combustibles fósiles.

Tabla 10
Precios dados del combustible fósil al consumidor final 1990, \$/GJ ^a

Combustible fósil	Residencial	Comercial	Industrial	Transportación ^b	Unidad electricidad ^c
Carbon	2.87	1.52	1.60		1.38
Gas natural	5.34	4.45	2.79		2.20
Petróleo	8.43	5.65	5.32	7.90	3.24
LPG	10.38	8.17	5.12	8.03	
Queroseno	8.41	6.40	6.23		
Combustible destilado	7.60	5.70	5.30	8.03	
Gasolina de motor	8.68	8.68	8.65		
Combustible residual		3.25	2.94	2.83	

a) La tabla tiene todos los promedios de los pesos consumidos por todos los estados en dólares nominales incluyendo impuestos.

b) La gasolina de aviación son \$ 9.84/GJ, combustible de jet es \$ 5.39/GJ.

c) Aceite pesado grado 4, 5 y 6 y aceite combustible residual No. aceite pesado, kerosene y aceite de jet y petróleo coque cuestan \$3.13/GJ, \$5.33/GJ y \$0.79/GJ, respectivamente

Un análisis económico de los costos de energía a partir de la biomasa en 1990 (en dólares) se llevó a cabo para biomasa herbácea y madera en diferentes regiones de los Estados Unidos⁽¹⁾. El análisis fué realizado para cada década a partir de 1990 hasta 2030. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 11.

Las estimaciones de los costos totales de producción fueron calculados con modelos de flujo de efectivo discontinuo. Los rendimientos para 1990 fueron obtenidos a partir de la literatura y la proyección para el año 2030 fue el resultado de una serie de investigaciones. La producción de biomasa anual por unidad de área tiene una gran influencia en el costo estimado final. Estos análisis indican que los costos más bajos para un cultivo energético van a ser diferente para cada región del país.

Tabla 11
Proyección de los costos de cultivos de energía de biomasa en 1990 y 2030^{a,b}

Región y especie	Producción asumida ^c \$/t	1990		2030		
		Costos dados		Costos dados		
		\$/GJ		\$/GJ		
Lagunas grandes						
switchgrass	7.9	168.07	4.20	18.8	51.32	3.60
energía de sorgo	14.5	62.76	3.77	19.9	16.79	2.10
alamo híbrido	10.1	112.79	2.76	15.9	72.42	4.29
Sudeste						
switchgrass	7.6	105.89	5.36	17.3	52.91	3.11
paper grass	13.9	63.72	3.22	10.9	33.31	1.96
sicamore	8.1	88.61	4.49	14.3	53.19	3.13
Llanuras grandes						
switchgrass	5.4	74.32	3.77	10.3	44.05	2.59
energía de sorgo	6.3	91.73	4.65	13.7	48.07	2.83
Noreste						
alamo híbrido	8.1	105.26	5.33	11.9	71.69	4.26
Noroeste del pacífico						
alamo híbrido	15.5	66.69	3.26	23.8	44.75	2.63

a) Los modelos discutidos cuentan con un flujo de efectivo para usar el capital, el capital de trabajo, impuestos en los ingresos, el valor del dinero en el tiempo y gastos de operación. Asumiendo el costo real de retorno después del impuesto para ser del 12%. Los modelos de rotación corta se usaron para la producción de la sicomora y alamo. Los costos son para 1990 y tuercen en dólares, toneladas secas.

b) Las producciones para 1990 fueron obtenidas a partir de la literatura en tierra clara. El promedio total producido a nivel de campo son para regiones completas en primer lugar para sólidos buenos, bajando los cultivos y disminuir el almacén. Las rotaciones cortas son llevadas a cabo para periodos de 6 años sin importar el lugar.

c) Producción en t/ha^a año.

Si comparamos las estimaciones de los costos para los combustibles fósiles y los combustibles de biomasa reunidos para 1990 mostrados en las tablas 10 y 11

respectivamente es evidente que muchos de los costos de la energía de la biomasa son competitivos con los de los combustibles fósiles en varios sectores ⁽¹⁷⁾.

El departamento de energía de E.U.A. estima que los costos de los cultivos energéticos de biomasa son de \$ 1.90-2.10/GJ (\$ 2.00-2.25/MBtu) (91) y \$ 0.18/litro (\$0.67/gal) para combustibles de etanol a partir de biomasa sin subsidios para el año 2000, para el año 2007 se estima que las gasolinas tendrán un precio de \$0.22 a 0.26/litro (\$0.85 a \$ 1.00/gal) obtenidos de biocrudo y de \$ 3.32/GJ (\$ 3.50/MBtu para metano a partir de digestores anaerobios o biomasa para el año 2000 y 4.5 centavos/Kw/h de electricidad a partir de biomasa en los '90's ⁽¹⁸⁾.

Entre los sustitutos líquidos de los derivados del petróleo, los candidatos más adecuados son dos alcoholes, el metanol y el etanol, ya que, si el petróleo llegase a ser significativamente más caro, el metanol y el etanol se convertirán en serios candidatos a la sustitución de los derivados del primero como combustibles.

Otro fuerte candidato sería el gasoil, el costo corriente por litro de biodiesel es de US\$ 0.39- 0.46, los cuales comparados con los US\$ 0.23-0.31 por litro de diesel mineral. Si los biocombustibles son atractivos, ellos necesitan preferentemente impuestos de concesiones y subsidios para su comercialización ⁽¹⁹⁾.

Acorde a la Corp. Mitre ⁽²⁰⁾, la producción del amoníaco e hidrógeno, como derivado del carbón, se puede manufacturar a un precio competitivo con respecto a los combustibles fósiles ⁽²¹⁾.

Por otra parte, se han realizado algunos estudios para ver la posibilidad de utilizar aceites de semillas y vegetales como combustibles para motores, particularmente como un sustituto del combustible diesel. La acción de mezclar aceite puro y combustible al diesel a partir de petróleo como combustible de ignición nos proporciona una compresión mayor que la de la gasolina ⁽²²⁾.

Los cultivos en ríos y mares tienen un potencial ilimitado para proveer altos rendimientos por acre bajo condiciones óptimas (En climas calientes proporcionan biomasa en abundancia). La biomasa es económicamente factible debido a que no

necesita mucho cuidado en su cultivo y manutención y proporciona grandes cantidades de biomasa a un costo muy bajo y por ende el costo de su energía es muy barato

7.2 Basuras Energéticas:

Cuando consideramos que los costos de energía son competitivos con los costos de otros recursos de energía y combustibles, tomamos en cuenta que algunas materias primas tienen un valor potencial energético negativo. Por ejemplo, desechos agrícolas, tales como puntas de árboles y ramas, árboles muertos y secos, arbustos, pastos diversos, gabazo de caña etc.

Muchos generadores de estas basuras tendrán que pagar un servicio a una compañía para remover y disponer de su basura y muchos de los generadores emprenden la tarea en su propio lugar.

La prefactibilidad económica de la recuperación de energía a partir de basura sólida es un problema complejo el cual requiere un estudio detallado y completo.

La mayoría de los elementos económicos que deben ser estudiados incluyen:

- Los costos unitarios comparables para alternar medidas en la disposición de basura sólida.
- El costo total unitario del procesamiento y transportación a partir de la basura sólida es preparado para el punto de uso.
- Los costos unitarios para la preparación de la basura sólida
- El valor neto de la basura sólida triturada para ser consumida como un sustituto del combustible fósil normal.

Estos factores varían con cada proceso aplicado. La evaluación del potencial de recuperación unitaria de basura sólida debe ser considerado como una entidad única.

Además de reducir los costos, la evaluación deberá incluir un análisis completo de la rentabilidad de utilizar basura sólida con respecto a la cantidad

procesada y la estimación real de la cantidad de la fracción orgánica la cual podrá ser utilizada como un combustible¹¹¹

Las basuras sólidas aunque tienen altos valores energéticos, no pueden ser utilizadas económica y fácilmente como combustibles con contenidos de energía concentrada tales como gas natural, aceite o carbón. Sin embargo, el costo presente para la disposición de basura también tiene un valor económico. Así mismo, algunos de los costos de colección, transportación y procesamiento pueden ser considerados como el precio del combustible, ordinariamente este costo total soporta el precio de la basura sólida disponible. Los costos de recuperación de energía a partir de basura sólida que están por abajo del costo de los combustibles convencionales. La factibilidad económica de un sistema de conversión de energía utilizando basura sólida varían con la localización, la inflación continua y el tiempo. Estos son algunos de los puntos más importantes que provocan que los costos de combustible se incrementen demasiado. Actualmente el costo total de operación para la producción de energía a partir de la basura sólida por tonelada está en el intervalo entre \$15 y \$20 dólares.

El valor energético derivado a partir de una tonelada de basura es de cerca de \$9.0 dólares si se supone una alta eficiencia. Sin embargo, si se supone una eficiencia más realista la conversión de ésta a energía útil, se obtendría a un valor más bajo de aproximadamente \$6.0 dólares por tonelada de basura. Usando este estimado, para obtener el provecho a partir de las ventas de esta energía, el costo requerido para la recuperación de la energía disponible está entre \$9.0 y \$14 por tonelada¹¹²

7.3 Comercialización

La posibilidad económica para producir químicos a partir de biomasa depende de varios factores, entre ellos el costo y sustitución de petroquímicos en un futuro, el costo del suministro de biomasa y finalmente el tamaño y el costo de los procesos

de conversión para estimar estos parámetros, la siguiente metodología se practica comúnmente:

1. Identificar el gran mercado petroquímico que será obtenido para la biomasa de productos de buena calidad.
2. Determinar su sustitución futura y la demanda así como el precio del petróleo y el carbón.
3. Estimar el costo de la producción de ellos vía sustitución y la disponibilidad de los procesos de conversión .
4. Comparar los precios a futuro para determinar el tiempo de factibilidad.
5. Considerar los efectos del cambios del petróleo a biomasa, tales como socioeconómicos y ambientales.

Considerando el desarrollo y difusión de algunas nuevas tecnologías en el mercado éstas necesariamente involucran algunas incógnitas de riesgo [10]. Entre los riesgos más comunes se encuentran el riesgo financiero y el riesgo tecnológico. Los riesgos financieros están asociados con la incertidumbre de parámetros tecnológicos, precios a futuro, la demanda, la posibilidad de pérdida del capital de inversión. Los riesgos tecnológicos se refieren a las limitaciones tecnológicas. Los riesgos más comunes en el caso de la biomasa son los riesgos tecnológicos, ya que existen un sin número de tecnologías inciertas (es decir que aún no están bien desarrolladas e investigadas a nivel comercial). La figura 11 muestra cómo los diferentes áreas de riesgo están asociado con la comercialización [11]. El objetivo de este artículo [12] es ayudar a separar los riesgos de salida acumulados, pensando en las estrategias para manejar apropiadamente los riesgos e identificar las posibles áreas de riesgo accentuadas arriba y abajo.

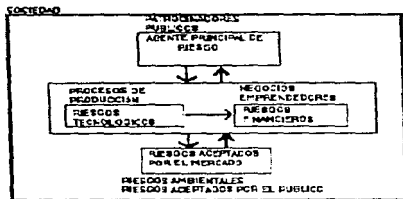


Fig.16 Comercialización y áreas de riesgo

7.4 Celdas de combustible.

La producción fotobiológica de hidrógeno a partir de agua puede realizarse mediante algas verdes que tienen la capacidad de descomponer al agua y liberar oxígeno.

El rendimiento neto del producto en una reacción de acumulación energética fotoquímica no es probable que supere el 13%. Si un sistema de energía solar pudiese operar en un rendimiento global del 10 %, podrían cubrirse las necesidades energéticas actuales totales del mundo dedicando sólo medio millón de kilómetros cuadrados, lo cual supone sólo el 0.1% de la superficie terrestre . Esta extensión es aproximadamente la misma que la de Marruecos, Tailandia o Francia , o una quinta parte de la de Australia o Brasil o tres cuartas partes de la de Texas. No sería necesario utilizar terrenos agrícolas y el mar podría proporcionar el agua. Esto quizá parezca ciencia ficción pero ilustra la magnitud del recurso y las oportunidades que existen al respecto.

Evidentemente, este planteamiento sólo tendrá éxito si es económicamente competitivo con otras fuentes energéticas, a menos que otras consideraciones locales dominantes obliguen a un país a adoptar una tecnología energética antieconómica de otro modo la incertidumbre es tan grande que no podemos calcular el costo probable de un sistema de desdoblamiento del agua fotobiológico o fotoquímico.

Estas necesidades brutas pueden darnos algunas indicaciones en cuanto a los costos que serían aceptables para un proceso de producción de hidrógeno solar a gran escala si se pudiera crear un sistema estable en Gran Bretaña, donde se recibe energía solar en una proporción promedio de unos 10 millones de Joules m^2 día ($100W m^2$), se producirían unos 90 litros de hidrógeno m^2 día (unos 3 kilogramos de hidrógeno m^2 año con un contenido energético de unos 400 millones de julios). Estos 3 kilogramos de hidrógeno valdrían alrededor de una libra esterlina, a precios en el año 1985. De este modo, durante un periodo de 30 años, el sistema produciría 30 libras esterlinas por cada metro cuadrado del colector, por ello el costo del material debería estar en torno a la mitad de esa cifra. Aunque esto es un análisis económico poco exacto, muestra que el sistema tiene que ser simple y preferentemente debería producir hidrógeno y oxígeno por separado, a menos por supuesto, que los gases vayan a quemarse inmediatamente.

La falta de familiaridad con los procesos electroorgánicos por parte de la industria química es uno de los mayores obstáculos para su introducción. Los costos de la energía eléctrica son del 10 a 12% de los costos totales de la operación de la planta; este es equivalente al costo de algunos reactivos químicos. Los costos del reactor electroorgánico también son comparables a los costos del procesamiento químico convencional.

CAPITULO 8

8.0 Perspectivas de los sistemas de biomasa

El futuro se ve prometedor para la obtención de energía a partir de la biomasa. Los expertos creen que durante los próximos diez años la contribución de los combustibles provenientes de la biomasa al suministro de energía de los países que desarrollan este tipo de combustible aumentará considerablemente, por ejemplo E.U.A. podría aumentar de tres o cuatro veces su suministro, proporcionando del 15% al 20% de las necesidades energéticas para el año 2000.

Los países de todo el mundo están desarrollando sus recursos naturales de biomasa y se espera que esta tendencia continúe. Francia, por ejemplo, está apoyándose en la ingeniería forestal de rotación corta en más de 400 hectáreas de tierra. Irlanda del norte está llevando a cabo experimentos similares. La India está expandiendo su ya establecida red de digestores de biogas. Finlandia, un país que ya cubre casi 20 % de sus necesidades energéticas gracias a la biomasa, Brasil está produciendo etanol a partir de la caña de azúcar, etc..

8.1 Corto y mediano plazo

Algunas de las posibilidades de aprovechamiento de la biomasa a corto y mediano plazo, además de las ya mencionadas específicamente, son:

- Mejoramiento de la productividad de cultivos y plantas bajo nuevas condiciones ambientales.
- Estudio de nuevos métodos agrónomicos, como plantación de alta densidad y mezclas de cultivos.
- Uso de biomasa acuática.
- Uso de plantas de zona áridas y semiáridas, como las plantas de "hidrocarburo"
- Arboles de rotación rápida.

- Uso de calor de desecho en sistemas de biomasa para estimular el crecimiento de plantas, algas y bacterias.
- Uso total de las plantas.

8.2 Largo plazo

En el largo plazo se incluyen las siguientes posibilidades:

- Manipulación genética de plantas y microorganismos
- Producción fotobiológica de hidrógeno por medio de bacterias o algas o por medio de membranas sintéticas, a partir del agua.
- Tecnologías anaeróbicas mejoradas y nuevas para conversión de biomasa en energía.
- Fijación fotoquímica de CO_2 y N_2 (Se ha demostrado recientemente que la luz UV puede emplearse en una celda fotoelectroquímica para fijar CO_2 al nivel de formatos y metanol, así como la conversión fotoinducida de N_2 a amoníaco).
- Celdas de combustible para generar energía eléctrica con combustibles líquidos o gaseosos derivados de la biomasa (hidrógeno, metano, etanol).

La toma de decisiones sobre la conveniencia de realizar estudios sobre estos temas en la UNAM se deberá llevar a cabo teniendo en cuenta la muy limitada investigación que se realiza en el país sobre, el uso extensivo y poco eficiente que se hace de la misma en el medio rural, el pobre potencial existente y factible de generarse en el país a corto, mediano y largo plazo y la flexibilidad de las diversas tecnologías que proporcionan combustibles que sustituyan toda la gama de combustibles fósiles comerciales.

En la tabla 12 se presenta una comparación de las diferentes tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa, sus perspectivas y aplicaciones, que aparecen en el documento A/CONF.100/ PC42 " Synthesis of Technical Panels Reports", preparado con motivo de la conferencia de las Naciones Unidas sobre Fuentes de Energía Nuevas y Renovables que se celebró en Nairobi, Kenya, en agosto de 1981.

Para terminar, se presenta en la tabla 13 el resumen de algunas de las oportunidades de investigación y desarrollo referentes a la diversas tecnologías de aprovechamiento de la biomasa.

8.3 Perspectivas en Europa:

El Comité Económico y Social de la Comisión Europea tiene como propósito continuar alentando el desarrollo de energías renovables, para introducirse a una comunidad energética y así crear un ambiente favorable para la penetración en el mercado de energías renovables. Ellos piensan que estas medidas harán posible que las energías renovables incrementen su contribución a la demanda de energía total de un 4% en 1991, a un 5 o 6% en el año 2000 y un 8% en el año 2005; esta producción de energía a partir de fuentes renovables se triplicará y la cantidad de biocombustibles utilizados como combustibles de transporte se incrementará a un 5%. Como resultado de todo esto, ellos piensan que habrá una reducción de 180 Mt de las emisiones de bióxido de combustible para el año 2005. La Comisión Europea espera que la mitad del incremento previsto de la contribución de recursos renovables provendrá de la explotación de biomasa. Se considera que la biomasa es la única fuente de energía renovable que será capaz de hacer una sustancial contribución a la sustitución de combustibles convencionales. Esto implica también que la prioridad vendrá dada por la penetración comercial de biocombustibles de origen agrícola (16).

8.4 Perspectivas en México

Las actividades comerciales en las tecnologías para el aprovechamiento de las fuentes de energía de interés para el estudio son en México, prácticamente inexistentes. En el aprovechamiento de la biomasa, la única que ha recibido atención ha sido la biodigestión, principalmente mediante procesos mesofílicos. La

actividad en sistemas de almacenamiento de energía puede calificarse de raquítica⁴¹.

Los centros de educación superior son los que registran mayor actividad en investigación, desarrollo y difusión de las fuentes de energía que nos ocupan, siendo la participación de asociaciones civiles y organismos públicos de mucha menor envergadura. Por otra parte, aproximadamente sólo el 15% de los estudios pertenecen a la energía a partir de la biomasa.

Al aprovechamiento de la biomasa se dedicaron en 1981, su equivalente a cerca de 6 personas de tiempo completo, prácticamente todas a procesos de digestión anaerobio mesofílica⁴².

Por lo que toca a los recursos económicos, en 1980 se dedicaron de 0.15×10^6 dólares a la biomasa para investigación y desarrollo. En 1981 las cifras crecieron substancialmente a casi 0.35×10^6 dólares para la biomasa lo que representa un 0.05% de la inversión total nacional en investigación y desarrollo y cerca de 0.75% del total dedicado a la investigación y desarrollo de energía.

La asignación interna de recursos para investigación y desarrollo por área de estudio no tiene porque ser la misma en todos los países dado que los problemas, condiciones, recursos y objetivos de cada uno difieren entre sí. Resulta interesante sin embargo, contrastar las cifras de México con las de otros países como punto de ref. (ver tabla 14). En la fig. 17 se representan las inversiones en investigación, desarrollo y demostración de las fuentes que nos ocupan, que diferentes países miembros de la Agencia Internacional de Energía hicieron en 1980, expresados como porcentajes de la inversión total de cada país en inversión y desarrollo y demostración⁴³.

Tabla 12 COMPARACION DE LAS DIFERENTES TECNOLOGIAS DE BIOMASA					
<u>Tecnologías</u>	<u>Estado de desarrollo de la tecnología</u>	<u>Nivel actual del costo</u>	<u>Restricciones</u>	<u>Perspectivas</u>	<u>Aplicaciones</u>
A. Combustión directa	Comercial	Bajo	Su uso indiscriminado podría producir deforestación	Muy buenas en zonas restringidas cercanas al recurso	Generación eléctrica. Generación de vapor. Combustible doméstico
B. Gasificación	comercial (para gas de bajo poder calorífico)	Bajo	Su uso indiscriminado podría producir deforestación	Muy buenas para pequeños sistemas en sitios cercanos al recurso.	Generación eléctrica y mecánica. Calor de proceso
C. Biometación (Biogas)	Demostración (bien difundida en algunos países).	Mediano	La implantación de pequeños sistemas enfrenta obstáculos socio económicos.	Buenas e inmediatas si se emplean desechos. Buenas a mediano plazo empleando cultivos especiales como biomasa acuática.	Generación eléctrica y mecánica. Generación de vapor. Combustible doméstico. Producción de fertilizantes.
D. Fermentación a. Etanol	Comercial (por fermentación de azúcares y granos). En desarrollo (por hidrólisis de materia fibrosa no comestible)	Mediano	Conflicto con la producción de alimentos. Problemas de desechos.	Buenas en casos de exceso de azúcar o granos.	Sustituto de la gasolina.

continuación

COMPARACION DE LAS DIFERENTES

TECNOLOGIAS DE BIOMASA

Tecnologías	Estado de desarrollo de la tecnología	Nivel actual del costo	Restricciones	Energética	Substrato
h. Metanol	Tecnología establecida. Comercial solo para pequeñas unidades de destilación de alcohol.	Mediano	Su uso indiscriminado podría producir deforestación.	Podría ser importante en algunos casos a corto plazo.	Sustento de la gasolina.
E. Extracción Aceites de vegetales.	Tecnología establecida con algunas excepciones. Extracción sobre cultivo de plantas de indio caribao en zonas áridas.	Alto	Conflicto potencial con la producción de alimentos.	Buenas y numerosas escalas en algunos casos. Buenas a largo plazo a partir de plantas de indio caribao.	Sustento del diesel.
Celdas de combustible (con combustible derivado de biomasa)	En desarrollo.	---	Su uso indiscriminado podría generar deforestación. Conflicto con la producción de alimentos. Problemas de desechos.	Buenas a largo plazo.	Generación eléctrica.

tabla 13

ALGUNAS DE LAS OPORTUNIDADES DE INVESTIGACION Y DESARROLLO
QUE SE PODRIAN ABORDAR EN LA UNAM:

Tecnologías	Investigación	Desarrollo
Biometanación	Tratamiento aguas negras, nuevos procesos	Diseño o adaptación de digestores Técnicas de construcción Diseño dispositivos utilización biogas Utilización bio-abono
Fermentación alcohólica	Sacarificación celulosa	
Combustión directa		Diseño dispositivos eficientes
Pirólisis	Tratamiento basura	Diseño hornos
Gasificación		Diseño gasificadores Adaptación motores utilización gas

Tabla 14

	MIBNICOH		
	10 ⁶ dólares (C)	% de I D y D energía	% nuclear
Solar:	4.73	5.20	20.59
Calentamiento y enfriamiento	1.95	2.09	8.63
Fotovoltaicos	1.87	2.18	7.14
Termoelectricos	1.06	1.47	4.82
Eólica:	0.1*	0.24	0.77
Biomasa:	9.15	0.21	0.68
Total 3 fuentes:	4.85	6.73	22.05
Almacenamiento energía	0.05	0.07	0.32
Análisis sistema energía			
Nuclear (N)	22.00*	20.51	100%
Petróleo y gas (P y G)			
Carbón (C)			
Total (N) + (P y G) + (C)			
Total I D y D energía	72.1	100%	6%
Total I y D.	901.3	100%	

Incluye sólo el presupuesto del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Las actividades de otras instituciones como el Instituto de Física de la UNAM no se incluyeron por no tener los datos disponibles.

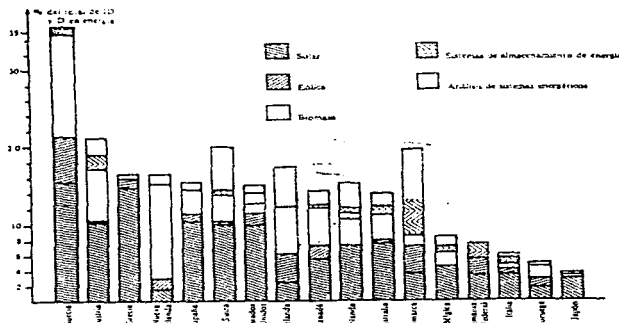


Fig. 17 Inversiones en investigación, desarrollo y demostración (ID y D) en energía solar, energía eólica, biomasa y almacenamiento de energía, de algunos países de la Agencia Internacional de Energía en 1980, como porcentaje de su inversión total en ID y D.

CONCLUSIONES

La biomasa es una fuente renovable de energía que puede utilizarse como sustituto de los combustibles fósiles (líquidos, gaseosos o sólidos) así como de la electricidad y el calor. Una de sus ventajas es su diversidad, tanto en la clase de energía producida, como en la materia prima, además su materia prima está bien extendida y es variada. Los combustibles fósiles como ya se mencionó se están agotando y en un futuro la biomasa será un candidato muy importante de considerar. Entre los problemas que se afrontan actualmente, se encuentran el almacenamiento y transporte de energía por lo que la biomasa resolvería ese problema ya que esta proporciona un almacén natural de energía solar en gran escala es decir, un vector de energía que es de forma natural un almacén sin límite de cantidad y duración y transportable no importa la cantidad o la distancia. Uno de los más poderosos argumentos en favor del desarrollo de la biomasa es el enorme potencial de la base del recurso. La tierra recibe 28 GH por año y quitando los usos actuales (alimentarios y otros) queda una cantidad no utilizada de 24 GH, es decir más de 10 veces el consumo mundial actual de energía. La biomasa puede utilizarse directamente como combustible o puede ser convertida por medio de procesos en combustibles los que a su vez se convierten en electricidad.

Entre los beneficios del desarrollo de la energía a partir de la biomasa podemos encontrar ventajas tanto económicas, políticas, sociales como ambientales.

Con respecto al medio ambiente podemos decir que la biomasa ayudaría a resolver muchos de los problemas ambientales como sería la disminución de CO_2 y de NO_x , SO_x por medio del cultivo de biomasa para la producción de combustibles y compuestos químicos. Del mismo modo, la producción de biomasa puede significar mayores empleos e ingresos en las áreas rurales para los campesinos a través del cultivo y procesamiento de sus elementos y con esto crear nuevas fuentes de trabajo.

Los costos de la biomasa serán muy bajos si se utiliza la basura agrícola pues los costos de la materia prima serian cero por lo que esto hace que sea muy atractivo para su utilización y dejaría muy atrás, en este aspecto, a los combustibles fósiles . Otro punto muy importante que lo hace atractivo, es que las empresas pagarían por que se recogiera, llevara y procesara su basura agrícola y ayudaría a resolver uno de los mayores problemas de una sociedad, que es la eliminación de desechos. La reducción en el volumen de la tierra y la contaminación general que resulta de la producción de energía de biomasa es beneficioso para la sociedad . Con respecto a la producción de biomasa , los cultivos serian competitivos a gran escala debido a que dependen de varios factores como son irrigación, fertilización, cosecha, etc.

Políticamente, la energía proveniente de la biomasa ofrece varios beneficios a los países que utilizan este recurso natural. Ha menor dependencia en combustibles fósiles importados (y la consiguiente reducción del flujo de capital y la dependencia extranjera) y el aumento en la autosuficiencia y la seguridad de la energía son importantes para cualquier país. Desde luego, la bioma comparte estos beneficios con otros recursos renovables naturales.

Los procesos electroquímicos tiene la ventaja sobre los procesos químicos, ya que vía este proceso para la producción de energía no se pasa por el calor y por ende no tiene el grave inconveniente de estar estrictamente limitado en su rendimiento por el principio de Carnot y la irreversibilidad de la combustión térmica a alta temperatura. Además la conversión electroquímica transforma la energía química en energía eléctrica en una sola etapa. Pero no sólo se tiene la ventaja en la producción de electricidad sino también en la producción de compuestos químicos (hidroquinona) y combustibles (hidrógeno) ya que se pueden realizar en un sólo paso además, ofrece una gran selectividad y la posibilidad de utilizar mediadores que disminuirían la cantidad de agentes catalíticos y así poder utilizar el catalizador por mucho más tiempo y disminuir la corriente proporcionada y como consecuencia su costo de producción.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Mandujeno M.I., Félix A., Martínez A.M. "Biogas energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos" manual para el promotor de la tecnología. Serie de Publicaciones Especiales, No 6. OLADE. Quito, Ecuador. 1981. 41 pp
- 2.- Longitud V et al. "Digestion anaerobia de desechos agrícolas y domésticos en zonas rurales-primer etapa informe del Instituto de Ingeniería" UNAM de circulación restringida, elaborada para SAHOP, abril, 1982 México. D.F
- 3.- Ware S.A. "Fuel and Energy production by Bioconversion of Waste State of the Art, informe de Ebon Research Systems" Silver Springs, MD. preparado para el Municipal Environmental Research Lab., Cincurrcional, Olno, EE. UU. NTIS No. EPA-600-2-76-148, AGOSTO, 1976, 64 pp
- 4.- Balilie R.C. "Technical and Economic Assesment of Methods for Direct Conversion of Agricultural Residue to Usable Energy. Final Report", informe de West Virginia Univ. Morgantown, West Virginia, preparado para la Energy Research and Development Administration, Washinton D.C., EE.UU. NTIS PB-275 082, ERDA/USDA/19464-6/FR-4. OCTUBER 1979. 132 pp
- 5 - YUJ. "Etanol from Wood Using the New Zealand Hydrolysis process" ibid; pp 1450- 1454
- 6 -Glesinger, E. "The Coming Age of Wood". Simon and Schusier, N.Y. 1949
- 7 - Underkofler, L.A. and Hekley, R.J., "Industrial Fermentations, vol I", Chemical pub Co., N.Y. 1954
- 8 - Reed, T.B., Appl Polym Symp No. 28, 1 1975
- 9 - Jullander, Y. Appl Polym Symp No. 28 55 1975
- 10 -Phillips, "Renewable Resources in chemical Perspective" Lecture at American Chemical Society, Anaheim, CA March 1978
- 11 -Isabell, H.S., Frush, H.L. 1931 "Oxidation of Sugars. V. The Electrolytic Oxidation of Aldose Sugars in the presence of a Bromide and Calcium Carbonate "Bur Stand J. Res. Vol.6, pp 1145-52. CA 25, 4856
- 12 -A.M. Moos, C.G. Von Fredersdorf "Fuel Cells-Where are we Now "
- 13 - Fedoronko, M. "The Electrochemistry of Carbohydrates and Their Derivatives" Adv Carbohydrates Chem Biochem 1974, vol 29 pp 107-71

- 14 - Parker, E. A., Swann, S. Jr. "Electrochemistry Reduction of Hexoses" Trans. Electrochem Soc., 1947 vol 92 pp 343-68
- 15 - Manuel M. Baizer "Progress in Organic Electrochemistry 1952-1977", vol. 124, No. 5, J. Electrochem. Soc., Reviews and News May 1977
- 16 - M.M. Baizer "Prospects for Further Industrial applications of Organic Electrosynthesis", Journal of Applied Electrochemistry 10 (1980)pp 285-290
- 17 - Anbar, M., inventor 1973 "Methods and Aparatus for the Pollution-Free Generation of Electrochemical Energy" U.S. Patent 3,741,809
- 18 - Anbar, M., McMillen, D.F., Weaver, R.D. 1975 "Electrochemical Power Generation Using a Liquid Lead Electrode as a Catalyst for the Oxidation of Carbonaceous Fuel" "Rec Intersociety Energy Conversion Engineering Conference", 10th New York, pp 48-55
- 19 - McMillen, D.F., Anbar, M., Bartlett, R.W. 1977 "Pollution-Free Electrochemical Power Generation from Low Grade Coal" Final to National Science Foundation, Grant No. AER 776-01192, SRI Project P5u Menlo Park, C.A., Stanford Research Institute
- 20 - Goldstein I. S., Presented in symposium on alternate Feedstocks for petrochemicals; 180th Nat. Meet. Amer. Chem. Soc., Las Vegas, Nev., 1980. Abstract PETR 21
- 21 - Ward, R. L., St-Pierre, L. E., Brown, G. R. In "Future Sources of Organic Raw Materials, CHEMR-AWN-1", Eds., Pergamon, Oxford, 1979, pp 333-42
- 22 - Chum, Helena Li and Baizer, Manuel M. "The electrochemistry of Biomass and Derived Materials", 1985 Book, pages 314 pp
- 23 - Antonio Peña, Georges Drexifus en "La Energia y la vida" Bioenergetica, D.R. 1990, Fondo de Cultura Economica, S.A. de C.V. Av. de la Universidad, 975, 05100 Mexico D.F.
- 24 - Michael Cross "Grow Your Own Energy", part second articles and editorial, IPC Magazines Ltd. Volume rights, Brasil Blackell Limited, 1977 pp 95-98
- 25 - Coombs, J. In "Energy Conservation and Use of Renewable Energies in the Bioindustries", Vogt, F. De., Pergamon, Oxford, 1981, pp 101-110
- 26 - B.J. Brink "Wort Solar Energy for Man" John Wiley y Sons Inc, New York 1973
- 27 - H.J. Critchfield, "General Climatology 3rd ed Prentice" Hall Inc, Englewood Clift, N.J. 1974

- 28.- Antonio Alonso Conchero, Luis Rodriguez Viqueira, "Alternativas Energeticas" , Ed Fondo de Cultura Economica Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologia , Mexico 1985
- 29.-Secretaria de Energia, Minas e Industria Paraestatal, Balance Nacional de Energia, 1991, pp. 20
- 30.-J.M.O. Scurlock, D O Hall, J.I Haus, "Utilising Biomass Crops as and Energy Source A European Perspective, Water, Air, and Soil Pollution" . Kluwer Academic Publishers Print in the Netherlands , 1993 Vol. 70 , 499-518
- 31.- Michael Cross " Grow Your Own Energy" , part second articles and editorial, IPC Magazines Ltd. Volume rights, Brasil Blackell Limited, 1984
- 32.-Risser, P G In "Biomass Conversion Processes for Energy and Fuels", Sofer, S S.S., Zaborsky, O R., Eds , Plenum New York, 1981, p 25
- 33.-McClure, T A, Lipinsky, E S, eds "Handbook of Biosolar Resources", Zaborsky, O R, De - in-Chief, Vol ii, CRC Boca Raton, Fla, 1981
- 34.- Energy., Roger A Hinrichs ,States University of New York, Collage at Oswego, Saunders Collage Publishing
- 35.-S.H. Spurr, Sci Am 240, 76 (1979)
- 36.-US Dept of Commerce, Climatological Data, National Summary, Vol 21, Nos 1-12, U. S. Government Print Office, Whashington, D C, 1970
- 37.- Oskar R. Zaborsky, "Biomass Conversion Process for Energy and Fuels". Edited by Samir S Sofer University of Oklahoma Norman, Oklahoma, 1981
- 38.- Daniel Aclair and Luc Bouvarel, "Intensive or Extensive Cultivacion of Short Rotation Hybrid Popular Coppice on Forest Land" , Bioresource Tecnology (1992), Vol 42, pp. 53-59
- 39.-Bioconversion Study Conducted by JPL. Sponsored by the Director's Discretionary Fund, Fiscal Year 1978 , Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Tecnology, Pasadena, California , under NASA Contract No NAS7-100
- 40.- A R Ehrenshaft and L L Wriht " The Short Rotation Woody Crops Program Data Base A R " , Bioresource Tecnology, (1991), Vol. 36, pp 241-245.
- 41.-A A Nichiporovich in "Photosynthesis of Productive Systems", Israel Program for Scientific Translations Jerusalem Israel 1967

- 42 -Herber Tiefenbacher "Short Rotation Forestry in Austria", *Bioresource Technology* (1991), Vol 35, pp. 33-40
- 43 -James L. Kuester; "Conversion of Guayule Residues into Fuel Energy Products.", *Bioresource Technology*, (1991) Vol 35, pp 217-222.
- 44 -R. Retovsk, "Continuous Cultivation of Algae, Theoretical and Methodological Bases of Continuous Culture of Microorganisms", Academic Press, Inc, New York, 1966
- 45 - Shelef, G., Soeder, C. J., eds, "Algal Biomass-Production and use", Elsevier North Holland Biomedical, Amsterdam, 1980
- 46 - 2 Goldstein I. S., Presented in symposium on "alternate Feedstocks for Petrochemicals", 180th Nat. Meet. Amer. Chem. Soc., Las Vegas, Nev., 1980, Abstract PETR 21
- 47 - Rajendra Kumar Jain, "Fuelwood Characteristics of Certain Hardwood and softwood threee Species of India", *Bioresource Technology* (1992), Vol 41, pp 129-133
- 48 -Browning, B. L., De, "The Chemistry of Wood", R. E. Krieger Publ. Co. New York, 1975, pp 123
- 49 - Queen Mary Coll., "Electrochemical Key to the Biomass store", Uley, James, Dep Chem., London, UK., Spectrum (Pretoria), 1988 Vol 26 Number 4 pages, 7-10 32 Yu, S.-M. Ph.D. Dissertation, The University of California, Berkeley, Calif. 1982
- 50 - Yu, S.-M. Ph.D. Disseertation, The University of California, Berkeley, Calif, 1982
- 51 - W. R. Richie and G. G. McBee, "Structural Components in Sorghum Stem Biomass", *Bioresource Technology*, 1991, Vol 38 pp 15-22
- 52 - "Lignocellulose and Sugar Compositions of some Agro-Waste Material", *Bioresource Technology*, (1994), Vol. 47, pp 283-284 88
- 53 - Helena L. Chum, "Survey of the Electrochemistry of some Biomass- Derived Compounds", *Solar Energy Research Institute* December 1982
- 54 - Guillet, Ivan, "Utilisations Electrochimiques de la biomasse" Tagungsber. Ins. Sonnenforum, 2nd Editor, Publisher Deutsch, Munich, Fed. Rep. Ger., 1978 Vol 2, pp. 27-39.
- 55 - James H. P. Uley "The Electrochemical Conversion of Biomass- Derived Compounds", Department of Chemistry, Queen Mary College London, UK, Elsevier Appl. SCI, London, UK, 1985 pp. 1087-102

- 56.-Alder, E. "Lignin Chemistry Past, Present, and Future " Wood Sci Technol, 1977 Vol 11 (No.3) pp 169-218
- 57 -Freudenberg, K 1965 Sice Vol 148 p 595
- 58 -E J Lewis, "Proceedings of Seminar on Sea, Salt and Plants", Bavnager, India (1967), pp 296-308
- 59 - Kirk- Othmer "Encyclopedia of Chemical Tecnology", 1992, Vol. 12 pp 17-105
- 60 - James H. P. Utley, "The Electrochemical Conversion of Biomass- Derived Compounds", Department of Chemistry, Queen Mary College, London, U.K., Fundam. Thermochem Biomass Convers (Pap - Int Conf) 1985, pp 1087-102
- 61.- Nikitin, N I "The Chemistry of Cellulose and wood " Translated from Russian by J Schmorak Jerusalem, Israel Program for Scientific Translation, 1966
- 62.- Oertel, C "Oxycellulose "Z. Angew Chem, 1913, Vol. 26 pp 246-50
- 63.-Choudhury F H, Khudkar, M H Pakistan J Sci Res 1952, Vol 4, pp 103
Choudhury, F H, Khundkar, M.H Pakistan J Sci Res, 1953,
- 64 - Neuberg, C "Electrolysis in the sugar Series " Biochem Z 1908 Vol 7 pp 537-8
C A 2 1724
- 65 - Farley, F F Hixon, R M "Oxidation of Raw Starch Granules by Electrolysis in Alkaline Sodium Chloride Solution " Indd Eng Chem 1942 Vol 34 pp 677-81
- 66 -Brockris, J O M Piersman, R J, Gileadi, E "Anodic Oxidation of Cellulose and Lower Carbohydrates " Electrochim Acta, 1964 Vol 9 pp 1329-32
- 67.- D Kyriacou, E G E JAHNGEN "Short Communication an Electrogenerative acid-basic cell Utilizing Biomass for the Generation of Electricity and Molecular Hydrogen" Journal of Applied Electrochemistry, (1993) Vol 23
- 68 - D. Pletcher, M Fleischmann and K Korinex, J Electroanal Chem (1971) Vol. 33, pp. 478.
- 69 - N A Hampston, J B Lee and K I Mc Donald, Chim Acta (1972) Vol 17 pp 921.
- 70 - D Kyriacou and T P Tougas, J Org Chem (1987), Vol. 52 pp 2318
- 71 - Fedronko, M "The Electrochemistry of Carbohydrates and Their Derivatives." Adv. Carbohydrate Chem. Biochem 1974 ,Vol.29 pp 107-71

- 72 - Loeb W. "Electrolysis of Glucose, Glycerol, and Glycol." *Z. Electrochem* 1910, Vol. 16, pp 1-9 CA 4 1475
- 73 - Neuberg, C., Scott, I., Lachmann, S. "Electrolytic Decomposition of Mono- and Disaccharidic Acids, and of Hydroxyaminoacids" *Biochem. Z.* 1910, Vol 24, pp 152-65
- 74 - Udupa, H V K. 1979. "Experience with a Rotating Electrode Cell for Electroorganic Preparations." *Electroorganic Synthesis Technology*. Edited by M. Krampelt, E. Y. Weissman, and R. C. Alkire. *AIChE Symposium Series* 1979, Vol. 75 (No. 185) pp 26-9
- 75 - Creighton, H. J. Inventor. 1926. "Electrolytically Reducing Sugar to Alcohols." U.S. Patent 1,612,361. C.A. 21:536(1927) Reviv
- 76 - I. S. Goldstein (de.) "Organic Chemicals from Biomass". CRC Press, Boca Raton, Florida, 1981
- 77 - D. Fengel and G. Wegener, "Wood-Chemistry Ultrastructure, Reactions", Walter de Gruyter, New York, 1984.
- 78 - C. e. Sjostrom, "Wood Chemistry - Fundamentals and Applications", Academic Press, New York, 1981
- 79 - Brewer, C. P., Cooke, L. M., Hibbert, H. "Lignin and Related Compounds (LXXXIV) High Pressure Hydrogenation of Maplewood Hydrol Lignin." *J. Am Chem. Soc* 1948, Vol 70, pp 57-9
- 80 - Shorygina, N. N., Kefel, T. Ya. "Reaction of Lignin with Metallic Sodium in Liquid Ammonia." *J. Gen. Chem. USSR*, 1947-1948, Vol 17, pp 2058-62, Vol 18, pp 528-33
- 81 - H. L. Chum, M. A. Rateliff, and P. D. Plasz, "Process for Producing Peroxids from Aliphatic Hydroxy Carboxylic Acids U. S." Patent 4, 619,090 (1986)
- 82 - Selivanov, V. G., Svitel'skii, V. P., Ryumin, V. G., Samborskii, N. V. "Purification of Effluents from the Manufacture of Paper and Board by Electrochemical Method." 1976, *Bumash. Prom.* No. 8, pp 24-25. IPC AN 47-933381
- 83 - Bailey, A. J., Brooks, H. M. "Electrolytic Oxidation of Lignin." *J. Am. Chem. Soc* 1946, vol. 68, pp 445-6. C. A. 40 29823
- 84 - Dauydov, V. D., Tedoradze, G. A., Tysvachnaya, G. Ya., Razmanova, I. A. "Electrochemical Oxidation of Lignosulfonic Acid in an Alkaline Medium on a Platinum Anode." *Tezisy Dokl. - Vses. Konf. Khim. Ispolz. Lignina, oth.* Edited by V. N. Sergeeva. Riga USSR. Zinatne. 1976B. pp 122-5. CA 86 1915119

- 85.- Stromskaya, G.I.; Chupka, E.I. " Electrochemical Reduction of Lignin and Its Model Compounds in Aprotic Solvents " *KHIM Drev.* 1978 .No 2 pp. 55-8 CA 88 193039T
- 86 - Pershina, Ia. " Chemical Conversion of Lignin and Means for the Utilization of Hydrolysis Lignin " .1968 .Itogi Issled. Khim 50 Let. 1917-1967 pp. 77-89 CA 71 23014n.
- 87-Susumu Kuwabata, Ryo Tsuda "Electrochemical Conversion of Carbon Dioxide to Methanol with Use of Enzymes as Bicatlysts" *Chemistry Letters* . 1993 .pp. 1613-1634
- 88.- M. Ulman, B. Aurnan-Blajen M. Halmann " Fuel from CO2" *An Electrochemical Study CHEMITECH* April 1984
- 89 -Bull Stanley R. "Biomass and Wastes Research at the Solar Energy Research Institute" .SERY, GOLDEN, CO IGT Energy from Biomass and Wastes 15th Conf, Washington, D.C. MAR 1991 vol 25-29, 91 .pp 1225(12).
- 90.- Swidinsky, J. Baizer, M.M. *Pars* 2, 785, 162 and 2, 795, 163 of 3:12:57
- 91 - Traube, W. *Ber* 1900, Vol 33, pp 3052
- 92 -Wolf, F., *Rollin, J Zeit Chem* 1977, Vol 17, pp 537
- 93 - Amatore, C.A., Savent, J-M J. *Am Chem Soc* 1981, Vol 103, pp 5021
94. Frank Walsh & Graham Mills , " Electrochemical Techniques for a Cleaner Environment, *Chemistry and Industry*, 2 August 1993 pp. 576-579
- 95 Harie, J. " New Developments in Acid Precipitation Research" en S.W Yuan, ed , *Energy, Resources and Environment* papers Presented at the First U.S. China Conference 7-12, November 1982. New York, Pergamon Press
- 96 Haines, B.C. Jordan, H. Clark and K.E. Clark " Acid Rain in an Amazon Rain Forest", en *Tellus*, 1983 , Vol 35 B(1), pp 77-80
97. Taylor O.C. , " Impact of Air Pollutants on Vegetation", in *Energy and the Fate of Ecosystems* Washington, National Academy Pless Supporting Paper 8. 1980.
- 98.- Sturver, M., *Science*, 1978., Vol 199, pp 253-258.
99. Flavin Christopher and Lenssen Nicholas " A Renewable Energy Future", *Env Science & Tecnology*, Worldwach Inst. Washington, D.C. May 1991, Vol. 25, n 5, pp. 834 (4)
- 100.- Hall, D O , *Solar Energy*, 1979 , Vol 22, 307-328.

101. Smagorinsky, J., (ed) "Carbon dioxide & Climate, a second assessment, National Academy of Sciences, Washington D C 1982
- 102.- Hoffman, J.S., Keyes, D & Tirus, J.G. ." Projecting Future Sea Level Rise: methodology, estimates to the year 2100 & research needs environmental protection agency, Washington, D C 1983, 2nd ed
- 103.- Gornitz, V, Lebedeff, S & Hansen, J. Science, 1982, Vol 215, 1611.
- 104.- Siegenthaler, U y H Oeschger, Science, 1978, Vol 199 pp 388-395
- 106 Johansson, T B, Kelly, ." Renewable Fuels & Electricity for a Growing World Economy, Defining and Achieving the Potential, in T B Johansson e t al (eds) ", Renewables for Fuel and Electricity, Island Press, Washington D C 1993, pp.1-72
- 107 - W.Robert Goodman and Sean A Ceady." Biomass Crop Production on Representative Southeastern U.S. Farms, Farm Profitability, Erosion Control and the Food Secondary Act. "Bioresource Technology, 1985, 36(1991) 207-214
- 108.- Hall, D O., Rosillo, calle, F., Williams, R H and Woods, J. "Biomass for Energy Supply Prospects, in B J Johansson, H Kelly, A K N Reddy and R H Williams (eds) ", Renewables for Fuels and Electricity, Island Press, Washington D C 1993, pp 583-652.
- Hall, D O., Woods, J and House J I. " Biological System for Uptake of Carbon Dioxide" Energy Conservation and Management, 1992, 33(5-8) 721-728,
- 109 - Cannell, M G R. Physiological Basis of Wood Production: A Review. Sc and J. Forest Res; 1989, Vol 4, pp 459-490
- 110 - Hummel, Fe, Palz, W. and Grassi G(ed). 1988, " Biomass Forestry in Europe: A Strategy for the Future Elsevier Applied Science, London, 1988, pp. 1- 7
- 111 - Kulp, J.L. The Phytosystem as a Sink for Carbon Dioxide, EPRI Report EN, 6786, Electric Power Research Institute, Palo Alto, Ca, U S A 1990
- 112.- Electrochemistry of Cleaner Environment's (De J Bockris), New York: Plenum Press 1975
- 113 - Energeticos, Boletin Informativo del Sector Energetico, 1980 ,Año 4, No 8, Agosto
- 114 - Energeticos, Boletin Informativo del Sector Energetico, 1981; Año 5, No.11, nov.

- 115.- R.E. Inman, D.J. Salo, and B.J. Mc Gurk, " Silvicultural Biomass Farms, Vol. IV: Site Specific Production Studies and Cost Analyses, MITRE Corporation/ Metrek Division, MTR No. 7347 (1977).
- 116.- D.W. Rose, Cost of Producing Energy from Wood in Intensive Culture, *J. Environ; Manage* 5,1 (1976).
- 117.- Intertechnology/ Solar Corporation, The Photosynthesis Energy Factory: Analysis, synthesis and Demonstration, v.s. Department of Energy Contract No. Ex-76-C-01-2548, Final Report, NTIS-HCP/T3548-011 Washington, D.C. (1978).
- 118.- Post (UKK Parliamentary Office for Science and Tecnology); Biofuels for Transport Briefing Note 41, March 1993. POST, Houses of Parliament, London .
- 119.- Corneil, H.G. Heinzelman, F.j., and Nicholson, E.W.S.; produccion Economics for Hydrogen, Amonia and Methanol during 1980-200 period, Exxon Report to Brook haven National Lab BNL-50663 (April 1977).
- 120.- 97.- Paul N. Cheremisinoff, and Angelo C. Morresi., " Energy from Solid Wastes Vol.1 Ed. Marcel Dekker, INC. New York and Bassel 1976 Print in the U.S.A.
- 121.- R.A. Cantor and C G Rzy, Biomass Energy: Exploring the Risks of comercialization in the United States of America. *Bioresource Tecnology* 35 (1991) 1-13
- 122.- Corneil,H.G., Heinzelman, F.J., and Nicholson, E.W.S., "Production Economics for Hydrogen, Amonia and Methanol During 1980-2000 Period", Exxon Report to Brookhaven National Lab BNL-50663 (April 1977)
- 123.-Utilising biomass Crops as and Energy source: A European Perspective. J.M.O SCURLOCK D O Hall, J. I. Hause, Water, Air, and Soil Pollution 70. 499-518 1993 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- 124.- R.A. Cantor and G B. Rzy , "Biomass Energy Exploring the Riesks of Comercialization in the United States of America" ; *Bioresource Tecnology* 35(1991) 1-13.