

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.**  
Unidad Ticomán.  
“CIENCIAS DE LA TIERRA”.



SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN.

**“BIOGÁS: OPCIÓN REAL DE SEGURIDAD ENERGÉTICA  
PARA MÉXICO”.**

**TESIS.**

Que para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Administración, Planeación y Economía de  
los Hidrocarburos.

**P r e s e n t a :**

Enrique Ávila Soler.

Director Externo:

Dr. Mario Ulloa Ramírez.

Director Interno:

Dr. Miguel García Reyes.

México D. F. Septiembre 2009.



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

SIP-14

*ACTA DE REVISIÓN DE TESIS*

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 14:30 horas del día 14 del mes de Mayo del 2009 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de ESIA-U.Ticomán para examinar la tesis de titulada:  
“Biogás: Opción Real de Seguridad Energética para México”

Presentada por el alumno:

**AVILA**  
Apellido paterno

**SOLER**  
Apellido materno

**ENRIQUE**  
Nombre(s)

Con registro: 

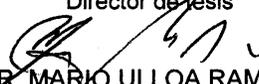
A	0	6	0	4	2	4
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:  
MAESTRIA EN CIENCIAS EN ADMINISTRACION, PLANEACION Y ECONOMIA DE LOS HIDROCARBUROS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis

  
DR. MARIO ULLOA RAMIREZ

CoDirector

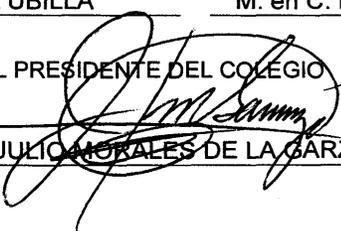
  
DR. CAYETANO MIGUEL GARCIA REYES

  
DR. DANIEL ROMO RICO

  
DR. ARTURO ORTIZ UBILLA

  
M. en C. RODRIGO MONDRAGÓN GUZMÁN

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

  
ING. JULIO MORALES DE LA GARZA





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*CARTA CESIÓN DE DERECHOS*

En la Ciudad de México el día 21 del mes Septiembre del año 2009, e (la) que suscribe Enrique Ávila Soler alumno del Programa de M en C. en Administración, Planeación y Economía de los Hidrocarburos con número de registro A060424, adscrito a la Escuela Superior de Ingeniería y arquitectura Unidad Ticoman, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Mario Ulloa Ramírez y cede los derechos del trabajo intitulado Biogás: Opción real de seguridad Energética Para México, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección avila\_enrique@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

A handwritten signature in black ink, reading 'Enrique Ávila Soler'. The signature is written in a cursive style with a horizontal line underneath it.

Enrique Ávila Soler  
Nombre y firma

## RESUMEN.

El presente estudio demuestra que el Biogás es una opción real en la oferta de energías sustentables, con sustanciales ventajas comparativas respecto de otras fuentes, además de que contribuye en la disminución del consumo de combustibles fósiles, reduce el efecto invernadero y el calentamiento global y detona el crecimiento de la economía nacional.

La importancia del Biogás, radica en el hecho de que México se proyecta ya como un país deficitario en la producción de gas, entonces, una de las alternativas más viables es invertir en el Biogás que puede producirse en los llamados rellenos sanitarios, en donde existe una gran cantidad de desechos orgánicos húmedos, que son elementos básicos en la producción de metano y bióxido de carbono, y que desafortunadamente son desaprovechados en la actualidad desde el punto de vista ambiental, físico, moral, psicológico y económico.

En el desarrollo de la presente investigación se analiza la posibilidad de instalar una planta piloto de Biogás en el relleno sanitario Bordo Poniente entre la ciudad de México y el estado de México, donde su capacidad de almacenamiento de basura ha sobrepasado los niveles sustentables que se tenían planeados en un principio, lo que ha alterado y afectando el medio ambiente y su entorno. En ese relleno sanitario se cuenta con la materia prima suficiente para el abastecimiento de la planta, además de que es un terreno de propiedad federal, el cual generaría múltiples ventajas y oportunidades para sus diversos usos, tales como la generación de electricidad y de gas LP para el consumo de hogares e industrias, asimismo fortalecería la Seguridad Nacional y sobre todo la Seguridad Energética del país.

## ABSTRACT.

The present study shows that the Biogas is a real option in the offer of energies sustentables, with substantial comparative advantages concerning other sources, In addition to that contributes in the decrease of the consumption of fuels fossils, reduces the effect invernadero and the global warming and detonates the growth of the national economy.

The importance of the Biogas, radical in the fact that Mexico project already as a country deficitario in the production of gas, then, one of the most viable alternatives is to reverse in the Biogas that can produce in the called rellenos sanitary, In where exists a big quantity of desechos organic humid, that are basic elements in the production of methane and biocide of carbon, and that unfortunately are desaprovechados in the actuality from the point of environmental view, physical, moral, psychological and economic.

In the development of the present investigation analyses the possibility to install a pilot plant of Biogas in the relleno sanitary Bordo Poniente between the city of Mexico and the state of Mexico, where his capacity of almacenamiento of rubbish there be sobrepasado the levels sustentables that had planned in a principle, What has altered and affecting the means ambient and his surroundings. In this relleno sanitary has the prime subject sufficient for the abastecimiento of the plant, in addition to that it is a terrain of federal property, which would generate multiple advantages and opportunities for his diverse uses, Such as the generation of electricity and of gas LP for the consumption of homes and industries, likewise would strengthen the National Security and especially the Energetic Security of the country.

## **DEDICATORIA:**

➤ **A DIOS.**

Por darme la fortaleza y perseverancia para aprovechar las oportunidades.

➤ **AL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL.**

Por crear profesionistas que beneficien a la sociedad.

➤ **A LA ESIA-TICOMAN DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL.**

Por ser un pilar a la industria Petrolera Nacional.

➤ **A MI SEÑOR PADRE ENRIQUE Y MI SEÑORA MADRE GUADALUPE.**

Ya que siempre tengo su apoyo, con que pagarles tanto sacrificio y esfuerzo.

➤ **A MIS HERMANAS LILIANA Y DENISSE, MI ABUE CHELITO Y MARIO.**

Por que gracias a su apoyo incondicional me motivaron a ser de lo mejor.

➤ **A LA FAMILIA SOLER LEAL.**

Por creer en mí, ya que siempre lo tenía en contra todo.

➤ **A LA FAMILIA AVILA SOSA.**

Por el apoyo durante mi formación.

➤ **A MIS SERES QUERIDOS QUE YA PARTIERON. (+)**

Que siempre estarán en mi pensamiento y corazón.

➤ **A MI DIRECTOR DE TESIS EXTERNO Dr. MARIO ULLOA RAMIREZ.**

Por su esfuerzo y tiempo aplicado a este proyecto.

➤ **A MI DIRECTOR DE TESIS INTERNO Dr. MIGUEL GARCIA REYES.**

Por su esfuerzo y tiempo aplicado a este proyecto.

➤ **A LOS PROFESORES SINODALES.**

Por el apoyo a este proyecto.

**El mundo esta lleno de problemas:  
México también; debido a ello, toda  
aportación por insignificante, es de  
gran ayuda y beneficio: Por eso no  
debemos permitir que los Pesimistas  
destruyan esos sueños de solución.**

Enrique Ávila Soler Julio-2009

## ÍNDICE.

Resumen.	3
Abstract.	4
Introducción.	9
Capítulo 1. Seguridad Nacional y Seguridad Energética.	13
I.1 La Geopolítica como antecedente de la Seguridad Energética.	13
I.2 Seguridad Nacional.	20
I.3 Seguridad Energética.	22
Capítulo 2. Fuentes alternas de energía y el gas natural.	27
2.1. Recursos de gas natural.	44
2.1.1. Vínculos de suministros de gas natural con los mercados críticos.	47
Capítulo 3. Biogás.	48
3.1. Historia del Biogás.	48
3.2. Definición de Biogás.	49
3.3. Composición y características del Biogás.	49
3.4. Ventajas del Biogás.	51
3.5. Desventajas del Biogás.	51
3.6. Complementos y sustitutos.	52
3.7 Usos del Biogás.	59
3.8. Disponibilidad de materia prima.	59
3.9. Tipos de tecnologías de producción.	61
3.10. Métodos para transformar la Biomasa.	64
3.11. Puesta en marcha y operación de una planta piloto.	66
Capítulo 4 La producción del Biogás.	70
4.1. La situación en la Unión Europea.	70
4.2. La producción mundial.	73
4.3 Análisis del área de biogás.	74
4.3.1. Situación actual.	74

4.3.2. Proyectos en explotación.	75
4.3.3. Análisis de los recursos.	75
4.3.4. Aspectos tecnológicos.	77
4.3.5. Aspectos normativos.	78
4.3.6. Aspectos ambientales.	79
4.3.7. Aspectos económicos.	80
4.4. Barreras del uso de Biogás.	82
4.5. Barreras en la fase de producción de Biogás.	83
4.6. Barreras en la fase de aplicación de Biogás.	83
4.7. Medidas acerca de la producción.	84
4.8. Razonamiento de la producción del Biogás.	85
4.9. Basura orgánica, y su aprovechamiento como insumo básico.	88
Capítulo 5 Opciones reales para la instalación de una planta de Biogás en el Bordo Poniente.	91
5.1.- Modelo matemático para el financiamiento.	92
5.2.- Modelo de programación lineal para la distribución y transporte de los insumos.	107
5.3.-Análisis de Estudio.	118
Conclusiones.	122
Recomendaciones.	124
Bibliografía.	125
Listado de tablas, cuadros, figuras, mapas, gráficas e imágenes, modelos.	131
Anexos.	134
Glosario de términos.	136

## INTRODUCCIÓN.

La energía es el ingrediente vital de la economía mundial, y aún cuando se trabaja con empeño en la eficiencia energética y se invierte en el desarrollo de nuevas tecnologías, el petróleo y el gas natural seguirán siendo esenciales por mucho años. El desarrollo económico en todo el mundo induce a pensar que la demanda mundial de petróleo y gas seguirá creciendo en el corto plazo. Sin embargo, la oferta empezará a tener problemas, debido a la declinación de los campos gasíferos y porque en México no se visualiza la posibilidad de encontrar otros mega campos como Cantarell; en consecuencia, se deberán encontrar y desarrollar sustitutos de petróleo y gas que garanticen el suministro requerido para el crecimiento sostenido y sustentable.

Según los pronósticos de perspectivas mundiales de la Organización Internacional de Energía, la demanda mundial de energía primaria en 2030 podrá sobrepasar en cerca de dos tercios el nivel del año 2006, alcanzando al final un equivalente de 15,300 millones de toneladas de petróleo anuales<sup>1</sup>, lo que representa para los países en desarrollo un 62 por ciento de aumento. De igual manera se prevé que para el año 2025, el consumo de energía en el mundo en desarrollo aumente a casi el doble.

El desafío energético mundial se complica aun más al considerar otro factor importante: Los contaminantes y las emisiones de bióxido de carbono resultantes del uso de energía. En el caso de México poco se ha progresado en la tarea de reducir las emisiones de contaminantes de automóviles y camiones, así como de los vehículos que ingresan de Estados Unidos y otros países como los provenientes de China que pronto se venderán en México. Así mismo de fábricas hogares y otras fuentes estacionarias. Por esta razón harán falta nuevas tecnologías para lograr mayor reducción de emisiones y disminución de la contaminación.

El Biogás consiste principalmente de gas metano (55%-65%) producido por materia orgánica. Tiene la ventaja que a través de éste se puede generar energía eléctrica, iluminación, calor y potencia mecánica; el tren metropolitano regiomontano (metro) es el

---

<sup>1</sup> Modelo Mexicano del Biogás, La basura orgánica, en el mal esta el remedio, Noviembre de 2003, Secretaria de Desarrollo Social, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Comisión Nacional de Energía, México, pág. 2.

primer transporte colectivo de su tipo en México que utiliza energía generada a través de residuos sólido para desplazarse. La energía eléctrica utilizada es generada a partir de los gases producidos en la descomposición de los residuos orgánicos de un relleno sanitario ubicado en el municipio de Salinas Victoria en el estado de Monterrey, México.

El relleno sanitario del Bordo Poniente, ubicado en zona federal entre el límite de la ciudad de México y el Estado de México tiene conflictos en varios sentidos, pero principalmente por su tamaño de gran dimensión; por ello si se instala una planta de Biogás en este lugar le significaría un beneficio a la ciudad a bajo costo.

Por ello se hace referencia a la importancia de esta investigación debido a que al realizar un estudio de Biogás como una opción real de Seguridad Energética, para México se demuestra que este recurso natural tiene grandes ventajas competitivas respecto a otros energéticos en cuanto a preservación de medio ambiente y es económicamente factible ya que no pone en riesgo las reservas de hidrocarburos del país.

Otro aspecto que se considera fundamental es fomentar la conciencia de la ciudadanía por el futuro energético de México, a través de una mayor Seguridad Energética. En este trabajo se consideran aspectos de gran impacto en el sector energético: la política energética, la oferta y demanda, el fortalecimiento de la cooperación internacional tecnológica, la geopolítica del petróleo y del gas, la confiabilidad mediante la diversificación de las fuentes de energía y la promoción de la transparencia y un buen clima de inversión. Así mismo, se debe considerar la creciente demanda por el petróleo y gas natural y el consumo excesivo de energía del mundo en desarrollo, las repercusiones geopolíticas, la competencia o cooperación en el sector de la energía, además, el cambio en el paradigma, la energía renovable y nuevas tecnologías en los desafíos energéticos en la economía energética, el abastecimiento mundial de energía y el mercado en los recursos de gas natural. Finalmente las fuentes de energía alternas y vínculos de suministros de gas natural con los mercados críticos.<sup>2</sup>

En lo que respecta al planteamiento del problema, es decir el agotamiento de los hidrocarburos, hoy, se aprecia que México se está quedando sin petróleo económicamente explotable, según cifras oficiales. Hay reservas probadas de petróleo para 9-10 años. Nuestra capacidad de producción sigue cayendo de manera sistemática, por lo que resultan más

---

<sup>2</sup> Fuente: Agenda de Seguridad Nacional de Estados Unidos de Norteamérica, USA, 2006.

preocupantes las alzas sin precedentes de precio del crudo en el mercado petrolero internacional.

El consumo de gas natural se incrementará por lo que es necesario buscar alternativas de fuentes energéticas que puedan cubrir ese déficit de la producción en el país. México requiere de un proyecto energético nacional que incluya fuentes alternas de energía, y entre éstas deberá considerarse el Biogás, como una opción viable por sus características que resultan ser amigables para el medio ambiente.

Un área de grandes oportunidades se tiene en el aprovechamiento de la materia orgánica para la generación de Biogás, en los rellenos sanitarios; además de que esta materia orgánica genera gases que son altamente nocivos al medio ambiente, contribuyendo con ello al cambio climático o contaminación global.

Cabe señalar que el déficit de producción de gas natural en México podría compensarse con la producción de biogás; así, además de contribuir con el programa de Seguridad Nacional, se podría disminuir la importación de gas e impactar en la dependencia y en la disminución en el consumo excesivo de los combustibles fósiles. Esto prolongaría la vida útil de las reservas de gas del país y se avanzaría en una mejor cultura en la optimización de los recursos naturales y lo concerniente al calentamiento global.

El Biogás puede considerarse como una opción real para la Seguridad Energética de México, a través del aprovechamiento de los recursos que se encuentran en los rellenos sanitarios, ya que estos contribuyen como fuente alterna generadora de energía; esto sustenta la importancia de la Seguridad Energética para México. El Biogás, puede ser considerado como parte de un proyecto integral de energía, dentro de un marco globalizado mundial de la economía que buscaría la conservación de los recursos naturales y la preservación del medio ambiente.

En México la justificación de ese tipo de proyectos es la deficitaria producción de gas natural; en los próximos 7 años de los 9,300 millones de pies cúbicos (mmpcd) que se consumirán al día, en promedio demanden el sector eléctrico, industrial y residencial, Pemex producirá tan solo 5500 mmpc, lo que daría un déficit 3,800 mmpc, obligando así a importar

gas natural para satisfacer la demanda de los consumidores. Así, una de las alternativas para resolver el problema sería el uso del biogás.<sup>3</sup>

Esta situación por si misma, es una razón suficiente para la justificación de las acciones del proyecto. Existen otras no menos importantes, como son el cumplimiento al protocolo de Kyoto, el calentamiento global, la Seguridad Nacional y Seguridad Internacional, entre otras.

En la actualidad, en México, entre la población existe muy poca información sobre este tema y el significado que tiene para asegurar la producción de gas. En la ciudad de México, mensualmente, la familia urbana promedio (que consta de 5 personas) produce un metro cúbico de basura, lo que se traduce en términos de la ciudad entera, en tres millones de metros cúbicos. Considerando que el Estadio Azteca puede contener tan sólo un millón de metros cúbicos significa que mensualmente la ciudad de México requiere un sitio de tres veces el tamaño de dicho estadio. Cada día se generan 11,850 toneladas de sólidos municipales, de los cuales el 50% está compuesto por residuos orgánicos y el 34% de reciclables. Estos podrían emplearse para generar una producción suficiente de Biogás que fortalezca la Seguridad Energética de gas para la satisfacción de la demanda de los consumidores y desarrollo del país.

Se considera que los objetivos que plantea el presente proyecto de investigación están dentro del ámbito de la Maestría en Ciencias en Administración, Planeación y Economía de los Hidrocarburos, ya que tocan un punto álgido del crecimiento del país, de su economía y de la preservación del medio ambiente; es una opción integral a los hidrocarburos y de la energía en general.

En resumen el estudio contempla el análisis de la Seguridad Nacional, de las fuentes alternas de energía, del calentamiento global y la sustentabilidad, el consumo excesivo de combustibles fósiles, la Seguridad Energética y un programa integral de energía.

---

<sup>3</sup> [Prospectiva del mercado de gas natural, Secretaria de Energía, 2006, México D.F.](#)

## **CAPÍTULO 1. SEGURIDAD NACIONAL Y SEGURIDAD ENERGÉTICA.**

### **I.1. LA GEOPOLÍTICA COMO ANTECEDENTE DE LA SEGURIDAD ENERGÉTICA.**

La geopolítica es la ciencia que, a través de la geografía política, la geografía descriptiva y la historia, estudia la causalidad espacial de los sucesos políticos y sus futuros efectos. La geopolítica también representó uno de los instrumentos para definir las estrategias de la colonización del mundo en los siglos XVIII y XIX.

La Geopolítica, que algunos especialistas definen como la ciencia que estudia la influencia del medio ambiente en el desarrollo político de una sociedad, o como la ciencia que trata de la dependencia de los hechos políticos con relación al suelo, a lo largo de los años en que se le ha aplicado, es decir, desde la antigüedad y hasta la contemporaneidad, ha provisto a la humanidad tanto de momentos de gloria y esplendor como de pena y muerte.

En todos los casos, en los que se ha utilizado la Geopolítica, se han presentado por igual genocidios dramáticos como grandes avances científico-tecnológicos; esto últimos han permitido elevar el nivel de vida de la sociedad mundial.

La Geopolítica, desde la antigüedad, ha sido un referente obligatorio para los encargados de diseñar y aplicar estrategias de construcción, contención y destrucción de imperios. Como se sabe, al principio de los tiempos fueron los sacerdotes y los militares los que se encargaron de usar la Geopolítica para extender los imperios; posteriormente fue el Estado el que se ocupó de preparar las acciones bélicas o diplomáticas para mantener el poder. Finalmente, le corresponde hoy en día a las poderosas transnacionales, dirigir el quehacer geopolítico para poder aumentar sus ganancias y al mismo tiempo para imponer sus designios, sobre todo en las sociedades débiles.

El pensamiento geógrafo-político que creó las bases de la Geopolítica, tal y como la conocemos ahora, se remonta a los tiempos de los imperios griego y romano. En el siglo IV A.C., por ejemplo, fueron Heródoto, Tucídides, Hipócrates de Coss, Platón, Aristóteles y Polibio, los primeros en incluir referencias sobre la comprensión de la incidencia del medio ambiente geográfico sobre el hombre y sus organizaciones políticas. Ese pensamiento se transmitió después a las regiones que estuvieron bajo el mandato de los dos imperios latinos.

Algunos de los imperios que se construyeron con base a esta ciencia, la que denominan como la “Ciencia de la Guerra”, destacan por su poder y opulencia, el egipcio, el persa, el helénico, el cartaginés, el fenicio y el romano. Es en ellos donde surgen y se desarrollan las escuelas geopolíticas terrestre y marítima. Las características de las mismas dependen de la situación geográfica del país en las que fueron formuladas. Si los pueblos tenían costas, entonces se creaban las escuelas marítimas; si por el contrario, estos estaban aislados en la parte continental, y requerían además de recursos naturales, mismos que se localizaban en el mar, o en otras regiones continentales, entonces surgían las escuelas terrestres.

Durante varios siglos, y hasta la edad moderna, la cual de manera tentativa comienza en 1453, ambas escuelas compitieron por el poder mundial. Entre las terrestres destacan la Persa, la China y la Mongola; en las marítimas, la Árabe y la Romana. En el renacimiento, que marca el surgimiento de la edad moderna, las poderosas monarquías europeas comenzaron a desgastarse, perfilándose así los primeros Estados modernos; ellos concretan la expansión del mundo conocido, a través de los grandes descubrimientos geográficos en Asia, África y América.

En esta fase de la historia de la humanidad se crearon los imperios europeos de ultramar: el español, el portugués, el británico y el holandés, entre otros. Destacados especialistas del pensamiento geográfico-político de la época son: Bodin, Montesquie y Voltaire. Todos ellos resaltan, y en algunos casos reiteran, la influencia determinante de las condiciones naturales del territorio sobre la conducta humana. Con ellos, la Geopolítica se nutre del elemento biológico que justifica el ciclo de vida de las naciones y los imperios: Su nacimiento, su desarrollo y su muerte. Asimismo, confirma la necesidad que tienen los pueblos de hacerse de recursos, entre ellos los materiales, para poder sobrevivir; esto ocurre en presencia de una iglesia que se mantiene atónita ante el desgaste del dogma religioso. En esta época, la Geopolítica contribuye en el desarrollo de otras ciencias como la Geografía, la Geología y la Cartografía, entre otras.

Otros precursores de la Geografía Política en la edad moderna que establecen las bases de la geopolítica y que sirve de punto de partida para su evolución conceptual y teórica, son los alemanes Alejandro Von Humboldt (1769-1859) y Karl Ritter (1779-1859).

Ritter fue el primero en comentar sobre la importancia de utilizar todas las ciencias en el estudio de la geografía. A partir de este momento, la geografía comenzó a importar de otras ramas del saber, métodos que la elevaron al rango de conocimiento científico. La obra más importante de éste fue, " La geografía en relación con la naturaleza y la historia del hombre" (1817-1859), en ella subraya la influencia del medio físico en la actividad humana.

Ritter tuvo un papel preponderante en el desarrollo de esta rama de la ciencia; sostuvo que la disposición de las tierras en el planeta y las características diferenciadas de los continentes explican el distinto grado de civilización alcanzado en ellos. En cuanto a Alejandro Von Humboldt, geógrafo por formación, se le considera padre de la geografía moderna.

Posteriormente, es Friedrich Ratzel (1844-1904) un geógrafo alemán quien señala el condicionamiento de las actividades humanas respecto del medio físico, sentando las bases del determinismo geográfico, que tuvo en Karl Ritter otro de sus más claros representantes. Es así como Ratzel es considerado hoy día como el fundador de la moderna geografía política (Geopolítica).

Asimismo, es necesario mencionar a Sir Halford John Mackinder (1861-1947), como otro de los geógrafos, y además político, de origen británico, quien contribuyó con los primeros pasos de la geopolítica con su célebre teoría del Hertland (corazón geográfico), formulada por primera vez en 1904 y revisada en 1919 y 1943. Esta teoría plantea que la zona norte y central de Euroasia, debido a su aislamiento geográfico y a su riqueza en recursos naturales, será finalmente, el centro de poder político que controle al mundo.

El término geopolítica no estuvo muy difundido sino hasta la década de 1930 en manos de un grupo de geógrafos políticos germanos en el Departamento de Geografía de la Universidad de Munich en Alemania.

Es a Karl Haushofer (1869-1946) a quien se le debe el desarrollo de la moderna geopolítica fundada por Ratzel. Siendo un general del ejército alemán, geógrafo y destacado defensor de los principios geopolíticos del proyecto nazi, para conquistar el mundo, planteó teorías que ejercieron una gran influencia sobre el ejército germano pues proporcionaba una razón pseudocientífica para justificar la expansión territorial de ese país. Así, una faceta de la geopolítica alemana fue la teoría llamada Lebensraum (espacio vital) acuñada con este

nombre por Ratzel y adoptada por Haushofer. De acuerdo con esta teoría, el "espacio vital" se define como todo el territorio que un país alega necesitar para lograr la autosuficiencia.

Adolf Hitler y Rudolf Hess adoptarían y utilizarían esta teoría (espacio vital) para describir la necesidad que tenía el III Reich alemán de encontrar nuevos territorios en los que expandirse, especialmente a costa de los pueblos eslavos del este de Europa. De esta manera esta teoría sirvió de argumento ideológico que sustenta y explica las invasiones a Checoslovaquia y a Polonia, provocando el estallido de la II Guerra Mundial.

La escuela geopolítica alemana, creadora de la tesis del Lebensraum (espacio vital), y cuyo autor fue Haushofer en la Segunda Guerra Mundial, causó la muerte de más de 60 millones de personas de los cuales 30 millones fueron soviéticos, 20 millones, europeos, 6 millones, judíos, así como también miles de soldados italianos, japoneses, alemanes, ingleses, franceses y estadounidenses.

Durante las décadas de 1930 y 1940, no sólo Alemania prestó gran interés por la geopolítica. Rusia, China y Japón desarrollaron el interés por esta ciencia como una ciencia del Estado, debido a un supuesto significado de los factores geográficos sobre la conducta de las relaciones internacionales. En ese entonces, grupos de académicos estadounidenses vieron a la geopolítica como una forma de pensamiento espacial que los EE.UU. debería promover y considerarla esencial si requería pensar y convertirse en un poder global.

Al concluir la Segunda Guerra Mundial, tanto Alemania como la Geopolítica fueron acusadas de genocidas. Por esa razón a la primera se le desarmó y se le puso bajo el control de las naciones ganadoras en el conflicto, y a la segunda, la Geopolítica, se le satanizó y se le obligó a ir a un retiro temporal. Esto motivó a las grandes potencias a buscar nuevos términos para justificar sus posteriores enfrentamientos. Esto ocurre en el marco del enfrentamiento que se comenzó a presentar entre los aliados de Estados Unidos y los de la Unión Soviética, el cual con el tiempo se denominaría Guerra Fría.

## **LA RESTAURACIÓN DE LA GEOPOLÍTICA:**

La situación mundial comenzó a cambiar. El panorama se enfocó entre la situación bipolar entre Estados Unidos y la Unión Soviética. Paralelamente se sucedieron hechos tales como: el crecimiento del nacionalismo tercermundista, la Revolución Cubana y el crecimiento de movimientos revolucionarios en otras partes del mundo. A su vez esta situación era acompañada por un crecimiento del poderío militar y naval Soviético y con la palpitante e incipiente amenaza nuclear. Cabe mencionar también como importante los cambios económicos que reflejaban la declinación del poder relativo americano en la economía mundial. Todos estos hechos mencionados, desencadenaron en una mayor complejidad y multipolaridad en la política internacional que a su vez sirvieron para revitalizar la reflexión geopolítica, aún cuando el término “geopolítica” fuera evitado.

En muchas formas la declinación de la geopolítica en el período 1950-1970 proveyó buenas condiciones para el renacimiento del término. El tiempo pareció ser una buena cura ya que muchos habían olvidado, en efecto, la asociación del término con el régimen de Hitler.

Un elemento clave para la restauración fue el uso extensivo que Henry Kissinger le dio al término. La geopolítica de Kissinger no sólo señaló el renacimiento de la escritura geopolítica Occidental, sino que también le dio un ímpetu sustancial en nuevas direcciones. Ya que el uso dado al término por Kissinger tuvo tal impacto, cabe resaltar la importancia de su obra.

### La geopolítica de Kissinger:

- Hizo un gran uso del término geopolítica: introdujo el término en la prensa popular y subsecuentemente en el lenguaje.
- Según Bull y Henrikson, Kissinger da al término un concepto individual ya que no es siempre claro sino más bien indefinido: el contenido geográfico de la geopolítica de Kissinger lo asocia con el que tuvo un gran impacto equilibrio global y los intereses nacionales permanentes en el equilibrio del poder mundial.

- El contenido específico de la geopolítica de Kissinger estaba principalmente relacionado con las nuevas relaciones de Estados Unidos con China comunista.
- Su perspectiva se basa en establecer un equilibrio de poder en un mundo multipolar.
- Introduce el término *realpolitik* con el efecto de dar una reacción deliberadamente provocativa (teniendo en cuenta sus connotaciones históricamente negativas).
- Introdujo el término “Espacio Vital”.

En lo que se refiere a los imperios de la época contemporánea, que se fortalecieron con el uso de la Geopolítica, figuran el soviético y el estadounidense. Ambos, como sus antecesores, también compitieron por el control de los recursos naturales, los mercados y los territorios; sin embargo, a diferencia de sus antecesores, los imperios soviético y estadounidense lucharon por imponer su propia ideología y su modelo económico: el socialista y el capitalista. El periodo de competencia entre los dos imperios se denominó Guerra fría.

En 1992, debido a la debilidad económica y al caos político que prevalecía en ese entonces en la Unión Soviética, el imperio socialista se colapsó recayendo la hegemonía mundial en Estados Unidos. Esta situación de un solo imperio o denominada también de unipolaridad, se mantuvo vigente hasta principios de la presente década, cuando se comenzó a debilitar la potencia norteamericana y su proyecto de globalización. Esto ocurre cuando se inicia el ataque frontal al neoliberalismo y la globalización por parte de los altermundistas y globalifóbicos.

En lo que respecta a las situaciones de pena y violencia y muerte que provoca la geopolítica, razón por la cual a esta se le condena, a estas se les ubica, por lo general durante las grandes conflagraciones mundiales y en el largo periodo de la colonización europea. En ambos casos, que se presentan en la época contemporánea, los encargados de diseñar y aplicar las estrategias geopolíticas, abusando de su poder, asesinan a millones de personas, muchos de ellos civiles, con el pretexto de que, algunos imperios son los elegidos de Dios y por lo tanto deben y pueden imponer un determinado modo de vida, una religión e incluso, reiteramos, una ideología al resto de la sociedad.

En el marco de la imposición de ideas y tradiciones por parte de los imperios, por medio de la fuerza, a lo largo de la historia de la humanidad, algunos de ellos lograron imponer su visión de poder y de paz. Surgen así los periodos de una determinada “PAX” (PAZ). Entre estas figuran la “PAX Romana” que creó Roma, la “PAX Británica” que estableció Gran Bretaña, la efímera “PAX Nipona” que construye Japón, y finalmente la “PAX Americana” que estableció Estados Unidos y que hoy en día se encuentra en franco declive, debido a la crisis financiera que experimenta el llamado “Coloso del Norte”.

En estos diversos periodos de “PAX”, la humanidad debió pagar con millones de vidas, los avances que se alcanzaron en las áreas de la economía, la política, el comercio, las cuestiones militares, la geopolítica e incluso en lo cultural. Esto ocurrió, por igual en las cuatro fases de la historia de la humanidad: la antigua, la media, la moderna y la contemporánea.

Como señalamos en párrafos anteriores, esta lucha entre la URSS y Estados Unidos reflejó la competencia por los territorios, los mercados y los recursos naturales del planeta; asimismo por la ideología. El nuevo orden bipolar producto de la Guerra Fría, se estableció en 1964 con la división de Berlín en Oriental y Occidental, es decir en la parte democrática y en la parte federal. Esta división permitió la reedición de la guerra entre imperios, en este caso entre dos de ellos, que tenían como sedes a Moscú y Washington, respectivamente. Ambos se seguirían enfrentando, utilizando estrategias geopolíticas como en el pasado lo habían hecho sus antecesores.

## I.2. SEGURIDAD NACIONAL.

El objetivo de Seguridad Nacional con respecto al proyecto es demostrar que el biogás es una opción real de Seguridad Energética; esto a través del aprovechamiento de los recursos que se encuentran en los rellenos sanitarios, en este caso el Bordo Poniente además de contribuir como fuente alterna de energía, por lo tanto se tomará de base la siguiente información.

En los primeros años de la Guerra Fría, el Pentágono crea el término de Seguridad Nacional para sustituir al de Geopolítica, que en ese tiempo era muy denostado por la comunidad internacional. La justificación para instituir el concepto de Seguridad Nacional, es la aparente amenaza que representa para Estados Unidos y sus aliados europeos, tanto la URSS como el Socialismo. Dicha amenaza, cierta o verdadera, obliga a las naciones de Occidente a perpetuar las estrategias geopolíticas de expansionismo imperial, pero ahora bajo un nuevo término, que es el de Seguridad Nacional.

En el marco de esta nueva política de defensa-ataque, el gobierno de Estados Unidos emite un decreto en el cual oficializa el nombre de Seguridad Nacional y al mismo tiempo crea algunas instituciones que se dedicarán a salvaguardar la seguridad de la sociedad estadounidense. Entre esas instituciones destacan el Consejo de Seguridad Nacional y la Agencia Central de Inteligencia entre otras. De la misma manera, en el Pentágono se crean oficinas encargadas de vigilar las acciones que en contra de este país pudieran desarrollarse desde el exterior. De esta manera de la teoría a la práctica, el gobierno de Estados Unidos militariza la agenda de seguridad nacional. *En lo que respecta a la definición de Seguridad Nacional, en Estados Unidos, esta se refiere a la capacidad del Estado de proteger las instituciones nacionales, así como también a la sociedad y el territorio. Esta definición no cambia con el tiempo y lo que se modifica es la agenda de temas (amenazas) a la Seguridad Nacional.*<sup>4</sup>

---

<sup>44</sup> La nueva revolución Energética, García Reyes Miguel, 2007, México, Editorial García Goldman y Koronovsky editores, pag 197-200.

Sin embargo, tanto en ese país como en algunas naciones de Europa e incluso las socialistas que encabezaba Rusia, muy a pesar de las consignas de los políticos y algunas instituciones sociales y religiosas, para evitar que se siga usando la geopolítica, esta ciencia se siguió estudiando y aplicando. Lo anterior se comprueba en el hecho de que tanto la URSS como Estados Unidos y sus respectivos aliados siguieron confrontándose entre sí. La división del mundo en dos bloques y las guerras que mantuvieron ambos es una muestra de que la geopolítica se seguía aplicando, muy a pesar de los daños que causaba a la humanidad.

Es en la década de los setentas del siglo pasado, cuando Estados Unidos comienza a manejar el concepto de Seguridad Energética que deriva de la Seguridad Nacional. Los factores que urgen a Washington a crear este nuevo concepto son: en primer lugar, la crisis petrolera que comienza a experimentar esa nación, debido a la caída en su plataforma de producción de petróleo y gas. Según el geofísico Hubbert, esa nación alcanzó su pico de máxima producción en los años sesentas del siglo pasado, la que provocó una declinación en sus niveles de extracción. El segundo factor es el embargo petrolero que aplicó en 1973 la OPEP a los países consumidores, entre los que destacan los EEUU y las naciones de Europa Occidental. Una de las justificaciones del embargo fue que dichos países brindaban su apoyo a Israel en su lucha con los palestinos.

El embargo de la OPEP mostró así la dependencia brutal que tenían del petróleo los países capitalistas industrializados, sobretodo el que proviene del Medio Oriente. En respuesta, los países afectados comenzaron a desarrollar la Tercera Revolución Industrial que impulso el uso de los bioenergéticos y las fuentes limpias de energía, como son el sol, el viento, las mareas, la energía nuclear y el hidrogeno, entre otros. Una de las consecuencias del embargo petrolero es que permitió entre otras cosas que el precio del barril de crudo ascendiera de los 3 dólares a los 38 dólares en el lapso de 1972 a 1980; la existencia de miles de millones de petrodólares que posteriormente fueron enviados principalmente a los bancos de Estados Unidos desde donde se reciclaron en forma de préstamos a los países en desarrollo, entre los que se encuentra México.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> National Security Consequence of U.S oil Dependency, sponsored by the council on foreign relation, 2007

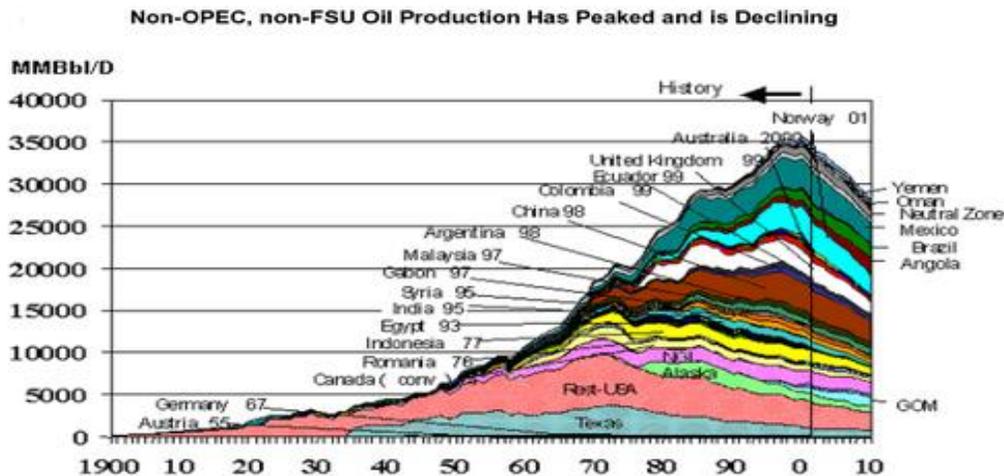
En lo que se refiere a nuestro país y otras naciones productoras de petróleo independientes a consecuencia del embargo, comenzaron a recibir inversiones para que pudieran incrementar sus trabajos de exploración y producción en los campos petroleros. El objetivo de esta medida era asegurarles a los países industrializados el abastecimiento de petróleo y gas natural.

### I.3. SEGURIDAD ENERGÉTICA.

De esta situación surge en gran medida, en Estados Unidos, el término de Seguridad Energética. Hay que señalar que el caso de Estados Unidos en cuanto a la declinación de la producción de petróleo no era el único, lo acompañaban otros países productores de crudo. Esto se observa en el la gráfica 1, donde se muestra la evolución de la producción de petróleo de los países que ya alcanzaron su pico (no incluye miembros de la OPEP, ni Rusia).

La gráfica 1 se realizó en el año 2003 y la producción a partir de la línea vertical es una predicción.

*Gráfica 1. Predicción de la evolución de producción de petróleo de los países que ya alcanzaron su declinación, no incluye países de OPEP y Rusia.*



Fuente: Tomada de la Seguridad Energética en el siglo XXI, el uso intensivo del gas natural y las fuentes alternas de energía, García Reyes Miguel, 2009, Editorial García Goldama y Knorman y coronoski ídem.

Según el Departamento de Energía de los Estados Unidos, el año en el que los países llegarán a su pico de máxima producción son los siguientes:

- Austria (1955), Alemania (1967), Canadá (1974), Rumania (1976), Indonesia (1977), Egipto (1993), India (1995), Siria (1995), Gabón (1997), Malasia (1997), Argentina (1998), Colombia (1999), Ecuador (1999), Reino Unido (1999), Australia (2000), Omán (2001), Noruega (2001), México (2003).

Otra fuente, la British Petroleum determinó también los siguientes años:

- Estados Unidos (1970), Venezuela (1970), Lybia (1970), Kuwait (1972), Irán (1974), Rumania (1976), Indonesia (1977), Trinidad y Tobago (1978), Iraq (1979), Túnez (1980), Perú (1982), Camerún (1985), Federación Rusa (1987), Egipto (1993), Siria (1995), Gabón (1996), Argentina (1998), Colombia (1999), Reino Unido (1999), Uzbekistán (1999), Australia (2000), Noruega (2001), Omán (2001), Yemen (2002), Turkmenistán (2003), México (2004), Dinamarca (2004), India (2004), Malasia (2004), Vietnam (2004), Kuwait (2013), Arabia Saudita (2014), Irak (2018).

En el marco de la Seguridad Energética, un concepto que después utilizarían las naciones de Europa, Eurasia y del mundo subdesarrollado y que determina la capacidad del Estado de asegurar el abastecimiento, primero de petróleo y ahora del gas natural y la energía limpia, con el objetivo de mitigar la crisis energética que comenzaba a experimentar su país, sus creadores, los estadounidenses, establecieron las bases de un programa energético que le permitiera en las siguientes décadas asegurar sus abastecimientos petroleros desde dentro y fuera de su territorio.

Esta es la razón del porque a finales del gobierno de James Carter en 1979, Washington advirtió que la región de Medio Oriente era un componente muy importante para la Seguridad Nacional y por ende energética de Estados Unidos. Esta advertencia tuvo como principal dirección la URSS que en ese entonces se esforzaba también por sentar sus reales en esa zona que posee mas de las tres cuartas partes del total de las reservas petroleras mundiales calculadas en un millón de millones, 200 mil millones de barriles de petróleo.<sup>6</sup>

En el caso de las naciones de Europa Occidental (esta ultima palabra, es un eufemismo que se uso para etiquetar a los países europeos que eran aliados de Estados Unidos), la situación en el área petrolera no era tan diferente a la de Estados Unidos. Incluso podría calificarse como más angustiante; la razón de esto es que en primer lugar, padecieron también los efectos del embargo de la OPEP, y en segundo lugar que no contaban con petróleo como era el caso de Estados Unidos, que si tenía petróleo en su subsuelo. Como se sabe, en la parte occidental de Europa, en el área continental por cuestiones geológicas se carece de hidrocarburos.

La situación cambió cuando se comenzaron a desarrollar los campos petroleros del mar del Norte, que en la actualidad se encuentran también en declive; esto obligó a esas naciones, la mayoría de las cuales pertenecen a la Agencia Internacional de Energía a fomentar buenas relaciones con la entonces Unión Soviética, la cual les abastecía de petróleo y gas natural. Esto mismo, hay que señalarlo ocurrió en las naciones desarrolladas de sureste asiático, es decir Japón y los tigres asiáticos de la primera generación.

De esta manera, se puede señalar que es en Estados Unidos donde surge el concepto de Seguridad Energética, el cual se desplazaría también a otras naciones industrializadas del planeta y que en sus inicios este concepto hacia referencia sobretudo al abastecimiento seguro de hidrocarburos, tanto petróleo como gas natural.

Por el contrario, para la mayoría de las naciones productoras de petróleo, tanto para las que pertenecen a la OPEP como a las independientes, la Seguridad Energética significaba, además de abastecimiento seguro de hidrocarburos, la seguridad de recibir ingresos por sus exportaciones petroleras. Esto ocurrió de manera especial con la URSS,

---

<sup>6</sup> La Seguridad Energética en el siglo XXI, el uso intensivo del gas natural y las fuentes alternas de energía, García Reyes Miguel, 2009, Editorial García Goldama y Knorman y coronoski ídem.

nación que además de ser una gran consumidora de hidrocarburos, en los tiempos del socialismo soviético sustentaba su presupuesto nacional en sus ingresos del exterior por concepto de ventas de armas y petróleo. Un caso igual o más grave que el de la URSS, en la actualidad, es el de México, Nigeria o Venezuela, naciones que hoy dependen en un alto grado de sus ingresos petroleros para impulsar su economía.

Ahora bien, en lo que respecta a las naciones subdesarrolladas, hay que destacar que por negligencia o por desconocimiento, no emularon a los países ricos en lo referente a la necesidad de planificar en un área, la energética, que es tan importante para el desarrollo económico. La excepción en este grupo de países podría ser China, una nación que no cuenta con muchos recursos energéticos como es el caso del petróleo, pero que sin embargo puede ser considerada como una potencia industrial. Sin embargo el gigante asiático a lo largo de su historia como nación socialista siempre ha privilegiado la planificación, en este caso en el rubro energético. A diferencia de ella, otros países pobres con su indiferencia hacia la planificación, en algunos casos han agotado sus recursos petroleros, y en otros han adquirido una gran dependencia del exterior en lo referente a tecnologías y financiamientos para seguir impulsando el sector petrolero. Aquí valdrían la pena mencionar el caso de México, que por su falta de planificación en el sector petrolero, ha puesto en peligro al pueblo, por esta razón, en pocos años podríamos convertirnos en importadores netos de petróleo, además de que ya lo comenzamos a ser de gas natural.

En este sentido se puede confirmar que los países que son grandes consumidores de petróleo y gas, por su misma precariedad en lo que respecta a estos energéticos tuvieron que diseñar estrategias petroleras que les permitieran fortalecer su Seguridad Energética. Es el caso de Estados Unidos que cada día, en la actualidad, consume 20 mbpcd y cerca de 70 mil millones de pies cúbicos de gas natural. Para este país entonces el abastecimiento seguro de hidrocarburos no es algo mínimo, por lo tanto debe de trabajar para cubrir sus necesidades energéticas.

Ahora, ante los cambios que se están presentando en el sector energético, tanto Estados Unidos como las naciones industrializadas de Europa y Asia, en su intento por seguir fortaleciendo su Seguridad Energética, están tomando decisiones muy importantes para asegurar también sus importaciones de gas natural y al mismo tiempo para contar con tecnologías que les permitan usar la energía que proviene de las fuentes limpias.

En el caso de Estados Unidos se comprueba que los gobernantes desde hace varios lustros tomaron la decisión de diversificar sus fuentes de energía para disminuir la dependencia de ese país del petróleo importado. A través de la planificación iniciaron desde la década de los setentas del siglo pasado la investigación de las fuentes alternas de energía y el desarrollo de nuevas tecnologías. Por esta razón no debe de sorprender que en el marco de la Seguridad Energética, el gobierno de Barak Hussein Obama este desarrollando su proyecto de la Nueva Frontera Verde, la cual ayudará a ese país a disminuir su dependencia del petróleo y al mismo tiempo limpiar su medio ambiente, lo que a la larga lo llevará un desarrollo sostenible.

## **CAPÍTULO 2. FUENTES ALTERNAS DE ENERGÍA Y EL GAS NATURAL.**

La promoción de la eficiencia en el uso de las nuevas fuentes alternas de energías no evitará que estas se exploten en el largo plazo. Esto debido a que el petróleo seguirá siendo una buena opción para la generación de energía primaria.

Existen oportunidades reales para cambiar combustibles tradicionales por combustibles alternativos, que serán los que desplacen al petróleo y al gas natural, algo que ya ocurrió en el pasado. Por ejemplo la madera fue la fuente predominante de energía desde el tiempo de la fundación de las primeras colonias americanas en el siglo XVII hasta finales del siglo XIX.

En el siglo XIX, aproximadamente en 1895 el petróleo comenzó a desplazar al carbón, el cual a su vez había complementado a la energía hidroeléctrica. Posteriormente en 1957 apareció la energía nuclear, lo que permitió la diversificación del sector de las fuentes generadoras de energía eléctrica. A partir de 1970 se comenzaron a utilizar otras fuentes de energía alternativa como son: la fotovoltaica, la solar, la térmica y la geotérmica. Lo que representó un avance en el uso de fuentes de energía. Hoy en día pueden contribuir en la diversificación de combustibles, como se muestra en la tabla 1.

*Tabla 1. Costos en la generación de electricidad en los Países de la OECD proyectado de 2005 a 2030.*

Tecnología basada sobre:	Costos de inversión (Dólares por Kw), 2005	Costos de inversión (Dólares por Kw), 2030	Costos de generación de electricidad típica, 2005 (Dólares por Kw)	Costos de generación de electricidad típica, 2030 (Dólares por Kw)
Hidroeléctrica grande	1,500-5,500	1,500-5,500	30-120	30-115
Hidroeléctrica chica < 10 MW	1,800-6,800	1,000-3,000	60-150	50
Aire de entrada	900-1,100	800-900	30-80	30-70
Aire de Salida	1,500-2,500	1,500-1,900	70-220	60-180
Geotérmica	1,700-5,700	1,000-2,000	30-90	30-80
Solar	2,000-2,300	1,700-1,900	105-230	90-190
Biomasa	1,000-2,500	400-1,200	30-100	30-100
Maremotriz			55-160	
Carbón	1,000-1,200	1,000-1,250	20-60	35-40
Gas natural	450-600	400-500	40-60	35-45
Nuclear	2,000-2,500	1,500-3,000	25-75	47-62

Fuente: Agencia Internacional de Energía, Costos de generación de electricidad, 2006.

Actualmente y a pesar de los avances tecnológicos, no se espera que el petróleo y el gas natural sean desplazados del grupo de combustibles en uso en Estados Unidos durante las próximas dos décadas. Sobre todo en el sector transporte, donde por ahora no hay combustibles alternativos que compitan con él en el área económica. En contraste el petróleo si ha sido desplazado en ese país en la generación de energía eléctrica. En este caso el uso de petróleo para la generación de electricidad ha disminuido desde los años setenta.

Lo que si ha habido, en los últimos 10 años es un crecimiento fuerte en el uso de gas natural para generar energía eléctrica.

El consumo de gas natural en el mundo para la generación de energía eléctrica aumentó en 4.8 por ciento por año entre 1992-2002, lo que es alto comparado con los aumentos por año de aproximadamente 2 por ciento que hubo en el caso de la energía de carbón, el 0.4 % de la nuclear y el 0.4 por ciento por año de energía hidroeléctrica y otras fuentes de energía renovable.<sup>7</sup>

El aspecto económico tiene una gran importancia en el cambio de combustibles, considerando que los precios altos sostenidos pueden debilitar la demanda, cuando hay la oportunidad de usar combustibles alternativos. En el caso del gas natural, la demanda del sector posiblemente aminore en el futuro, particularmente después de 2020 cuando se espera que aumenten los precios del gas natural y agregue una nueva capacidad de energía eléctrica a partir de carbón, que llegaría a ser económicamente competitivo.<sup>8</sup>

El desafío energético mundial se complica aun más con otro factor importante: Los contaminantes y las emisiones de bióxido de carbono resultante del uso de energía. Aunque se ha progresado en reducir las emisiones de contaminantes de los automóviles y camiones así como de fábricas, hogares y otras fuentes estacionarias, al final harán falta de métodos energéticos nuevos para lograr mayor reducción de emisiones.

En la actualidad se ha incrementado el número de investigaciones sobre el desarrollo y despliegue de tecnologías de biomasa, geotérmica, solar, eólica y otras energías renovables y energéticamente eficientes para proveer abastecimiento de energía confiable, costeaable y ambientalmente segura para el futuro mundial.

En este sentido se toma de base la experiencia de los países como Brasil, España, Unión Soviética y Estado Unidos en la que la inversión en investigaciones sobre nuevas energías han sido por medio de la cooperación y asociación de países industrializados que están comenzando a dar resultados con mejoras espectaculares y continuas en el costo y eficiencia de estas tecnologías; sin embargo aun queda mucho por hacer para satisfacer los desafíos energéticos actuales y futuros.

---

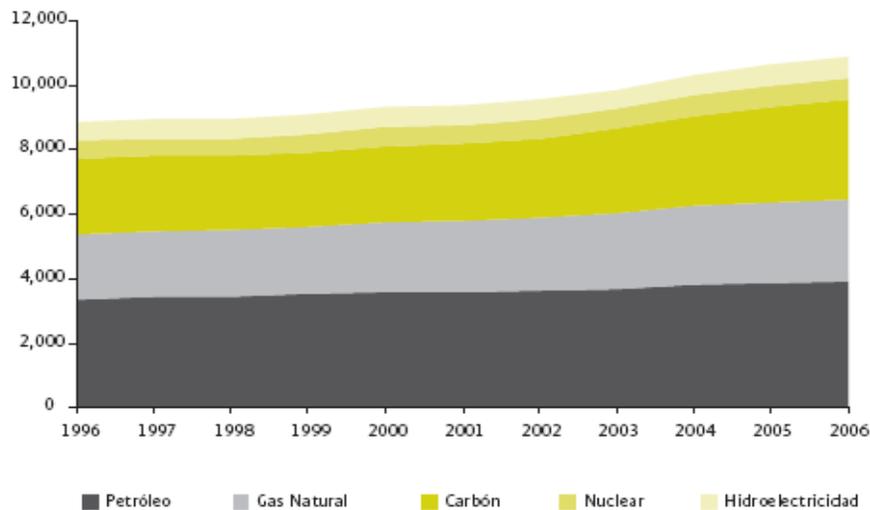
<sup>7</sup> Prospectiva del mercado de gas natural, Secretaria de Energía, México, 2006-2015.

<sup>8</sup> Prospectiva del mercado de gas natural, Secretaria de Energía, México, 2006-2015.

De cualquier manera, se continuará dependiendo de petróleo y gas natural para satisfacer la creciente demanda de energía y el grueso de esas exportaciones acrecentadas provendrá de la OPEP principalmente.

Cabe aclarar que una fuente de energía es un sistema natural cuyo contenido energético es susceptible de ser transformado en energía útil. Por lo que resulta importante conocer sus ventajas para así aprovechar su energía, la grafica 2 presenta el consumo mundial que energía primaria al año 2007.

*Gráfica 2. Consumo mundial de energía primaria.  
(Miles de toneladas de petróleo crudo equivalente).*



Fuente: *British Petroleum, Statistical Review of World Energy, 2007.*

El planeta posee grandes cantidades de energía. Sin embargo, uno de los problemas más importantes es la forma de transformarla en energía utilizable. Las fuentes más buscadas son las que poseen un alto contenido energético y acumulan energía en la menor cantidad de materia posible; es el caso del petróleo, carbón y gas natural. En otras, por el contrario, se encuentra difusa la búsqueda (solar, eólica, geotérmica, etc.). En la tabla 2 se presenta una perspectiva del consumo de diversas fuentes de energía primarias a partir de 1970 a 2002.

*Tabla 2. Perspectivas de consumo de diversas fuentes de energías primarias 1970-2020.  
(% de participación).*

<b>Combustible.</b>	<b>1970</b>	<b>1980</b>	<b>1990</b>	<b>1998</b>	<b>2000</b>	<b>2020</b>
<b>Petróleo.</b>	46.4	46.2	39.9	40	40.1	38.2
<b>Gas.</b>	19	20.3	22.5	23.1	24	30.3
<b>Carbón.</b>	32.1	28.4	28.6	2.2	26	24.1
<b>Nuclear.</b>	0.4	2.8	6.6	7.4	7.2	4.4
<b>Hidrogeno.</b>	2.1	2.3	2.4	2.7	2.7	3
<b>Total.</b>	100	100	100	100	100	100

Fuente: Ruskaya energeticheskaya Gazeta (Gazeta Rusa de energía), 2004, Moscú. Rusia pp. 20.  
Tomada de Miguel García Reyes la nueva revolución energética.

Las distintas fuentes de energía se clasifican en dos grupos, como se muestra el cuadro 1 y figura 1. Estas son:<sup>9</sup>

**Renovables.** Son aquellas fuentes que no desaparecen al transformar su materia en energía útil; se renuevan continuamente a causa de la presencia de fuerzas físicas como marea, viento, gradiente térmico del océano o la generación de materia vegetal y animal.

**No renovables.** Es el sistema material que se agota al transformar su energía en energía útil, se refiere principalmente a combustibles fósiles depositados en la tierra hace cientos de millones de años, cuando son explotados se reduce su capital energético.

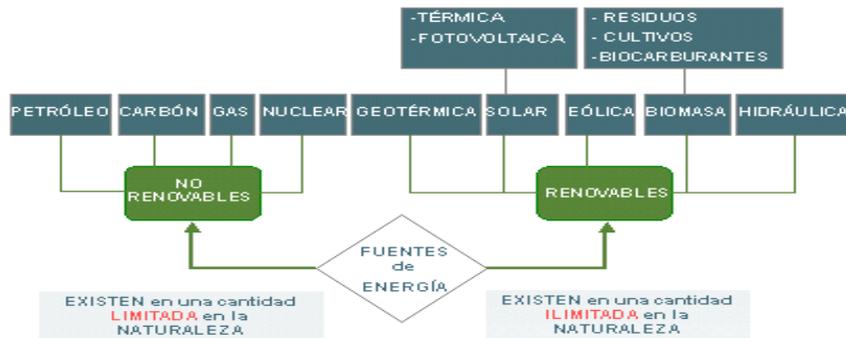
*Cuadro 1. Fuentes de energía.*

<b>Renovables</b>	<b>No renovables</b>
Agua almacenada en los pantanos (energía hidráulica), El Sol (energía solar), El viento (energía eólica), La biomasa. Las mareas (energía mareomotriz), Las olas.	Combustibles fósiles: Carbón, Petróleo, Gas Natural, Geotérmica, Uranio (energía nuclear de fisión).

Fuente: Enciclopedia de Energía, Tecnología, Considine Douglas M., 2005, México-Barcelona, Tomo 3, 4, 5.

<sup>9</sup> **Energía renovable en el siglo XXI, Gutiérrez Vela Jorge, Senado de la República, 2002, México DF., Capítulo 5.**

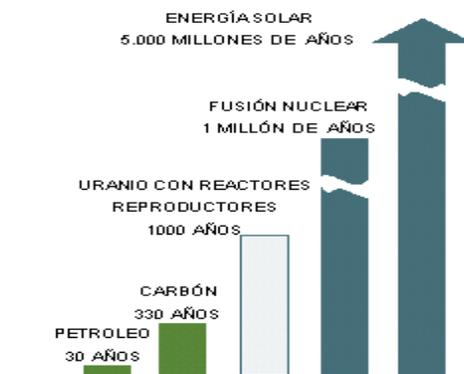
Figura 1. Organigrama de fuentes de energía.



Fuente: Ciencias ambientales (preservemos la tierra), Tyler G. Miller Jr, 2006, México, Capítulo 4, pág. 111.

En la figura 1 se muestra la duración que tendría cada fuente de energía, suponiendo que ella sola cubriese todas las necesidades energéticas de nuestra civilización y que dichas necesidades energéticas se mantuvieran al nivel actual de consumo.

Gráfica 3. Duración de las fuentes de energía en años.



Fuente: Ciencias ambientales (preservemos la tierra), Tyler G. Miller Jr, 2006, México, Capítulo 4, pág. 112.

La gráfica 3 muestra las distintas fuentes de energía tal y como se obtienen de la naturaleza, ya sea en forma directa o después de un proceso de extracción. Los recursos energéticos se utilizan como insumo para obtener productos secundarios o se consumen en forma directa, como es el caso, de la leña, el bagazo de caña y una parte del gas no asociado.

Cabe mencionar que las fuentes de energía tienen diferentes orígenes, tales como las siguientes:

Petróleo: Es una mezcla que se presenta naturalmente de hidrocarburos en las fases gaseosa líquida o sólida. En ocasiones contiene impurezas, como azufre y nitrógeno.

Caída de agua: energía potencial de un caudal hidráulico. La producción de hidroenergía se calcula convencionalmente dividiendo la generación bruta de electricidad entre la eficiencia del Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

Vapor natural: energía almacenada, bajo la superficie de la tierra, en forma de calor que emerge a la superficie en forma de vapor.

## **ENERGÍA DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES.**

Es la energía asociada al uso del carbón, gas natural y petróleo.

La forma de energía que poseen los combustibles fósiles es energía interna, que podemos aprovechar a partir de las reacciones de combustión.

Se puede transformar en lo que habitualmente se denomina energía térmica (calefacción), energía eléctrica, energía cinética (a través de los motores de combustión interna), etc. Es utilizada en multitud de aplicaciones domésticas e industriales.

## **CARBÓN MINERAL.**

El carbón se formó a partir de la descomposición anaeróbica de materia orgánica, principalmente plantas superiores terrestres (a diferencia del petróleo, que es de origen marino). Debido a la acción de las bacterias anaeróbicas, la materia orgánica fue ganando carbono y perdiendo oxígeno e hidrógeno; este proceso, aunado a los incrementos de presión y temperatura con el paso del tiempo, provocaron cambios físicos y químicos en los restos orgánicos y los transformaron en lo que hoy conocemos como carbón.

En la figura 2 se muestra el proceso del carbón.

Figura 2. Proceso del carbón.



*Fuente: Ciencias ambientales (preservemos la tierra), Tyler G. Miller Jr, 2006, México, Capítulo 4, pág. 144.*

## **ENERGÍA NUCLEAR.**

Energía nuclear de fisión.

Es la energía asociada al uso del uranio. La forma de energía que se aprovecha del uranio es la energía interna de sus núcleos. Se transforma en energía eléctrica. Una parte importante del suministro de energía eléctrica en los países desarrollados tiene origen nuclear.

El combustible utilizado en las centrales de fisión nuclear es el Uranio-235, que se encuentra en una cantidad del 0,7% de todo el Uranio disponible en la naturaleza, por lo que partiendo del Uranio-238, no fisible, este se enriquece para que el contenido de U-235 sea de un 2% a 3%. En la reacción de fisión, un núcleo pesado (U-235) se divide en dos núcleos más ligeros al absorber un neutrón, liberándose varios neutrones, generando una radiación y una cantidad considerable de energía que se manifiesta en forma de calor. Estos neutrones son empleados para provocar otra reacción, consiguiendo reiterativamente de este modo una cadena sucesiva de reacciones de fisión.<sup>10</sup>

El dispositivo encargado de regular las reacciones en un estado estacionario, que permita mantener un balance equilibrado de las mismas en la captura y escape de neutrones es llevado a cabo por el reactor nuclear.

---

<sup>10</sup>Energías renovables para el desarrollo sustentable en México, Secretaria de Energía, México, 2006, pág. 21.

Como se puede observar en el cuadro 2, las centrales nucleares son de tecnología que consumen uranio enriquecido y utilizan agua ordinaria como medio de refrigeración del reactor y moderador de los neutrones de fisión.

*Cuadro 2. Ventajas y desventajas de la energía nuclear de fisión.*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Grandes reservas de uranio.</li> <li>-Tecnología bien desarrollada.</li> <li>-Gran productividad. Con pequeñas cantidades de sustancia se obtiene gran cantidad de energía.</li> <li>-Aplicaciones pacíficas y médicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Alto riesgo de contaminación en caso de accidente.</li> <li>-Producción de residuos radiactivos peligrosos a corto y largo plazo.</li> <li>-Difícil almacenamiento de los residuos producidos.</li> <li>-Alto coste de las instalaciones y mantenimiento de las mismas</li> <li>-Posibilidad de uso no pacífico.</li> </ul>

Fuente: Enciclopedia de Energía, Tecnología, Considine Douglas M., 2005, México-Barcelona, Tomo 4.

**Energía nuclear de fusión.**

Recibe el nombre de fusión nuclear la reacción en la que dos núcleos muy ligeros (hidrógeno) se unen para formar un núcleo más pesado y estable, con gran desprendimiento de energía, Lo anterior se muestra en el cuadro 3.

*Cuadro 3. Ventajas y desventajas de la energía nuclear de fusión.*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Escasa contaminación.</li> <li>-Recursos prácticamente ilimitados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Dificultad del desarrollo tecnológico necesario.</li> <li>-Actualmente se encuentra en fase de investigación y desarrollo.</li> <li>-No se ha establecido aún si origina residuos peligrosos.</li> </ul>

Fuente: Enciclopedia de Energía, Tecnología, Considine Douglas M., 2005, México-Barcelona, Tomo 5.

Para que tenga lugar la fusión, los núcleos cargados positivamente, deben aproximarse venciendo las fuerzas electrostáticas de repulsión. La energía cinética necesaria

para que los núcleos que reaccionan venzan las interacciones se suministra en forma de energía térmica (fusión térmica)

La energía del Sol es un ejemplo de este tipo de energía. Actualmente se intentan reproducir los mismos procesos de fusión que ocurren en el Sol, pero de forma controlada.

El aprovechamiento por el hombre de la energía de fusión pasa por la investigación y desarrollo de sistemas tecnológicos que cumplan dos requisitos fundamentales; calentar y confinar.

Calentar para conseguir un gas sobrecalentado (plasma) en donde los electrones salgan de sus órbitas y donde los núcleos puedan ser controlados por campos magnéticos.

Confinar, para mantener la materia en estado de plasma o gas ionizado, encerrada en la cavidad del receptor el tiempo suficiente para que pueda reaccionar.

### **ENERGÍA HIDRÁULICA.**

Es la energía asociada a los saltos de agua ríos y embalses. La forma de energía que posee el agua de los embalses es energía potencial gravitatoria, que podemos aprovechar conduciéndola y haciéndola caer por efecto de la gravedad.

Se puede transformar en energía mecánica en los molinos de agua y en energía eléctrica en las centrales hidroeléctricas.

Ya desde la antigüedad se reconoció que el agua que fluye desde un nivel superior a otro inferior posee una determinada energía cinética susceptible de ser convertida en trabajo, como lo demuestran los miles de molinos que a lo largo de la historia fueron construyéndose a orillas de los ríos.

Recientemente se aprovecha la energía hidráulica para generar electricidad, y de hecho fue una de las primeras formas que utilizaron para producirla. El aprovechamiento de la energía potencial del agua para producir energía eléctrica utilizable, constituye en esencia la energía hidroeléctrica. Es por tanto un recurso renovable y autóctono. El conjunto de instalaciones e infraestructura para aprovechar este potencial se denomina central hidroeléctrica.

Existen dos grandes tipos de centrales hidroeléctricas. En el cuadro 4 se observan las ventajas y desventajas de esta fuente de energía:

**Convencionales**, aprovechan la energía potencial del agua retenida en una presa. Pueden ser por derivación de agua o por acumulación de agua.

**Bombeo**, estas centrales disponen de dos embalses situados a diferentes alturas. En las horas del día que se registra una mayor demanda de energía eléctrica, la central opera como una central hidroeléctrica convencional. Durante las horas del día en las que la demanda es mas baja, el agua almacenada en el embalse inferior puede ser bombeada al embalse superior para volver a realizar el ciclo productivo.

*Cuadro 4. Ventajas y desventajas de la energía hidráulica.*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
-Es una energía limpia. -No contaminante. -Su transformación es directa. -Es renovable.	-Imprevisibilidad de las precipitaciones. -Capacidad limitada de los embalses. -Impacto medioambiental en los ecosistemas. -Coste inicial elevado (construcciones de grandes embalses). -Riesgos debidos a la posible ruptura de la presa.

Fuente: Enciclopedia de Energía, Tecnología, Considine Douglas M., 2005, México-Barcelona, Tomo 5.

## **ENERGÍA EÓLICA.**

Es la energía asociada al viento. La forma de energía que posee es la energía cinética del viento, que podemos aprovechar en los molinos, en la navegación a vela.

Se puede transformar en energía mecánica en los molinos de vientos o barcos de vela, y en energía eléctrica en los aerogeneradores.

Se debe a la energía cinética del aire, la potencia que se obtiene es directamente proporcional al cubo del viento, por tanto pequeñas variaciones de velocidad, dan lugar a grandes variaciones de potencia.

Para la producción eléctrica se utilizan unas máquinas que se denominan aerogeneradores.

Existen dos tipos de instalaciones eólicas:

**Aisladas**, para generar electricidad en lugares remotos, para autoconsumo. Estas instalaciones pueden ir combinadas con placas solares fotovoltaicas.

**Parques eólicos**, que se instalan en las cumbres de las montañas, donde la velocidad del viento es adecuada para la rentabilización de las inversiones.

El desarrollo tecnológico actual, así como un mayor conocimiento de las condiciones del viento en las distintas zonas, está permitiendo la implantación de grandes parques eólicos conectados a la red eléctrica en todas las comunidades autónomas. En la actualidad existen dos modelos aerogeneradores. Los de eje horizontal y los de eje vertical. Los primeros constan de una hélice o rotor acoplada a un conjunto soporte llamado góndola o navicilla (en donde están albergados el aerogenerador y la caja de engranajes) montados ambos sobre una torre metálica o de hormigón. En cuanto a los de eje vertical, presentan la ventaja de que, al tener colocado el generador en la base de la torre, las tareas de mantenimiento son menores. Sin embargo su rendimiento es menor que los de eje horizontal.

En resumen la máquina eólica se divide en estos elementos:

**SopORTE:** Es capaz de resistir el empuje del viento y altura para evitar las turbulencias que produce el suelo.

**Sistema de captación o rotación:** Compuesto por un número de palas cuya misión es la transformación de energía cinética en eléctrica.

**Sistema de orientación:** Mantiene el rotor cara al viento dependiendo del dispositivo usado.

**Sistema de regulación:** Controla la velocidad de rotación y el par motor en el eje del rotor evitando fluctuaciones.

**Sistema de transmisión:** Su misión será el acoplamiento entre el sistema de captación y el sistema de generación.

**Sistema de generación:** Es el encargado de producir la energía eléctrica.

En el cuadro 5 se observan las ventajas y desventajas en el uso de esta fuente.

*Cuadro5. Ventajas y desventajas de la energía eólica.*

Ventajas	Desventajas
-Limpia. -Sencillez de los principios aplicados. -Conversión directa. -Empieza a ser competitiva.	-Intermitencia de los vientos. -Dispersión geográfica. -Impacto ambiental sobre ecosistemas. -Generación de interferencias. -Tecnología en desarrollo. -Dificultad de almacenamiento.

Fuente: Energías renovables para el desarrollo sustentable en México, Secretaria de Energía, México, 2006, pág. 20.

## ENERGÍA SOLAR.

Es la energía asociada a la radiación solar. La forma de energía que posee el Sol es energía nuclear interna que se transforma en la energía que emite mediante procesos de fusión. El Sol emite sin cesar lo que se llama energía radiante o, simplemente, radiación.

Se transforma en lo que habitualmente se denomina energía térmica y en energía eléctrica. Se puede realizar directamente (fotovoltaica) o indirectamente. El sistema de aprovechamiento de la energía del sol para producir energía eléctrica se denomina conversión fotovoltaica.

Para ello se utilizan unas células fotovoltaicas, construidas con un material cristalino semiconductor, el silicio. Estas células están dispuestas en paneles que transforman la energía solar en energía eléctrica. El desarrollo de estos sistemas está ligado en origen a la técnica de los satélites artificiales, debidos a la fiabilidad de su funcionamiento y su reducido peso.

Actualmente existen dos formas de utilización de la energía fotovoltaica:

**Instalaciones en lugares aislados de la red pública**, la producción eléctrica así obtenida se emplea para autoconsumo de la propia instalación.

**Instalaciones que se conectan a la red eléctrica**, la producción eléctrica obtenida con las células fotovoltaicas se inyecta a la red pública eléctrica.

En el cuadro 6 podemos observar la ventajas y desventajas en el uso de la fuente.

Cuadro 6. Ventajas y desventajas de la energía solar.

Ventajas	Desventajas
-Limpia. -Sencillez de los principios aplicados. -Conversión directa. -Empieza a ser competitiva.	-Grandes variaciones en el tiempo de irradiación. -Es aprovechable sólo en algunas partes del planeta. -Necesidad de grandes superficies de captación para su aprovechamiento a gran escala. -Tecnología en desarrollo. -Dificultad de almacenamiento.

Fuente: Energías renovables para el desarrollo sustentable en México, Secretaría de Energía, México, 2006, pág. 20.

### ENERGÍA DE LA BIOMASA.

Es la energía asociada a los residuos orgánicos generados en la transformación de productos agrícolas, forestales y a los residuos sólidos urbanos. Se trata de aprovechar la energía interna de estos residuos. También se cultivan grandes superficies específicamente para producir biomasa.

Se puede transformar en combustibles sólidos (carbón vegetal), líquidos (alcohol y otros) y gaseosos (biogás). De su combustión se puede obtener energía eléctrica.

El término biomasa en su acepción más amplia incluye toda la materia viva existente en un instante de tiempo en la Tierra. La biomasa energética también se define como el conjunto de la materia orgánica, de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial.

Cualquier tipo de biomasa tiene en común con el resto el hecho de provenir en última instancia de la fotosíntesis vegetal. El concepto de biomasa energética, en adelante simplemente biomasa, es susceptible de ser utilizado con fines energéticos.

Una de las posibles clasificaciones que pueden realizarse de la biomasa atendiendo a su origen es la siguiente:

- Residuos forestales o agrícolas.
- Residuos sólidos urbanos.
- Residuos animales.

- Residuos de industrias agrícolas.

En cuanto a las perspectivas del aprovechamiento de la biomasa, ésta se puede hacer de dos maneras:

- Aplicaciones domésticas e industriales que pueden considerarse tradicionales o habituales y que funcionan mediante la combustión directa de la biomasa.
- Aplicaciones vinculadas a la aparición de nuevos recursos y nuevas técnicas de transformación que últimamente han alcanzado un cierto grado de madurez. Entre las nuevas tecnologías disponibles puede citarse la gasificación de la biomasa, que permite utilizarla en centrales de cogeneración de ciclo combinado.

**Biocarburantes.-** Constituyen una alternativa a los combustibles tradicionales en el área del transporte, con un grado de desarrollo desigual en los diferentes países. Bajo esta denominación se recogen dos líneas totalmente diferentes, la del bioetanol y la del biodiesel.

**Bioetanol.-** Las principales aplicaciones van dirigidas a la sustitución de la gasolina ó a la fabricación de ETBE (Etil- ter-butil eter, aditivo oxigenado de elevado índice de octano que se incorpora a la gasolina).

En el caso del etanol, y en lo que se refiere a la producción de materia prima, actualmente se obtiene de cultivos tradicionales como el cereal, maíz y remolacha, que presentan un alto rendimiento en alcohol etílico. En el futuro se apunta a obtener cultivos más baratos ó variedades de los citados anteriormente orientadas a optimizar su uso en aplicaciones energéticas.

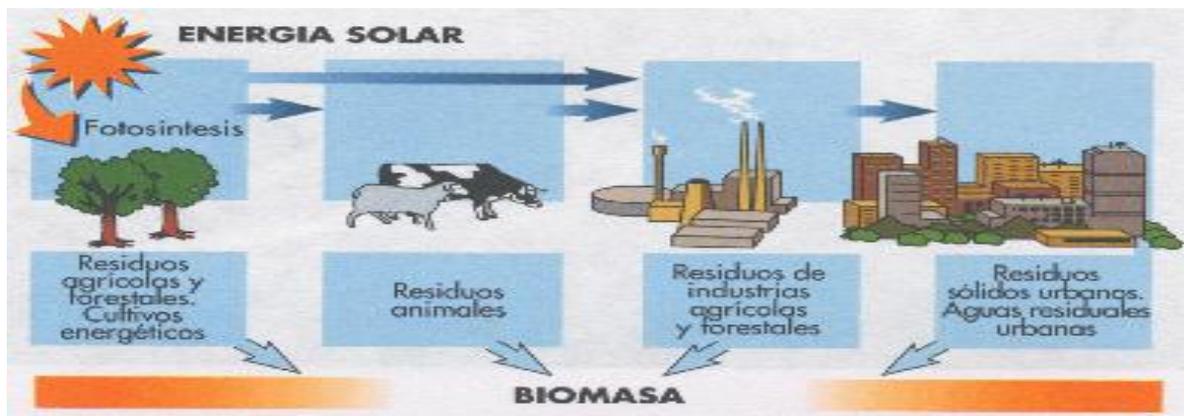
La novedad tecnológica en los procesos de transformación, podría venir por la aplicación de procesos de hidrólisis a productos lignocelulósicos, con lo cual se obtendría una materia prima barata de cara a los procesos de fabricación de etanol.

**Biodiesel.-** La principal aplicación va dirigida a la sustitución de gasóleo. Las tecnologías para la producción de biodiesel, en la actualidad parten del uso de las variedades comunes de especies convencionales como el girasol y la colza. En un futuro se apunta a variedades orientadas a favorecer las cualidades de producción de energía. Paralelamente se irán incorporando nuevos productos agrícolas y aceites usados como materias primas. Su uso suele ser mezclado con gasóleo en proporciones inferiores al 50%.

**Biogás.**-Se obtiene por la acción de un determinado tipo de bacterias sobre los residuos biodegradables, utilizando procesos de fermentación anaerobia. Dentro de los residuos biodegradables se engloban:

- Los residuos ganaderos.
- Los lodos de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR).
- Los residuos biodegradables de instalaciones industriales (Son industrias como la cervecera, azucarera, conservera, alcoholera, la de derivados lácteos, la oleícola, la alimentaria y la papelera las que generan éste tipo de residuos).
- La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. En la figura 3 se presenta el ciclo generador de la Biomasa.

*Figura 3. Generación de Biomasa.*



*Fuente: Ciencias ambientales (preservemos la tierra), Tyler G. Miller Jr, 2006, México, Capítulo 4, págs. 158-159.*

## ENERGÍA MAREOMOTRIZ.

Es la energía asociada a las mareas provocadas por la atracción gravitatoria del sol y principalmente de la Luna, su funcionamiento se basa en los mismos principios que las hidroeléctricas; esto es, se utiliza para mover turbinas.

Así como el movimiento del agua en los ríos contiene energía que se transforma en electricidad, también el agua de los océanos en movimiento contiene una inmensa cantidad de energía poco aprovechada hasta la fecha. Las mareas son más confiables por su ritmo cíclico de tal manera que si construimos barreras artificiales en brazos angostos, en lugares con mareas fuertes, podemos almacenar el agua durante la marea alta y pasarla a través de turbinas durante la marea baja para generar electricidad.

### **ENERGÍA GEOTÉRMICA.**

Es la energía interna y cinética asociada al vapor de agua que sale directamente a la superficie en zonas volcánicas y al aumento de temperatura que se produce conforme profundizamos en la superficie terrestre. Se transforma en energía eléctrica o en energía térmica para calefacción.

Se muestra la manifestación de la energía térmica acumulada en rocas o aguas que se encuentran a elevada temperatura en el interior de la tierra. En el cuadro 7 se muestra las ventajas y desventajas de la energía geotérmica.

*Cuadro 7. Ventajas y desventajas de la energía geotérmica.*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
-Limpia renovable.	-Necesita construir presas y diques. -Posible impacto ambiental en ecosistemas. -Sólo es aprovechable en lugares muy concretos. -Corrosión de los sistemas.

Fuente: Energías renovables para el desarrollo sustentable en México, Secretaría de Energía, México, 2006, pág. 24.

Se le asigna carácter renovable en función de la baja agresión al entorno que supone su recuperación.

La energía acumulada en zonas volcánicas o de anomalía térmica se aprovecha haciendo circular a su través agua o vapor que transporta hasta la superficie el calor almacenado en las zonas calientes. La temperatura del fluido portador puede ser baja, media

o alta dependiendo de la tipología del yacimiento geotérmico. Sólo este último caso permite disponer de suficiente vapor para la generación eléctrica en turbinas, el uso de las otras dos modalidades es el de calentamiento de agua y calefacción.

## 2.1. RECURSOS DE GAS NATURAL.

### GAS NATURAL.

Es una mezcla de gases entre los que se encuentra en mayor proporción el metano. Se utiliza como combustible para usos domésticos e industriales y como materia prima en la fabricación de plásticos, fármacos y tintes. La proporción en la que el metano se encuentra en el gas natural es del 75 al 95% del volumen total de la mezcla (por este motivo se suele llamar metano al gas natural).

El resto de los componentes son etano, propano, butano, nitrógeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, helio y argón. Antes de emplear el gas natural como combustible se extraen los componentes más pesados, como el propano y el butano.

Aunque existen yacimientos que proporcionan exclusivamente gas natural, éste está casi siempre asociado al petróleo en sus yacimientos, y sale a la superficie junto a él cuando se perfora un pozo.

La destilación no puede proporcionarnos más que los productos que estén presentes en el crudo de forma natural, lo cual puede no satisfacer la demanda de un producto concreto. Por esta razón se emplean otras técnicas, una de las usuales es el **craqueo o pirólisis**, que consiste en la ruptura de una molécula pesada (por ejemplo, fuel) en varias moléculas ligeras, no necesariamente idénticas entre ellas (gasolina y gasóleo).

Al igual que en el caso de las reservas de petróleo, los recursos de gas natural han aumentado en general cada año desde la década de 1970. Hasta el primero de enero de 2004 las reservas comprobadas de gas natural calculas por el Oil&Gas Journal eran de 172 billones de metros cúbicos.<sup>11</sup>

La mayoría de los aumentos de las reservas de gas natural en años recientes se han registrado en el mundo en desarrollo y cerca de tres cuartas partes de las reservas de gas

---

<sup>11</sup> **Perspectivas económicas, departamento de Estados Unidos, Mayo de 2004, Desafíos de la Seguridad Energética, abastecimiento mundial de energía y el mercado de Estados Unidos, Por Guy F. Caruso, Linda E Doman**

natural del mundo se encuentran en el Oriente Medio y en la ex Unión soviética (Rusia, Irán y Qatar juntos representan aproximadamente el 58 % de estas reservas). Las reservas restantes están distribuidas muy uniformemente entre tres regiones del mundo.<sup>12</sup>

La relación entre las reservas y la producción ofrece una medida aproximada al número de años que podría esperarse que dure el suministro de gas natural proveniente de alguna región, suponiendo que se mantengan los niveles de producción actuales. Esta relación se calcula dividiendo las reservas comprobadas de una región determinada entre la producción anual actual de esa región. En el mundo en general se calcula que la relación entre las reservas y la producción es de 61 años; la ex Unión Soviética; la tiene calculada para 76 años, África para 90 años y el Oriente Medio para mas de 100 años. En la tabla 3 se puede observar una lista de países suramericanos con sus respectivos volúmenes de reservas como consumo y producción de gas natural.

---

<sup>12</sup> [Prospectiva del mercado de gas natural, Secretaria de Energía, México, 2006-2015.](#)

*Tabla 3. Reservas, producción y consumo de gas natural en Suramérica.*

<b>País.</b>	<b>Año.</b>	<b>Reservas.</b>	<b>Producción.</b>	<b>Consumo.</b>	<b>Diferencia (Producción-consumo).</b>
<b>Argentina.</b>	2007	16.1	1600	1336	264
<b>Bolivia.</b>	2006	24.0	400	75.6	324.4
<b>Brasil.</b>	2006	11.5	340	610	-270
<b>Chile.</b>	2006	3.5	38.5	292.8	-254.3
<b>Colombia.</b>	2006	4.0	218	218	0
<b>Ecuador.</b>	2006	0.3	6.0	6.0	0
<b>México.</b>	2006	16.0	1.5	1.8	-0.3
<b>Paraguay.</b>	2003	0	0	0	0
<b>Perú.</b>	2006	8.7	19.8	19.8	0
<b>Uruguay.</b>	2003	0	0	2.1	-2.1
<b>Venezuela.</b>	2006	151.0	960	960	0

Fuente: Agencia Internacional de Energía, Informe de los países, revisados en diferentes años, 2006.

Reservas, producción, consumo en unidades de miles de millones de pies cúbicos, para el caso de la tabla 3).

El cálculo más bajo se basa en una posibilidad de 95 por ciento o más de que se encontrarán los recursos no descubiertos y el cálculo mas alto toma como base un 5 por ciento de posibilidades o más de que se descubran los recursos.

Si se considera el valor previsto o la evaluación media, el cálculo del gas natural no descubierto en todo el mundo es de unos 120 billones de metros cúbicos. En cuanto a los recursos de gas que se espera se agregarán durante 25 años de crecimiento de las reservas representan unos 66 millones de metros cúbicos. Al igual que en el caso del petróleo, los recursos de gas natural pueden aumentar con el tiempo debido a los avances tecnológicos y las circunstancias económicas.

Se calcula que una cuarta parte del gas natural no descubierto se encuentra en las reservas de petróleo no descubiertas. Por tanto, se espera que más de la mitad de la media del gas natural no descubierto proceda del Oriente Medio, la ex Unión Soviética y el norte de África. Aunque Estados Unidos ha producido más del 40 por ciento del total calculado de sus reservas naturales y tiene solamente 10 por ciento de sus reservas comprobadas restantes en el resto del mundo, las reservas no han sido mayormente explotadas. Fuera de Estados

Unidos el mundo ha producido hasta ahora menos del 10 por ciento de sus recursos calculados de gas natural y todavía más del 30 por ciento de reservas restantes.

### **2.1.1. VÍNCULOS DE SUMINISTROS DE GAS NATURAL CON LOS MERCADOS CRÍTICOS.**

El gas natural podría jugar un papel clave en la Seguridad Energética de Estados Unidos y otros países en décadas venideras.

Tradicionalmente el gas natural ha sido objeto de menos comercio internacional que el petróleo. Solo la cuarta parte del gas asociado utilizado mundialmente en 2002 se importó en comparación con más de la mitad del petróleo consumido. Por otra parte el comercio del gas natural aumenta al mismo ritmo veloz que el petróleo. El consumo mundial de gas crece con mayor rapidez que el petróleo. Ya que el gas ha llegado a ser el combustible de transición al pasar de hidrocarburos mas pesados y contaminantes (carbón y petróleo) a fuentes de energía nuevas, tales como pilas de hidrogeno. Además las reservas comprobadas de gas se agotan a un ritmo mucho más lento.

## **CAPÍTULO 3. BIOGAS.**

### **3.1. HISTORIA DEL BIOGÁS.**

Las primeras menciones del Biogás se ubican en el año de 1600, cuando fue identificado por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica. Posteriormente, en el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India, y en 1896, en Inglaterra las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

Tras las guerras mundiales comienza a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de Biogás cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época. En todo el mundo se difunden los denominados tanques Imhoff para el tratamiento de aguas cloacales colectivas. El gas producido se utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades con lo que se llegó a inyectar en la red de gas comunal.

Durante la Segunda Guerra Mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India, que se transforman en líderes en la materia. Dicha evento se vio interrumpido por el fácil acceso a los combustibles fósiles y la crisis energética de la década de los 70s, en la que se reinició con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo, incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos.

En los últimos 20 años se han tenido fructíferos resultados en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico, a través del material de laboratorio, que permitieron el estudio de los microorganismos intervinientes en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno) para el biogás.

Estos avances en la comprensión del proceso microbiológico han estado acompañados por importantes logros de la investigación aplicada obteniéndose grandes avances en el desarrollo tecnológico. Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, Estados Unidos, Filipinas y Alemania.

A través del tiempo la tecnología de la digestión anaeróbica se fue especializando abarcando actualmente muy diferentes campos de aplicación con objetivos muy diferentes.

### 3.2. DEFINICIÓN DE BIOGÁS.

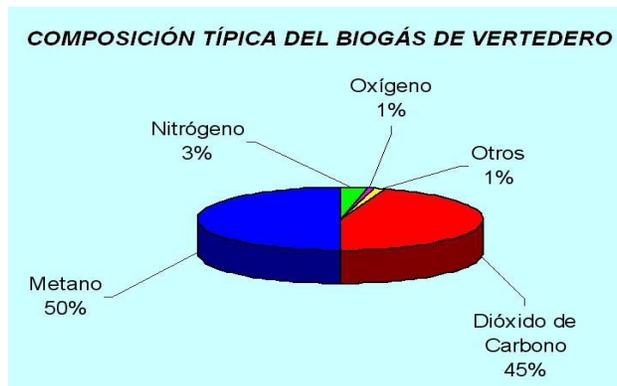
Es un gas que consiste principalmente en el gas metano (55%-65%) producido por la digestión anaeróbica (en la ausencia del oxígeno molecular) de materia orgánica.

Este gas se conoce por varios nombres, dependiendo de dónde se forma, dado que la digestión anaeróbica es muy frecuente en los humedales se le pone el nombre gas de pantano o gas de swampo. Sin embargo, no importa donde se forme, todo biogás se produce con las mismas reacciones químicas para tener casi la misma composición gaseosa.

### 3.3. COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS.

Así como cualquier gas puro, las propiedades y características del Biogás dependen de la presión y la temperatura. El valor calorífico del biogás corresponde aproximadamente a la mitad de un litro de combustible diesel; el valor calorífico neto depende de la eficiencia de los quemadores o de su aplicación.<sup>13</sup>

*Gráfica 4. La composición del Biogás.*



Fuente: Producción de biogás con fines energéticos, Contreras L., México, 2006, pág. 20.

<sup>13</sup> Enciclopedia de Energía, Tecnología, Considine Douglas M., 2005, México-Barcelona, Tomo 5.

El Biogás de vertedero constituye el métodos más común de gestión de residuos, aun cuando apareciera continuamente nuevas posibilidades, esta técnica se usa siempre y cuando se disponga de terreno libre; aquí algunas de las ventajas; método económico, aplicable a una amplia variedad de residuos, recupera espacios libres por rehabilitación, fuente alterna de energía de calor y electricidad.

*Tabla 4. Las características del Biogás.*

<i>Características</i>	<i>Ch<sub>4</sub></i>	<i>Co<sub>2</sub></i>	<i>H<sub>2</sub>-h<sub>2</sub>s</i>	<i>Otros</i>	<i>Biogás 60/40</i>
<i>Proporciones % volumen</i>	55-70	27-44	1	3	100
<i>Valor calórico mj/m<sup>3</sup></i>	35,8	-	10,8	22	21,5
<i>Valor calórico kcal/m<sup>3</sup></i>	8600	-	2581	5258	5140
<i>Ignición % en aire</i>	5-15	-	-	-	6-12
<i>Temp. Ignición en °c</i>	650-750	-	-	-	650-750
<i>Presión crítica en mpa</i>	4,7	7,5	1,2	8,9	7,5-8,9
<i>G/l</i>	0,7	1,9	0,08	-	1,2
<i>Densidad relativa</i>	0,55	2,5	0,07	1,2	0,83
<i>Inflamabilidad vol. en % aire</i>	5-15	-	-	-	6-12

Fuente: Producción de biogás con fines energéticos, Contreras L., México, 2006, pág. 21.

### 3.4. VENTAJAS DEL BIOGÁS.

- La fermentación anaeróbica de la materia orgánica produce un residuo de excelentes propiedades fertilizantes y esto le trae beneficios al suelo, similares a los que se alcanzan con cualquier otra materia orgánica. Es decir, actúa como mejorador de las características físicas, facilitando la aireación, aumentando la capacidad de retención de humedad, la capacidad de infiltración del agua y la capacidad de intercambio catiónico.
- Actúa como fuente de energía y nutrientes para el desarrollo de núcleos microbianos que mejoran la solubilidad de los compuestos minerales del suelo. En este sentido presenta ventajas sobre el uso directo de la materia orgánica.
- Depuración ambiental y ecológica (contaminación, calentamiento global).
- Fertilizantes de gran calidad.
- Por medio de esta técnica se contribuye a la prolongación de la vida útil de las reservas con que se cuenta.
- La materia prima es existente en cualquier lugar.

### 3.5. DESVENTAJAS DEL BIOGÁS.

La actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico se ve afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de bacterias intervinientes en las distintas etapas del proceso responde en forma diferencial a esos cambios no es posible dar valores cuantitativos sobre el grado que afecta cada uno de ellos a la producción de gas en forma precisa.

Entre los factores más importantes, pueden considerarse los siguientes:

- Tipo de sustrato (nutrientes disponibles).
- Temperatura del sustrato; la carga volumétrica.
- Tiempo de retención hidráulico.
- Nivel de acidez (PH).

- Relación Carbono/Nitrógeno.
- Concentración del sustrato; el agregado de inoculantes.
- Grado de mezclado.
- Presencia de compuestos inhibidores del proceso.

### 3.6. COMPLEMENTOS Y SUSTITUTOS.

Son los diversos factores que puede complementar o sustituir alguna materia prima según las siguientes características para saber exactamente la viabilidad de la producción.

#### a) Temperatura del sustrato.

Para que se inicie el proceso se necesita una temperatura mínima de 4° a 5° C y no se debe sobrepasar una máxima de alrededor de 70 °C. Se realiza generalmente una diferenciación en tres rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan en cada una de ellas, como se muestra en la tabla 5.

*Tabla 5. Tipos de bacterias.*

<b>Bacterias.</b>	<b>Rango de temperaturas.</b>	<b>Sensibilidad.</b>
<b>Psicrofílicas.</b>	<b>Menos de 20°c.</b>	<b>± 2°c/hora.</b>
<b>Mesofílicas.</b>	<b>Entre 20°c y 40°c.</b>	<b>± 1°c/hora.</b>
<b>Termofílicas.</b>	<b>Más de 40°c.</b>	<b>± 0,5°c/hora.</b>

Fuente: Enciclopedia de Energía, Tecnología, Considine Douglas M., 2005, México-Barcelona, Tomo 6.

La actividad biológica y por lo tanto la producción de gas aumenta con la temperatura. Al mismo tiempo se deberá tener en cuenta que al no generar calor el proceso la temperatura deberá ser lograda y mantenida mediante energía exterior. El cuidado en el mantenimiento también debe extremarse a medida que aumenta la temperatura, dada la

mayor sensibilidad que presentan las bacterias termofílicas a las pequeñas variaciones térmicas.

Todas estas consideraciones deben ser evaluadas antes de escoger un determinado rango de temperaturas para el funcionamiento de un digestor ya que a pesar de incrementarse la eficiencia y producción de gas paralelamente aumentará los costos de instalación y la complejidad de la misma.

Los digestores que trabajan a temperaturas meso y termofílicas poseen generalmente sistemas de calefacción, aislamiento y control los cuales son obviados en digestores rurales económicos que trabajan a bajas temperaturas.

La temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación (Tiempo de Retención Hidráulica, TRH). A medida que se aumenta la temperatura disminuyen los tiempos de retención y en consecuencia se necesitará un menor volumen de reactor para digerir una misma cantidad de biomasa.

#### b) Velocidad de carga volumétrica.

Con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención.

Existen diferentes formas de expresar este parámetro siendo los más usuales los siguientes: kg de material/día; kg de materia seca/día; kg de sólidos volátiles/día, todos expresados por metro cúbico de digestor.

#### c) Tiempos de retención.

Este parámetro sólo puede ser claramente definido en los “sistemas discontinuos o batch” donde el tiempo de retención coincide con el tiempo de permanencia del sustrato dentro del digestor.

En los digestores continuos y semicontinuos el tiempo de retención se define como el valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria.

De acuerdo al diseño del reactor, el mezclado y la forma de extracción de los efluentes pueden existir diferentes variables entre los tiempos de retención de líquidos y sólidos debido a lo cual suelen determinarse ambos valores.

El tiempo de retención está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y la temperatura del mismo. La selección de una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos de retención requeridos y consecuentemente serán menores los volúmenes de reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material.

La relación costo beneficio es el factor que finalmente determinará la optimización entre la temperatura y el tiempo de retención, esto debido a que varían los volúmenes, los sistemas paralelos de control, la calefacción y la eficiencia.

Con relación al tipo de sustrato, generalmente los materiales con mayor proporción de carbono retenido en moléculas resistentes como la celulosa demandarán mayores tiempos de retención para ser totalmente digeridos. Es decir, se distribuye en función al tiempo de retención y la producción diaria de gas para materiales con distintas proporciones de celulosa.

A modo de ejemplo se dan valores indicativos de tiempos de retención usualmente más utilizados en la digestión de estiércoles a temperatura mesofílica, ver tabla 6.

El límite mínimo del tiempo de retención está dado por la tasa de reproducción de las bacterias metanogénicas debido a que la continua salida de efluente del digester extrae una determinada cantidad de bacterias que se encuentran en el líquido. Esta extracción debe ser compensada por la multiplicación de las bacterias que pertenecen dentro del reactor.

*Tabla 6. Tiempos de retención hidráulica en materia primas.*

<i>Materia prima.</i>	<i>T.r.h.</i>
<i>Estiércol vacuno líquido.</i>	<i>20 - 30 días.</i>
<i>Estiércol porcino líquido.</i>	<i>15 - 25 días.</i>
<i>Estiércol aviar líquido.</i>	<i>20 - 40 días.</i>

Fuente: Plantas de biogás de pequeñas dimensiones para fincas lecheras, Vázquez Duraña Omar.,  
Ciencias Técnicas Agropecuarias, Cuba, 2002, sin editorial, pág. 53.

Por esta razón en los últimos años se han buscado diseños de cámaras de digestión que procuran lograr grandes superficies internas sobre las cuales se depositan como una película las bacterias u otros sistemas que logran retener a las metanogénicas pudiéndose lograr de este modo T.R. menores.

d) Valor de acidez (pH).

Una vez estabilizado el proceso fermentativo el pH se mantiene en valores que oscilan entre 7 y 8,5. Debido a los efectos buffer que producen los compuestos bicarbonato-dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$  - $\text{HCO}_3$ ) y Amonio -Amoníaco ( $\text{NH}_4$  - $\text{NH}_3$ ) el proceso en sí mismo tiene capacidad de regular diferencias en el pH del material de entrada.

Las desviaciones de los valores normales son indicativos de un fuerte deterioro del equilibrio entre las bacterias de la fase ácida y la metanogénica provocado por severas fluctuaciones en alguno de los parámetros que gobiernan el proceso.

e) Contenido de sólidos.

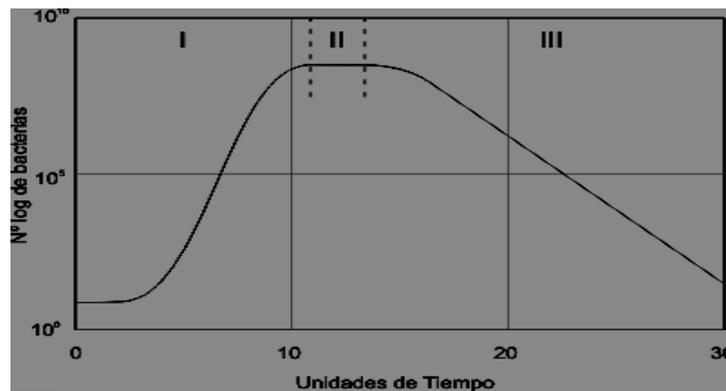
La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas. Por otro lado podemos encontrar en la literatura datos de producciones de gas importantes logradas en rellenos sanitarios con un alto contenido de sólidos.

En este punto tampoco existen reglas fijas; mediciones realizadas utilizando mezclas de estiércoles de distintos tipos de animales en agua han determinado que para digestores continuos el porcentaje de sólidos óptimo oscila entre el 8% y el 12%.

f) Inclusión de inoculantes.

El crecimiento bacteriano dentro de los digestores sigue desde su arranque, como en la curva típica que se muestra a continuación en la grafica 5:

Gráfica 5. Crecimiento bacteriano dentro de los digestores.



Fuente: Determinación por análisis elemental de la cantidad de biogás potencialmente recuperable un relleno sanitario para su utilización como combustible alternativo, Instituto Politécnico Nacional, 2001, México, pág. 40.

En el gráfica 5 se pueden distinguir claramente tres etapas:

La de arranque (I), la de estabilización (II) y la de declinación (III).

La primera etapa puede ser acortada mediante la inclusión de un determinado porcentaje de material de otro digestor rico en bacterias que se encuentran en plena actividad. Esto es particularmente importante en los digestores discontinuos que deben ser arrancados frecuentemente.

Al llegarse en forma más rápida a la estabilización puede incrementarse la producción de gas por kg. de estiércol.

Los dos factores a tener en cuenta en la inoculación de un digestor son la proporción en que se agrega y la edad del mismo. Cuanto mayor sea la proporción y menor la edad mayor será la eficacia.

## **AGITACIÓN – MEZCLADO.**

Los objetivos buscados con la agitación son: remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanógenas, mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, evitar la formación de costra que se forma dentro del digestor, uniformar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios “muertos” sin actividad biológica.

En la selección del sistema, frecuencia e intensidad de la agitación se deberán realizar las siguientes consideraciones, el proceso fermentativo involucra un equilibrio simbiótico entre varios tipos de bacterias. La ruptura de ese equilibrio en el cuál el metabolito de un grupo específico servirá de alimento para el siguiente grupo implicará una merma en la actividad biológica y por ende una reducción en la producción de gas.

Como conclusión en la elección de un determinado sistema se tendrá siempre presente tanto los objetivos buscados como el perjuicio que puede causar una agitación excesiva debiéndose buscar un punto medio óptimo.

Existen varios mecanismos de agitación utilizados, desde los más simples que consisten en un batido manual o el provocado por la entrada y salida de los líquidos, hasta sofisticados equipos que involucran agitadores a hélice, recirculadores de sustrato e inyectores de gas.

## **INHIBIDORES.**

La presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones pueden inhibir e incluso interrumpir el proceso fermentativo.

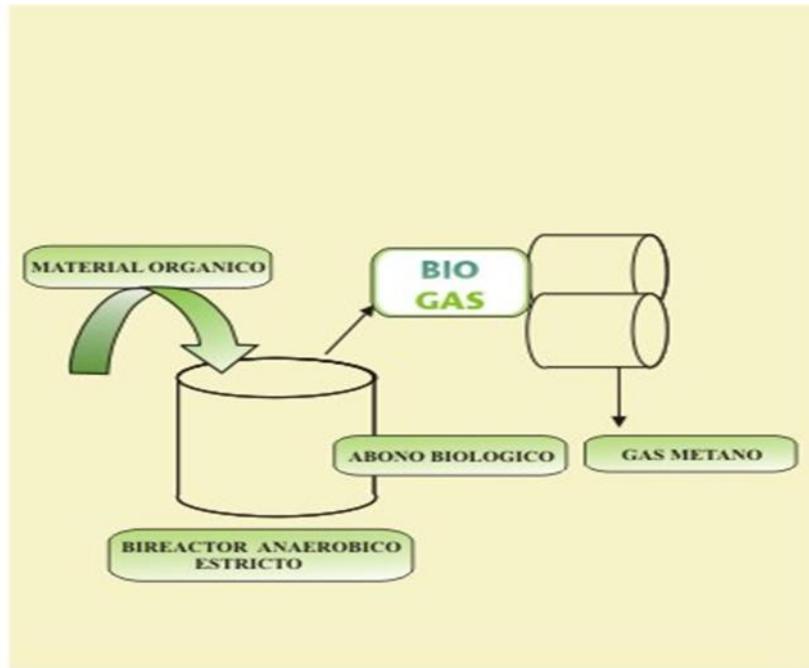
Cuando es demasiada alta la concentración de ácidos volátiles (más de 2.000 ppm para la fermentación mesofílica y de 3.600 ppm para la termofílica, se inhibirá la digestión). También una elevada concentración de Nitrógeno y Amoníaco destruyen las bacterias metanogénicas.

Se suelen dar valores de concentraciones de ciertos inhibidores comunes. Valores que se deben tomar como orientativos, puesto que las bacterias intervinientes pueden con el tiempo adaptarse a condiciones que en un principio las afectaba marcadamente.

En la figura 4 se puede observar que el proceso de producción de biogás no es tan complejo, ya que solo es una reacción química de materia orgánica húmeda; el cual podría

aprovecharse para dejar múltiples beneficios, ya que sería una inversión pequeña y solucionaría algunos problemas para el caso de México.

*Figura 4. Proceso de producción del biogás.*

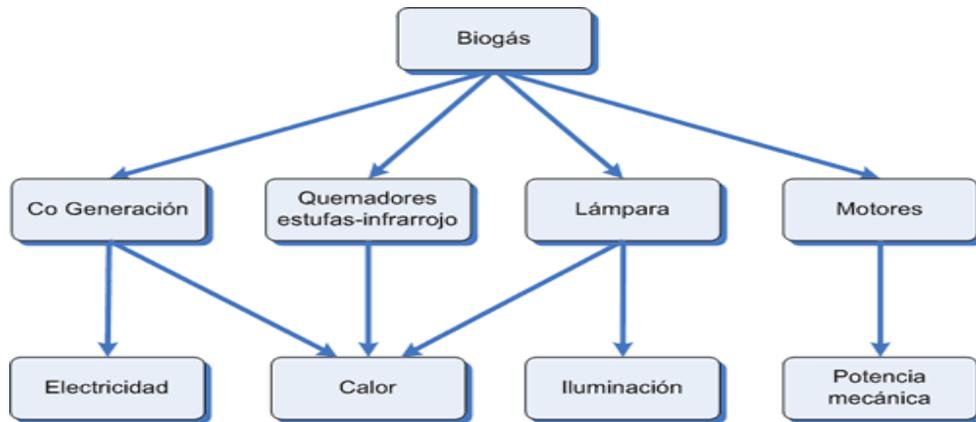


Fuente: Enciclopedia de Energía, Tecnología, Considine Douglas M., 2005, México-Barcelona, Tomo 6.

### 3.7 USOS DEL BIOGÁS.

Puede ser utilizado en cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural. En la figura número 5 se muestra un resumen las posibles aplicaciones.

Figura 5. Aplicaciones del biogás.



Fuente: Energías renovables para el desarrollo sustentable en México, Secretaría de Energía, México, 2006, pág. 23.

### 3.8. DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA.

Las materias primas fermentables son muy abundante ya que se incluyen dentro de un amplio panorama a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas.

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post-tratamiento aeróbico

Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostado) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina.

En lo concerniente a los estiércoles animales la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos.

Los valores de producción y de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias. Esto debido al sin número de factores intervinientes que hacen muy difícil la comparación de resultados.

En cuanto al volumen de estiércol producido por las distintas especies animales son variables de acuerdo fundamentalmente al peso y al tipo de alimentación y manejo de los mismos. A modo ilustrativo se expone directamente en la tabla 7 las cantidades de estiércol producido por distintos tipos de animales y el rendimiento en gas de los mismos tomando como referencia el kilogramo de sólidos volátiles, dado la siguiente tabla.

*Tabla 7. Cantidades de estiércol por diversos animales en rellenos sanitarios.*

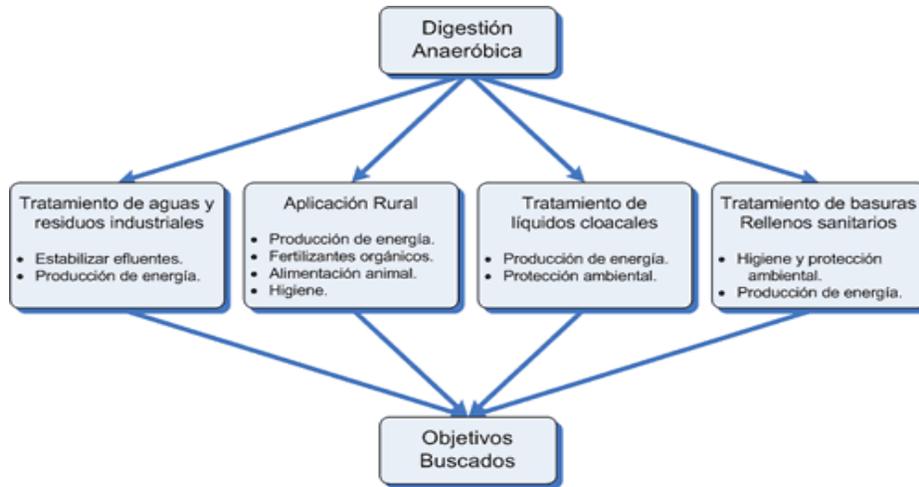
<i>Especie.</i>	<i>Peso vivo.</i>	<i>Kg Estiércol/día.</i>	<i>L/kg.s.v.</i>	<i>% CH<sub>4</sub>.</i>
<i>Cerdos.</i>	50	4,5 – 6	340 – 550	65 - 70
<i>Vacunos.</i>	400	25 -40	90 – 310	65
<i>Equinos.</i>	450	12 – 16	200 – 300	65
<i>Ovinos.</i>	45	2,5	90 – 310	63
<i>Aves.</i>	1.5	0,06	310 – 620	60
<i>Caprinos.</i>	40	1,5	110 – 290	-

Fuente: Proyecto para la obtención de biogás a partir de estiércol, García Ovando Fernando, Instituto Politécnico Nacional, México, 1986, pág. 35, datos actualizados a 2008.

### **3.9. TIPOS DE TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN.**

Como puede apreciarse en el siguiente cuadro, según sean los campos de aplicación de la tecnología de la fermentación anaeróbica con los objetivos buscados son diferentes o tienen un distinto orden de prioridades. A continuación se hará un breve análisis de la evolución y estado actual de cada uno de los campos descritos.

Figura 6. La fermentación anaeróbica.



Fuente: Enciclopedia de Energía, Tecnología, Considine Douglas M., 2005, México-Barcelona, Tomo 6.

Las plantas de tratamiento de desechos industriales, han tenido una importante evolución en los últimos años; en Europa y China se encuentran laboratorios con tratamientos aeróbicos convencionales.

Estos reactores anaeróbicos son de enormes dimensiones (más de 1.000 m<sup>3</sup> de capacidad), trabajan a temperaturas mesofílicas ( 20 °C a 40 °C ), o termofílicas ( más de 40 °C ), poseen sofisticados sistemas de control y están generalmente conectados a equipos de cogeneración que brindan como productos finales; calor, electricidad y un efluente sólido de alto contenido proteico, para usarse como fertilizante o alimento de animales.

A nivel latinoamericano, se ha desarrollado tecnología propia en la Argentina para el tratamiento de vinazas, residuo de la industrialización de la caña de azúcar. En Brasil y Colombia se están utilizando sistemas europeos bajo licencia.

El número de reactores de este tipo aún no es importante en el mundo ( 130 en la Comunidad Económica Europea) pero los continuos descubrimientos, reducciones de costos y mejoramiento de la confiabilidad hacen suponer un amplio campo de desarrollo en el futuro.

La aplicación del biogás en el área rural ha sido muy importante; dentro de ella se pueden diferenciar dos campos claramente distintos. En el primero, el objetivo buscado es

dar energía, sanidad y fertilizantes orgánicos a los agricultores de zonas marginales o al productor medio de los países con sectores rurales de muy bajos ingresos y difícil acceso a las fuentes convencionales de energía.

En este caso la tecnología desarrollada busca lograr digestores de mínimo costo y mantenimiento fácil de operar pero con eficiencias pobres y bajos niveles de producción de energía.

También la tecnología está dirigida al sector agrícola y agroindustrial de ingresos medios y altos. Se busca en este caso brindar energía y solucionar graves problemas de contaminación. Los digestores de alta eficiencia desarrollados para esta aplicación tienen un mayor costo inicial y poseen sistemas que hacen más complejo su manejo y mantenimiento.

Los digestores se encuentran hoy día en continua difusión. Los reactores sencillos han tenido una amplia aceptación en China, India, Filipinas y Brasil; debido a que en estos países se ejecutaron importantes planes gubernamentales que impulsaron y apoyaron con asistencia técnica y financiera su empleo. En el resto de los países del mundo la difusión alcanzada por digestores no ha sido significativa.

Con respecto a los digestores de alta eficiencia la mayoría se encuentran instalados en Europa (se estima un total de 500 digestores); en el resto del mundo no se ha superado aún la etapa de unidades demostrativas o emprendimientos particulares aislados.

El tratamiento de líquidos cloacales mediante sistemas anaeróbicos solos o combinados con tratamientos aeróbicos es una técnica muy difundida en todo el mundo desde hace más de 40 años. El gas generado por esta técnica en Europa alcanzaba en el año 1975 un total de casi 240 millones de m<sup>3</sup> anuales de biogás, Recientes progresos en equipos de cogeneración han permitido una más eficiente utilización del gas generado y los continuos avances en las técnicas de fermentación aseguran un sostenido desarrollo en este tipo de proyectos.

La incorporación de esta tecnología obliga a una estricta regulación en cuanto a tipo de productos que se vierten en los sistemas cloacales urbanos; por este motivo en algunos países donde los desechos industriales son vertidos sin tratar en las cloacas los reactores anaeróbicos han tenido graves problemas de funcionamiento y en muchos casos han sido abandonados.

El relleno sanitario, práctica muy difundida en el mundo para eliminar las enormes cantidades de desperdicios generados en las grandes ciudades han evolucionado incluyendo hoy en día modernas técnicas de extracción y purificación del gas metano generado el cual en décadas pasadas creaba graves problemas, entre los cuales figuraba el ambiental, por muerte de la vegetación que se encontraba en las zonas cercanas, malos olores que molestaban a los residentes y explosivas mezclas de gases que se acumulaban en los sótanos de la vecindad.

El avance de esta técnica ha permitido que importantes ciudades del mundo, como es el caso de Santiago de Chile en América Latina, incluyan un importante porcentaje de gas procedente de esta fuente en la red de distribución urbana de gas natural.

Todos los campos de aplicación muestran que la tecnología bajo estudio se encuentra en una franca etapa de perfeccionamiento y difusión.

Las causas que motivarán y regularan su futura expansión se encuentran centradas en dos aspectos críticos del futuro como son la energía y la contaminación.

### **3.10. MÉTODOS PARA TRANSFORMAR LA BIOMASA.**

#### **MÉTODOS TERMOQUÍMICOS.**

El calor es la fuente de transformación principal y son los métodos utilizados en la transformación de la biomasa seca (principalmente paja y madera). Se basan en la aplicación de elevadas temperaturas y se pueden distinguir dos tipos de procesos según la cantidad de oxígeno aportada en los mismos.<sup>14</sup>

#### **COMBUSTIÓN.**

Aplicación de elevadas temperaturas con exceso de oxígeno. La combustión directa u oxidación completa de la biomasa al mezclarse con el oxígeno del aire liberando en el proceso dióxido de carbono, agua, cenizas y calor. Este último es utilizado para el calentamiento doméstico o industrial o para producción de electricidad.

---

<sup>14</sup> Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía, Martínez Muñoz Alfonso, fundación mundo sostenible, simposio México- Alemania 2 y 3 de Octubre 2006, sede ciudad de México.

## **GASIFICACIÓN / PIROLISIS.**

Aplicación de elevadas temperaturas con cantidades limitadas o nulas de oxígeno, que no permiten la combustión completa, liberando en el proceso monóxido y dióxido de carbono, hidrógeno y metano. El resultado es la obtención de gases, líquidos o sólidos con contenido carbónico que pueden ser utilizados como energía útil.

## **MÉTODOS BIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS.**

Diversos tipos de microorganismos contribuyen al proceso de degradación de las moléculas de materia de biomasa húmeda en compuestos simples de gran contenido energético por medio de dos tipos de técnicas:

### **FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.**

Proceso que consiste en la transformación del carbono acumulado en las plantas, como consecuencia de la energía solar, en alcohol por medio de fermentación en diferentes fases según el tipo de biomasa. La fase de coste energético más elevado es la de destilación que contribuye a que el balance energético de la técnica puede no cumplir los parámetros renovables. Los productos obtenidos son biocarburantes como el bioetanol o el biodiesel, utilizados como combustibles alternativos a los fósiles.

### **FERMENTACIÓN O DIGESTIÓN ANAERÓBICA.**

Proceso de fermentación microbiana con ausencia de oxígeno, generando gases como el metano y el dióxido de carbono. Se utiliza principalmente para la fermentación de la biomasa húmeda del tipo de residuos ganaderos o aguas residuales urbanas, siendo el producto combustible final obtenido el biogás.

Los combustibles obtenidos mediante los procesos de transformación antes citados presentan las siguientes ventajas medioambientales respecto a los combustibles convencionales:

- El contenido en azufre de los gases de su combustión es escaso.
- No liberan partículas en su combustión.
- La producción de cenizas es reducida.
- Contribuyen a la conservación del ciclo del CO<sub>2</sub>.

### 3.11. PUESTA EN MARCHA Y OPERACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO.

El Biogás generado por el sitio es capturado en rellenos sanitarios, los cuales están interconectados con tubería de polietileno de media densidad para conducir el Biogás hasta la central mediante succión con las bombas de extracción del sistema. Pasando previamente por filtros y condensadores de humedad que impiden el paso de agua y partículas a las bombas, al quemador de excedentes y a los motogeneradores, el Biogás, con un contenido de 55% de metano, es convertido por los motogeneradores en electricidad, la cual a su vez es acondicionada por los transformadores elevando su voltaje para ser suministrada a alimentadores de distribución de las compañías de electricidad, que a su vez entrega la energía a los usuarios de la misma para alumbrado público, bombeo y tratamiento de agua, transporte y edificios públicos.

La operación de la planta es seguida automáticamente en el panel del cuarto de control de la central, donde se mide y registrando el tiempo real y de manera continua la cantidad de energía generada diariamente, el consumo de metano del Biogás y las reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub>, así como las horas de operación y la energía generada por cada uno de los siete motogeneradores de la central.

Los proyectos referentes a biogás tiene el propósito de constituir una muestra real de la efectividad tecnológica, económica, institucional y social del aprovechamiento del Biogás, para ser reproducido en otras ciudades de México y Latinoamérica.

Anteriormente la generación de Biogás requería de proyectos, la generación de Biogás en el futuro y la rentabilidad de algún proyecto requieren periodos de 3 o 8 años, es decir que rebasan los periodos de las administraciones municipales y estatales. Para hacer frente a esta situación, una alternativa viable es el carácter autónomo de los organismos operadores, cuya permanencia trasciende a estos periodos administrativos. En el caso de proyecto de generación de Biogás en Monterrey requirió de apoyos del Banco Mundial, SIMEPRODESO que es el organismo natural de la recepción de la donación del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (Global Environment Fund) el cual aportó 5.2 millones de dólares y BENLESA que es bioenergía de Nuevo León y que tiene la función de acordar una serie de contratos para el suministro de gas y arrendamiento del terreno donde está

construida la central eléctrica, así como consumidor de electricidad y usuario de la central; ello impulsó la realización del proyecto.

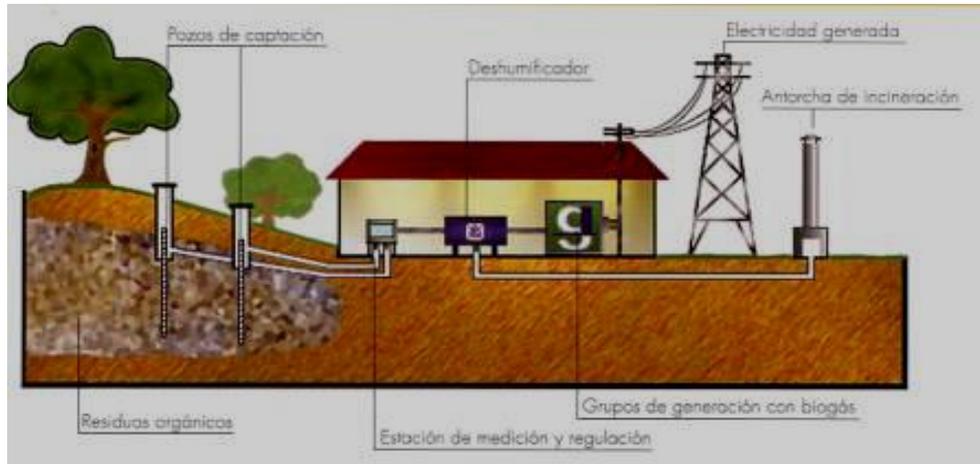
Una biblioteca iluminada gracias a la conversión de una tonelada de basura, sería altamente benéfico, porque la sociedad contemporánea produce desechos en grandes cantidades. Actualmente el exceso de basura constituye uno de los problemas más graves que atentan al equilibrio ecológico, produciendo enfermedades, contribuyendo al efecto de invernadero y acabando con especies de animales por la contaminación de ríos y suelos.

La dificultad central de la basura es encontrarle un destino final aceptable y una de las alternativas más sobresalientes que se está estudiando en varios países del mundo es la de producir electricidad a través de ella.

Los diversos lugares donde se confina basura existe una descomposición por bacterias anaerobias que dan lugar a la producción de gases. Dentro de estos existe el metano que es el que le da las características de combustible y se conoce comúnmente como biogás, precisamente por que viene de una fuente de bacterias vivas, este gas es capturado, limpiado de impurezas para introducirse en un motor de combustión interna que esta acoplado a un generador eléctrico y de esta manera podemos obtener electricidad. Ver figura 7.

Para este proceso los desechos municipales son lo más adecuado por su alto contenido de materia orgánica, aunque se tienen que separar algunos materiales como: vidrio, aluminio, plástico; por lo tanto es importante destacar que esta tecnología no se contrapone al reciclaje.

Figura 7. Planta piloto de Biogás.



Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas, Generación de electricidad, Arvisu José, México, 2002.

Alrededor de 800 ó 900 toneladas de basura son las que se producen en Morelos día a día y según los estudios realizados, dos toneladas de ésta servirían para iluminar una casa por una semana sin ningún problema. Entre los países que han desarrollado dicha tecnología con favorables resultados se encuentran: Alemania, Gran Bretaña, Dinamarca, Estados Unidos y Brasil; en México existe un apreciable planta generadora en Monterrey.

Lo complicado de montar una planta de este tipo en el estado estaría en el área administrativa, porque la energía que se genera en una planta de este tipo es muy competitiva y como sabemos los rellenos sanitarios o basureros en México son responsabilidades las autoridades municipales con un periodo de administración de tres años, que es corto para hacer el tramite necesario; y lo que ha sucedido es que no se le da seguimiento al proyecto de un presidente municipal a otro.

En Monterrey lo que favoreció para que se llevara a cabo el proyecto es la existencia de un organismo encargado de la gestión de la basura con cierta independencia del municipio. El proyecto tardó aproximadamente cuatro años, desde su inicio hasta su operación, donde el financiamiento se buscó por otras fuentes alternas y no con recursos del propio municipio.

Por lo tanto, el Biogás producido en los rellenos sanitarios captado para generar energía es una excelente alternativa de desarrollo sostenible (al mismo tiempo que generan nuevas tecnologías se protegen los recursos naturales), dado que reduciría las emisiones de metano a la atmósfera y su contribución al efecto invernadero del planeta, así como los riesgos de migración, intoxicación, explosión y olores desagradables a las comunidades vecinas de estos sitios.

## **CAPÍTULO 4. LA PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS.**

En la actualidad la producción de biogás ha tenido un fuerte incremento debido al aprovechamiento de todo tipo de residuos biodegradables, aunado a la parte medioambiental; considerándose que se genera un subproducto del proceso que brinda comodidad y beneficios.

El aprovechamiento energético del Biogás tiene sus puntos de partida en cuatro tipos de residuos biodegradables provenientes de las ganaderías, de lodos de especializaciones depuradoras de aguas residuales, industriales y de los residuos sólidos urbanos.

Las aplicaciones de proceso de digestión anaerobia en residuos ganaderos solo son posibles tecnológicamente a partir de una elevada concentración de cabezas de ganados. El nivel de aprovechamiento energético actual de estos residuos puede considerarse como bajo, ya que el abono de animales también tiene otros usos.

El Biogás producido a partir de los residuos orgánicos tiene una aplicación energética creciente en rellenos sanitarios controlados, siendo así necesario potenciar la digestión anaerobia en bioreactores que incluya la codigestión con lodos de depuradora.

Un apreciable grado de aplicación se presenta ya en el Biogás producido a partir de los residuos de instalaciones industriales y de los lodos de depuradoras de aguas residuales.

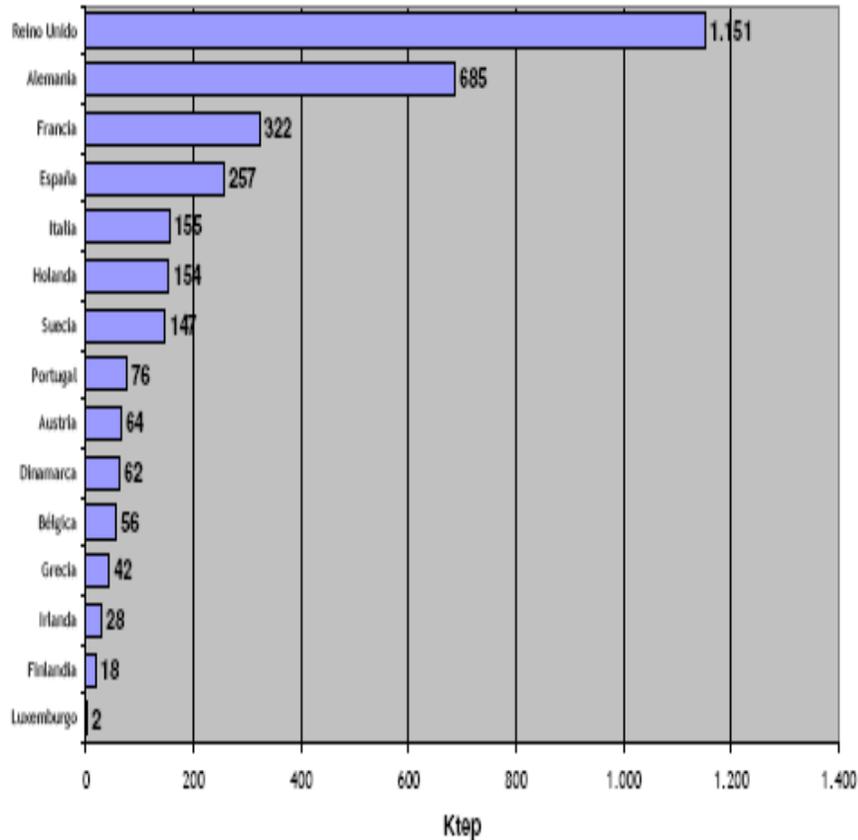
Cabe mencionar que se tomo de base a la Unión Europea debido a su gran experiencia dentro del género.

### **4.1. LA SITUACIÓN EN LA UNIÓN EUROPEA.**

En la Unión Europea existe un gran interés por el crecimiento sustancial de las fuentes de energía renovables ya que su marco de política energética comunitaria busca disminuir con el tiempo la dependencia de los hidrocarburos, ello debido a acuerdos por parte de la comisión de las comunidades europeas como parte de una estrategia y un plan de acción para la energías limpias.

Como se puede apreciar en la gráfica 6 el Reino Unido es el país que mas consume Biogás.

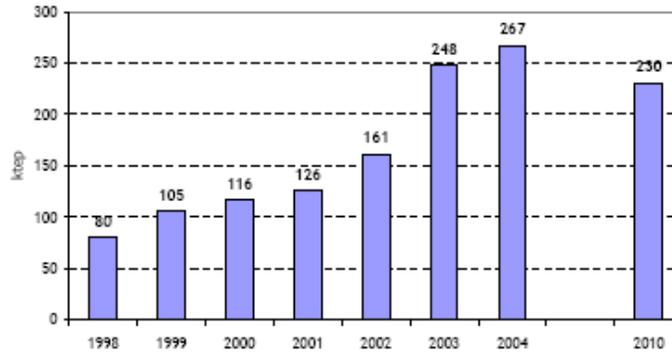
*Gráfica 6. Consumo de Biogás a nivel Unión Europea.  
(kilo toneladas de energía primaria)*



Fuente: Tomado de Plan de energía renovable de España 2005-2010, Eurobar´ER, España, 2006.

En la Unión Europea se maneja un documento que plantea un ambicioso objetivo general que consiste en la aportación de las fuentes de energía renovable en un porcentaje del 12 % de la energía primaria demandada en el año 2010. En la gráfica 7 se presenta la evolución de consumo de Biogás a Nivel Unión Europea en términos de energía primaria.

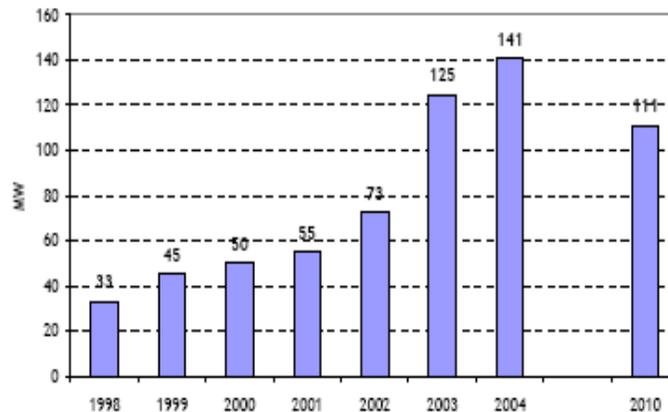
Gráfica 7. Consumo de Biogás a nivel Unión Europea en términos de energía primaria.  
(kilo toneladas de energía primaria al año).



Fuente: Tomado de Plan de energía renovable de España 2005-2010, Eurobser´ER, España, 2006.

En lo que respecta al uso energético del Biogás, el objetivo establecido para 2010 fue el incrementar la participación en el consumo energético de la Unión Europea en 15 millones de toneladas de energía primaria como lo muestra en la grafica 8.

Gráfica 8. Perspectiva de Consumo de Biogás a 2010 a nivel Unión Europea en términos de potencia instalada. (Mega watts al año).

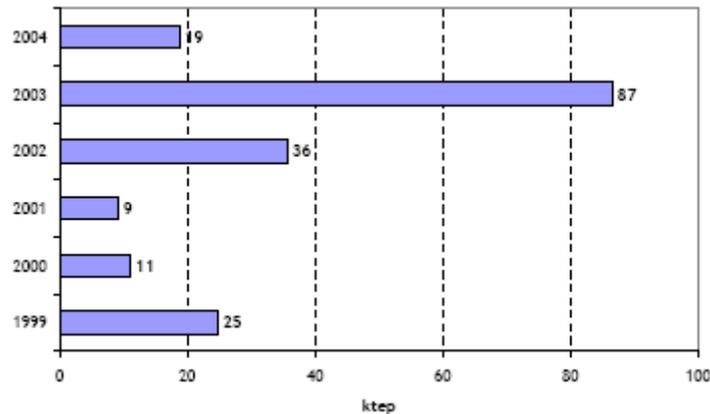


Fuente: Tomado de Plan de energía renovable de España 2005-2010, Eurobser´ER, España, 2006.

En la gráfica 8 se puede observar que a finales del año 2010 el consumo de Biogás en la Unión Europea medido en términos de energía primaria, alcanzó un crecimiento del 7.3 % sobre los años anteriores. La evolución del consumo es muy heterogénea dependiendo del país de que se trate y en cualquier caso marca una tendencia que se aleja de la posibilidad de cumplir con los objetivos energéticos establecidos.

En la gráfica 9 se puede observar el avance en cuanto a explotación de proyectos de Biogás en la Unión Europea en términos de energía primaria.

*Gráfica 9. Explotaciones de proyectos de Biogás en términos de energía primaria a nivel Unión Europea. ( kilo toneladas de energía primaria).*



Fuente: Tomado de Plan de energía renovable de España 2005-2010, Euroser'ER, España, 2006.

## 4.2. LA PRODUCCIÓN MUNDIAL.

La población mundial supera en la actualidad los 6000 millones de habitantes. La producción de residuos sólidos urbanos de cada uno de los habitantes de la Tierra oscila ampliamente según el país, entre los valores de 0,4 y 1,2 kg / hab. al día.

La producción por Continentes se muestra en la siguiente tabla:

En el cuadro 8 se muestra la enorme producción de residuos urbanos a nivel mundial y por Continentes.

*Cuadro 8. Producción mundial de residuos sólidos urbanos 2007.*

<b>Continente.</b>	<b>Residuos (10<sup>6</sup>t/año).</b>
África.	78.
Asia.	390.
Europa.	230.
América.	390.
Australia y Oceanía.	14.
<b>Total.</b>	<b>1.102</b>

Fuente: Agencia Internacional de Energía, Contribución de renovables para la seguridad energética, 2007, pág. 37.

Aún en los países occidentales el vertido es la solución más extendida para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos. En España, Grecia y Portugal todavía se vierten de forma incontrolada gran parte de los residuos sólidos urbanos.

### **4.3. ANÁLISIS DEL ÁREA DE BIOGÁS.**

Tomando como punto de partida el objetivo energético de la Comisión Europea y a partir del compromiso asumido del sector eléctrico, se elaboró el plan de fomento de energía renovables, que fue aprobado por el Congreso, en el que se definió el objetivo de desarrollo de cada área de energía renovable para cubrir entre todas al menos el 12 % del consumo nacional en términos de energía primaria en 2010.

#### **4.3.1. SITUACIÓN ACTUAL.**

Según cifras de la Agencia Internacional de Energía la producción mundial del Biogás en el año 2008 fue de 274 mil 170 gigawatts por hora, mientras que la de México asciende 432 gigawatts por hora; lo que nos indica que se ha triplicado su consumo y su aportación a los diversos balances de energía mundial y que le ha permitido superar la producción - demanda colocándose así entre una de las principales fuentes de energía

renovables para 2010, y los parámetros que se usan son la cantidad generada de Biogás y de residuos sólidos urbanos y quien lleva esa cuenta es el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.<sup>15</sup>

#### **4.3.2. PROYECTOS EN EXPLOTACIÓN.**

Los tipos de proyectos que se desarrollan a nivel mundial destacan los relativos al uso energético del Biogás producido en la desgasificación de vertedero; esta técnica se supone que obtendrá el 80 % de la energía primaria asociada de los proyectos puestos en la explotación. Tiene también en la presencia a los tratamientos de lodos depuradores, tratamientos de los residuos ganaderos y en menor medida los relacionados con el aprovechamiento de residuos industriales biodegradables.

#### **4.3.3. ANÁLISIS DE LOS RECURSOS.**

El Biogás es un gas formado principalmente por CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, y N<sub>2</sub> que es el resultado de la acción de un tipo de bacterias sobre los residuos biodegradables dentro de un mecanismo de digestión anaerobia. Como tal un subproducto del tratamiento de residuos.

Los residuos empleados como materia prima para la obtención del Biogás son los siguientes:

a) Residuos Ganaderos.

La digestión anaerobia en este proceso es una tecnología importante para tratar los residuos producidos en explotaciones ganaderas intensivas con alta concentración de ganado. No obstante y debido a la competencia de otras tecnologías, como el secado térmico de abono empleando gas natural como combustible, esta aplicación tiene en nuestro país un nivel de utilización muy bajo.

---

<sup>15</sup> Biogás, generación Energética en ciernes, Vladimir M. Oscar, wordexpress, México D.F., 8/07/2008

b) Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos.

Estos residuos pueden emplearse para producir Biogás de dos maneras principales:

A través de la desgasificación de vertederos o mediante la digestión anaerobia en bioreactores. En el primer caso se trata de una tecnología aplicable a partir de un volumen de capacidad de 200-250 t/ día de capacidad; la digestión anaerobia de los residuos de bioreactores se trata de una tecnología que hoy por hoy resulta menos atractiva por el manejo del compostaje anaerobio.

c) Residuos Industriales Biodegradables.

El empleo de tecnologías de digestión anaerobia para el tratamiento de los residuos biodegradables generado por industrias como las cervecera, azucarera, alcoholera, láctea, oleícola, etc., es bastante común en nuestro país y sus perspectivas de desarrollo son consistentes pero nulas debido a que este tipo de tecnologías no están insertas dentro del propio proceso industrial.

d) Lodos de Depuración de Agua Residuales Urbanas.

Los lodos de depuración procedentes de los tratamientos primarios y secundarios que se realizan en las estaciones depuradoras de aguas residuales pueden someterse a tecnologías de digestión anaerobia para producir Biogás, lo que resulta interesante, cuando se trata de considerar una aplicación energética del Biogás producido se trata a partir de la cifra de 100.000 habitantes.

En la actualidad la evolución de este sector de tratamiento de residuos en nuestro país es muy lenta, aunque ya se empieza a utilizar el Biogás generado a partir de este residuo, y se le da cada vez mayor importancia, reduciendo así la dependencia de hidrocarburos.

#### 4.3.4. ASPECTOS TECNOLÓGICOS.

Las aplicaciones Energéticas del uso de Biogás pueden ser en forma eléctrica o de gas, si bien en ocasiones se producen los dos tipos conjuntamente en plantas de cogeneración. La generación eléctrica empleando Biogás como combustible se realiza por medio del uso de motores de combustión interna adaptados para quemar un gas con las características de éste, con un bajo poder calorífico y una composición química que se separa del habitual en combustible similar tal y como el gas natural. Este tipo de aplicaciones se caracteriza por sus altos niveles de inversión, si bien el principal interés en el desarrollo de este tipo de proyectos radica en su componente ambiental, más que en sus perspectivas de rentabilidad.

La combustión del Biogás para uso térmico es actualmente menos frecuente que la aplicación eléctrica y se concentra sobre todo en las instalaciones de producción de Biogás a partir de residuos industriales biodegradables. Este calor suele ser empleado para la calefacción del digestor, que debe ser mantenido en un rango de temperaturas determinado, y de haber excedente estos se dirigirán a otros usos dentro de la planta industrial o en su caso a la explotación en otras industrias.

Se deben planear esquemas en los que la instalación de un país deba incluir una zona de adecuación de residuo biodegradable, otra de biometanización y una tercera de entrada de motor, En el caso de México esto no sucede, aunque cabe mencionar que la electricidad generada sea vendida a la red dentro del marco que proporciona el régimen especial de producción eléctrica, mientras que el calor del circuito de refrigeración del motor es empleado en el calentamiento de los digestores. Por último el calor contenido en los gases de escape del motor es evacuado a la atmosfera.

Las perspectivas de evolución de la tecnología de aprovechamiento energético del Biogás incluye el perfeccionamiento de la digestión anaerobia de volúmenes pequeños de residuo, la posibilidad de emplear conjuntamente en los procesos de digestión como lodos de aguas residuales y de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, por eso mismo el enriquecimiento del Biogás a través de la digestión conjunta con materiales no residuales.

El objetivo de estos procesos es siempre el aumento del rendimiento de la tecnología de digestión anaerobia para la producción de Biogás así como incrementar los potenciales de éste en especial por lo que respecta a su poder calorífico.

#### **4.3.5. ASPECTOS NORMATIVOS.**

La legislación relacionada con la generación de energía con Biogás depende del país donde se produce y de la normativa que regule su sector energético.

En el caso de México la producción de Biogás es muy baja y en su caso es prerrogativa del Estado, ya que la normativa es muy estricta en ese sentido, debido a la constitución, el Estado, es el encargado de tener el manejo y control sobre los hidrocarburos llamase a este petróleo y gas, y el Biogás que tiene similitudes a los mencionados. Aunque las normativas se han ido acoplado al proceso que podemos dividirla en dos clases:

La primera es la normatividad Nacional vigente y algunas actualizadas para sacar el mayor rendimiento de proyectos entre los que se contempla las siguientes:

- Constitución Política de los Estados Unidos México, Ley de Artículo 27 (CPEUM), Ley de Desarrollo y Fomento de Biocombustibles, Ley del ISR (41 y 219) y IEPS, Ley de Comisión Reguladora de Energía, Reglamento Interno de la SENER, Ley de la Eficiencia Energética, Reglamento de Gas LP y Gas Natural, Regla de Metrología y Normalización, Norma Oficial Mexicanas (NOM).

Además de que se llevan auditorias a través de diversas secretarías como SENER, SEMARNAT, SAGARPA, CFE y SHCP, SFP y entre otras, con el propósito de tener mejora continua en los procesos y optimización de recursos.

La segunda forma es llevada a cabo de normativas internacionales tales como las que engloban la Agencia Internacional de Energía, Tratado de Kioto, Bonos de Carbono y la Empresa de Certificaciones tales como las ISO.

#### 4.3.6. ASPECTOS AMBIENTALES.

El uso del Biogás es la parte final de un proceso de tratamiento de residuos en el que se procura el beneficio del sector ambiental, aspecto de gran importancia a nivel internacional.

En primer lugar los sistemas de gestión del residuo biodegradable suponen la implementación de medidas que evitan las diversas contaminaciones y posibles afecciones al medio acuático de estos residuos.

Por otro lado la aplicación energética supone el aprovechamiento de un recurso contaminante y degradante del medio ambiente, en cuya composición el metano es un componente importante. Este gas de efecto invernadero, cuya incidencia en el medio es muy superior a la del CO<sub>2</sub>, es quemado en motores o calderas y parte de instalaciones en las que los sistemas de limpieza y depuración de gases aseguran que las emisiones a la atmosfera se encuentren siempre por debajo de los límites permitidos por la legislación.

La mejora de la eficiencia energética es otro aspecto muy ligado a la defensa del medio ambiente. Desde el punto de vista productivo el tratamiento mediante digestión anaerobia de los residuos resulta una alternativa especialmente interesante para Biogás, ya que a partir de excedentes de explotaciones intensivas se puede producir y reutilizar, en especial, frente a la alternativa de su secado térmico empleando gas natural como combustible.

Existen no obstante afecciones sobre el medio inherente al establecimiento y explotación de una instalación de estas características. Entre ellas se encuentra su impacto paisajístico y la posible existencia de malos olores relacionado con la gestión del residuo. Sin embargo en la actualidad se cuenta con la posibilidad de desarrollar medidas correctivas de estos aspectos que limiten o incluso eliminen su impacto ambiental.

Otro de los puntos importantes a nivel internacional es el de los llamados bonos de Carbono en los cuales los países desarrollados y altamente contaminantes darán una cantidad de dinero a países que se dedique a restaurar el medio ambiente. Como se muestra en el cuadro 9 las estimaciones mundiales de metano.

*Cuadro 9. Estimación de las emisiones mundiales de metano.*

<b>Continente.</b>	<b>Residuos (10<sup>6</sup>t/año).</b>	<b>Emisiones de CH<sub>4</sub> (10<sup>9</sup> kg/año).</b>	<b>Emisiones de CH<sub>4</sub> (10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>n/año).</b>
<b>África.</b>	78	1.7	106
<b>Asia.</b>	390	5.2	325
<b>Europa.</b>	230	6.2	388
<b>América.</b>	390	20	1250
<b>Australia y oceanía.</b>	14	0.5	31
<b>Total.</b>	<b>1.102</b>	<b>34.0</b>	<b>2.125</b>

Fuente: Agencia Internacional de Energía, Contribución de renovables para la seguridad energética, 2007, pág. 37.

#### **4.3.7. ASPECTOS ECONÓMICOS.**

Por lo que respecta a las aplicaciones de electricidad a partir del uso energético del biogás se requiere establecer una metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la producción de esta fuente de energía; por lo que se supone un hecho de extraordinaria importancia para el sector, por cuanto marca el régimen legal aplicable a la electricidad producida por el tipo de instalaciones, lo que es clave para asegurar su rentabilidad económica y certeza jurídica a la inversión.

#### **CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS**

La generación eléctrica con Biogás a través de potencial eléctrico con un rendimiento global de vida útil, a un costo de operación y mantenimiento bajo, se logra con una inversión sobre la potencia eléctrica bruta.

En el cuadro 10 se muestra la capacidad que generaría los residuos orgánicos urbanos en el Distrito Federal.

*Cuadro 10. Estimaciones del poder calorífico inferior de los rellenos sólidos del Distrito Federal.*

% Componentes de los RSU	% RSU en el D.F.	Fracción Base				Poder Calorífico		% RSU 3ª. Etapa a trat. térmico	Poder Calorífico Hinf 3ª etapa RSU a trat. Térmico (kJ/kg)
		Humedad % W	Sólidos % ST	Cenizas % A	Combustible % C	Hawf (kJ/Kg)	Hinf + (kJ/kg)		
Alimentos y otros residuos orgánicos	41.84	66	34	13.3	20.7	17,000	797.17	2.8	53.35
Plásticos	10.02	29	71	7.8	63.2	33,000	2,018.73	17	3,425.00
Textiles	2.58	33	67	4.0	63.0	20,000	304.26	4.3	507.10
Papel y cartón	25.51	47	53	5.6	47.4	16,000	1,641.5	42.6	2,741.25
Piel y hule	0.11	11	89	25.8	63.2	23,000	14.27	0.2	28.53
Madera	1.27	35	65	5.2	59.8	17,000	118.24	2.1	195.52
Metales	4.29	6	94	94.0	0.0	0	-6.29	7.1	-10.42
Vidrio	7.23	3	97	97.0	0.0	0	-5.30	12.1	-8.88
Inertes (mat. de constr., similares y otros)	5.44	10	90	90.0	0.0	0	-13.30	9.0	-22.01
Finos	1.71	32	68	45.6	22.4	15,000	44.08	2.8	72.17
<b>Promedio</b>	<b>100</b>	<b>46.7</b>	<b>53.3</b>	<b>10.2</b>	<b>43.1</b>		<b>4,913.37</b>	<b>100</b>	<b>6,981.6</b>

\*Estimado con la fórmula:  $Hinf = Hawf * C - 2445 * W$  en KJ/Kg

Fuente: Municipal Solid Waste Incineration, Requirements For a Successful Project; T. Rand, J. Haukohl, U. Marxen, tomado de Artículo en energía a debate, Convertir los residuos sólidos urbanos en energía, Sarmiento Torres Roció, México-UNAM, 2006.

Mediante el mercado de bonos de Carbono, con la firma del Protocolo de Kioto, los países industrializados se comprometieron a reducir sus emisiones de Carbono a los niveles que se tenían en 1990, al menos del 5 u 8 por ciento en un periodo comprendido entre 2008 y 2012.

Muchos gobiernos al no querer reducir las emisiones directamente en su país por la afectación de su producción industrial, han decidido invertir en las granjas de productores pecuarios de los países subdesarrollados a través de empresas especializadas. Para alcanzar su compromiso ambiental de desarrollo limpio, obtener el pago. Se realiza por tonelada de CO<sub>2</sub> que se dejó de emitir al medio ambiente por acciones como la quema de biogás, el mantenimiento de bosques (captura y secuestro de CO<sub>2</sub>), actividades de reforestación entre otras. Cada tonelada de metano que se quema equivale a 21 toneladas de CO<sub>2</sub> y una de Bióxido de Nitrógeno a 210 toneladas de CO<sub>2</sub>.

En general las empresas que se dedican a la aplicación de los proyectos y la venta de bonos de Carbono se quedan con el 90 por ciento de la venta de Carbono y le dan el 10 por ciento restante al productor que facilita la granja.

Para iniciar un proyecto de este tipo; el productor deberá firmar una carta de intención, para que posteriormente se haga una evaluación técnica del sitio, si se confirma

que sí es económicamente rentable el proyecto se prepara una serie de documentos sobre el diseño que solicita la Organización de las Naciones Unidas, en caso contrario se realiza otra propuesta.

Una vez que el diseño es avalado por las instancias correspondientes se otorga el sello de registro, y se da inicio a la construcción del proyecto. Cuando se empieza a producir biogás, una empresa certificada ante la Organización de las Naciones Unidas verifica cada año que el volumen que indica el medidor sea el correcto.

Los bonos de carbono ya se encuentran en las bolsas de valores de varios países y su precio está sujeto a diferentes factores. El precio se cotiza en 14 dólares por tonelada a la fecha del 2 de Marzo de 2008 y se estima que en 2010 podría aumentar a 70 dólares.

En nuestro país, bajo el esquema de cogeneración se busca impulsar 100 proyectos de éste tipo en el estado de Sonora y otros 80 en la región del Bajío, incluido Jalisco. La tendencia va en aumento<sup>16</sup>. El Biogás se proyecta hacia una producción y uso cada vez mayor debido a su bajo costo; a los precios cada vez más elevados del petróleo y a que es una energía limpia, es decir, que no contribuye al calentamiento global. Por lo que enfatiza que dicha tecnología debe considerarse dentro de la reforma Energética tan necesaria para el país.

#### **4.4. BARRERAS DEL USO DE BIOGÁS.**

Se caracterizan en este apartado los principales problemas que dificultan el desarrollo del uso Energético del Biogás, distinguiendo la problemática relativa a la producción del recurso de aquella ligada a su transformación energética.

Otro aspecto a tomarse en cuenta es que muchas naciones son deficitarias en su producción de gas natural o no cuentan con tecnología para el proceso de gas natural licuado y esto sería una contribución especial.

---

<sup>16</sup> Energías renovables para el desarrollo sustentable en México, Secretaría de Energía, México, 2006, Capítulo 7 y 8.

#### 4.5. BARRERAS EN LA FASE DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS:

**-Alternativas de interés económico.** Debido al secado de residuos empleando como combustible otra fuente alterna de energía (gas natural). La inclusión en el régimen especial de producción eléctrica del secado de residuos con gas natural ha alejado a los posibles inversores del uso de la tecnología de digestión anaerobia para el tratamiento de este tipo, por razones puramente económica, de rentabilidad y de los proyectos.

**-Complicación tecnológica.** Con relación a la actividad tradicional del productor del residuo. En el ámbito de los residuos ganaderos cabe señalar que el desarrollo de tecnologías de digestión anaerobia dista mucho de ser algo habitual en el medio rural, siendo percibido por partes de los ganaderos como algo ajenos a su actividad. Difundir las posibilidades de esta tecnología en las zonas productoras del residuo resultará ser algo fundamental de cara al futuro de estas aplicaciones. Por otro lado, algo similar ocurre con el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos, industriales biodegradables o lodos de depuración de aguas residuales urbanas para la producción de Biogás con fines Energéticos, pues en ambos casos la aplicación Energética suele ser algo ajeno a la actividad tradicional del productor del residuo.

**-Cumplimiento de lo dispuesto acerca de la eventualidad de depositar materia orgánica en los rellenos sanitarios.** Los rellenos sanitarios pretenden conseguir entre otros objetivos que la cantidad de materia orgánica que se deposite en los mismos sea cada vez menor. Estos tienen una repercusión innegable sobre las posibilidades futuras del desarrollo de aplicación de aprovechamiento de Biogás procedente de las desgasificadoras de rellenos sanitarios, pues se produce precisamente por la fermentación de la materia orgánica.

#### 4.6. BARRERAS EN LA FASE DE APLICACIÓN DE BIOGÁS:

**-Elevadas inversiones.** El interés fundamental de desarrollar proyectos de uso energético de biogás como parte de una motivación ambiental y no energética. Ello es así por la propia naturaleza de los proyectos ligados al tratamiento de un residuo, pero también

por las altas inversiones por unidad de potencia instalada. Estas provocan además que los proyectos sean variables solo a partir de determinada escala de tratamiento de residuos.

**-Falta de Información.** Debido a la gran controversia que se tiene la sobre la idea que el Biogás se produce con alimentos o biocombustibles, en el caso de la legislación mexicana se promueve a través de la ley para la promoción y desarrollo de biocombustibles de segunda generación que consiste en el uso de excedentes que no sean alimentos tales como residuos que no sean alimentos tales como residuos forestales, productos forestales, residuos sólidos orgánicos, bagazo de caña, etc.

**-Tecnología Idónea.** En el casos de México es muy dado a la compra de tecnologías, cuando se adquiere está viene con las características de fabricante y del país donde se desarrolla, aunque suelen no ser las mas adecuadas, también cabe recalcar que hay instituciones Mexicanas con tal buen nivel ingenieril que son capaces de generar tecnologías que benefician al país con costos mas bajos y materiales de alta resistencia a las condiciones de uso.

#### 4.7. MEDIDAS ACERCA DE LA PRODUCCION:

El progreso experimentado por esta área durante los últimos años aunque son importantes, presenta puntos débiles que deben ser tenidos en cuenta. Así ha quedado demostrado en el desarrollo de los capítulos anteriores, este avance se ha producido de forma practica y únicamente mediante el desarrollo de proyectos ligados a la desgasificación de rellenos sanitarios, mientras que el uso energético de Biogás producido a partir de otro tipo de residuos ha experimentado pocos avances, y esto, es especialmente cierto en el caso del tratamiento de los residuos ganaderos por digestión anaerobia, aplicación que ha sido desplazada en muchas partes del mundo por gas natural. Lo que representa una alternativa muy discutible desde el punto de eficiencia energética.

#### 4.8. RAZONAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS:

Dado el razonamiento del capítulo 4 se proponen las siguientes medidas:

-Difusión de las tecnologías existentes entre los sectores afectados, como Ayuntamientos, Diputaciones y otros. Está demostrado que pese al avance registrado en términos relativos por las aplicaciones de uso energético del Biogás durante los últimos años, este tipo de tecnologías siguen siendo en buena parte desconocida para muchos y de los agentes implicados en un posible desarrollo de la misma.

Estos son especialmente significativos cuando de entidades públicas se trata; lo que se supone un problema pues estas son precisamente las que deberán actuar como promotoras de los proyectos en la mayor parte de los casos.

-Promoción de aquellas tecnologías que han demostrado su viabilidad técnica y sus ventajas medioambientales para el tratamiento de los residuos, mediante la digestión anaerobia de los mismos, generando Biogás y su posterior valorización energética. El empleo de tecnologías de digestiones anaerobias para el tratamiento de la actividad de los residuos sólidos urbanos que deberán suponer en un futuro cercano a una de las mayores áreas de expansión. El empleo de secado de este tipo de residuos, a partir de la combustión de gas natural, es poco eficiente desde el punto de vista energético económico. Por lo que debería convertirse en una prioridad el conseguir que en el corto plazo se produzca un cambio hacia un mayor empleo de la digestión anaerobia en estas aplicaciones.

-Mantenimiento sin variaciones del régimen económico aplicable a las instalaciones de generación eléctrica con Biogás. Dentro del ámbito de la generación eléctrica con Biogás la consolidación de un régimen económico favorable al desarrollo de este tipo de aplicaciones. Teniendo esto en cuenta, así como la positiva evolución del sector durante estos últimos años, no parece adecuado promover alteraciones en el régimen económico que afecte a la electricidad vendida a la red por este tipo de instalaciones.

-Desarrollo de proceso de codigestión. De cara al futuro el desarrollo tecnológico resulta fundamental para conseguir uno de los mayores rendimientos de las instalaciones, que permitan mayores rentabilidades. Dentro de este interés el desarrollo de procesos de codigestión en los que se someten a un proceso de digestión anaerobia residuos de diversas

procedencias, resulta primordial y para conseguirlo se deberá realizar aun una importante tarea en el ámbito de inversión mas demanda.

-Con el Biogás generado en el relleno sanitario de la ciudad de Monterrey, se producen por hora, energía eléctrica equivalente a consumo de 7 mil 400 viviendas con 10 focos de 100 watts cada una. Es decir 7.4 megawatts es lo que produce la planta y que se aprovechan también en alumbrado público y bombeo de agua potable en la zona metropolitana de Monterrey.

-La primera planta Mexicana generadora de energía eléctrica a partir de la utilización del biogás emitido por la basura orgánica que se aprovechan en alumbrado público, bombeo de agua potable y alimentación eléctrica del metro de Monterrey, Nuevo León ciudad en donde la Secretaria de Desarrollo Social con apoyo del Banco de Mundial implementó el modelo Mexicano del Biogás como una opción tecnológica y estratégica que además de evitar emisiones toxicas abre su potencia para el manejo limpio de los casi 30 millones de toneladas de basura producidos anualmente en las zonas urbanas del país.

-El aprovechamiento del Biogás permite sustituir la quema de los combustibles fósiles para generar energía eléctrica. Con ello se reduce la emisión de gases contaminantes que provocan el efecto invernadero, responsables del sobrecalentamiento del planeta. Mediante el proceso de captura y procesamiento del Biogás se ha logrado reducir la emisión de contaminantes lanzados a la atmosfera en un monto que equivale a un millón de toneladas de bióxido de Carbono.

-Debido a los logros operacionales de la planta en la zona metropolitana de Monterrey, actualmente Secretaria de Desarrollo Social apoya estudios de factibilidad en 11 ciudades del país para la réplica del proyecto del Biogás. Algunas de las Ciudades y municipios con los que ya se trabaja son ciudad Juárez, León, Aguascalientes, Chihuahua, Querétaro, Tlalnepantla, Cuatitlán Izcalli y Vallarta, sitios en donde se concentra alrededor del 10% del total de la basura que generan las zonas urbanas.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> Modelo Mexicano del Biogás, La basura como fuente alterna de energía, Noviembre de 2003, Secretaria de Desarrollo Social, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Comisión Nacional de Energía, México, pág. 1,

*Cuadro 11. Generación de electricidad a partir de residuos sólidos municipales.*

<b>Relleno sanitario.</b>	<b>Residuos toneladas/año.</b>	<b>Generación anual (gwh/año).</b>	<b>Capacidad de generación.</b>
Cd. de México.	4,380.000	2,242.6	400
Netzahualcóyotl, Estado de México.	424,852	217.5	38.8
Tlalnepantla, Estado de México.	281,643	144.2	25.7
Ecatepec, Estado de México.	339,139	173.6	30.8
Guadalajara, Jalisco.	1,642,500	841.0	150
Zapopan, Jalisco.	253,264	129.7	23.2
Tijuana; Baja California Norte.	342,813	175.5	31.3
Ciudad Juárez, Chihuahua.	300,477	153.8	27.4
Chihuahua, Chihuahua.	194,049	99.4	17.7
Toluca, Estado de México.	202,652	103.8	18.5
León, Guanajuato.	294,159	150.6	26.9
Acapulco, Guerrero.	307,719	157.6	28.1
Morelia, Michoacán.	247,198	126.6	22.6
Puebla, Puebla.	471,337	241.3	43
Querétaro, Querétaro.	220,196	112.7	20.1
Cancún, Quintana roo.	119,039	60.9	10.9
San Luis Potosí, San Luis Potosí.	199,358	102.1	18.2
Culiacán, Sinaloa.	203,441	104.2	18.6
Mérida, Yucatán.	313,912	160.7	28.7
<b>Total.</b>	<b>10,737,748</b>	<b>5,497.7</b>	<b>981</b>

Fuente: Tomado de Energías renovables para el desarrollo sustentable en México, Secretaria de Energía, México, 2006, pág. 23.

El principal propósito del modelo que propongo para el uso y aprovechamiento de biogás es proporcionar a propietarios y operadores de rellenos sanitarios, una herramienta para evaluar la factibilidad y beneficios de recuperar y usar el Biogás que en ellos se genera. Los municipios de León y Guadalajara están en proceso de negociación con empresas para la instalación de centrales de generación eléctrica a partir de la utilización de Biogás.

#### **4.9. BASURA ORGÁNICA, Y SU APROVECHAMIENTO COMO INSUMO BÁSICO.**

En las zonas urbanas del país, cada habitante genera alrededor de un kilogramo de basura; bastarían solo 10 días para llenar un espacio igual al Estadio Azteca y aproximadamente el 60 % del total está conformado por residuos orgánicos que al descomponerse generan emisiones altamente contaminantes a la biosfera por su elevado contenido de metano. Dichos gases si no se les da un tratamiento adecuado además del impacto directo sobre el medio ambiente, puede causar daños materiales y cobrar vidas particularmente de quienes habitan cerca de los tiraderos que suelen ser personas en condición de pobreza extrema.

Entre los compromisos del Programa hábitat de Secretaria de Desarrollo Social, la modalidad de ordenamiento del territorio y mejoramiento ambiental impulsa proyectos que contribuyan a generar espacios seguros y habitables para la población que vive en condiciones de pobreza, de esta manera surge el protocolo de la investigación denominada modelo Mexicano del Biogás.

La primera etapa consistió en detener la situación del manejo final de la basura en México, ya que el biogás solo puede ser concentrado y aprovechado si la disposición final de la basura se realiza en rellenos sanitarios o en sitios controlados con ciertas características a fin de concretar el proceso de recuperación de las emisiones de Biogás. Se estima que en México existen cerca de 2500 sitios de concentración de desechos, de los cuales alrededor de 120 son rellenos sanitarios y sitios controlados.

Con el objetivo de encontrar el lugar mas adecuado para llevar a acabo un proyecto piloto que demostrará la viabilidad tecnológica, económica, financiera, institucional y social de aprovechar el Biogás generado en sitios de disposición final de residuos sólidos municipales, para su posterior réplica en otras ciudades del país y del resto del continente, se realizó un estudio de prefactibilidad en 28 ciudades potenciales entre las cuales se seleccionó el relleno sanitario de la zona metropolitana de Monterrey.

En este sitio de disposición final, expertos de los sectores publico social y privado, trabajaron en conjunto para instalar una planta de generación de energía eléctrica a partir de

la concentración y procesamiento de Biogás generado por los residuos orgánicos. La planta tiene la capacidad de generar por hora el consumo equivalente de energía de 7,400 viviendas con 10 focos de 100 watts cada una y los 7.4 megawatts que actualmente producen son la fuentes de suministro de alumbrado público y de bombeo de agua potable en la zona metropolitana.

El modelo mexicano de Biogás es trascendente si se considera que en la última década la generación de basura en el país, ha aumentado cerca de 17% al pasar de 29.5 millones de toneladas anuales promedio en 1994 a 34.6 millones en 2004. De éstas, cerca del 80 % se producen en las ciudades que conforman el sistema urbano nacional, aunque solamente en las nuevas zonas metropolitanas que cuenta con una población mayor a 1 millón de habitantes se producen alrededor de 48 % del total de los residuos sólidos generados en el país.<sup>18</sup>

Para ilustrar el tamaño del problema, basta decir que se necesitarían alrededor de 33 espacios del tamaño de Estadio Azteca al año para contener la basura que se genera en las ciudades o que alrededor de 10 días y medio, la basura que se produce en las zonas conurbadas llenaría ese mismo estadio.

Este trabajo institucional que promueve la Secretaria de Desarrollo Social que tiene como objetivo central contribuir en los esfuerzos mundiales para reducir las emisiones de gases de invernadero (el Biogás por su alto contenido de metano, esta considerado como precursor de este tipo de emisiones) a fin de evitar las alteraciones climáticas del planeta como se establece en el protocolo de Kioto, ratificado recientemente por el gobierno Mexicano. En el cuadro 12 se muestran los permisos autorizados por la Comisión Reguladora de Energía para generar energía eléctrica a partir de biogás.

---

<sup>18</sup> Manual del usuario Mexicano de Biogás, Noviembre de 2003, Secretaria de Desarrollo Social, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Comisión Nacional de Energía, México.

*Cuadro 12. Permisos autorizados para la generación de energía eléctrica a partir de Biogás.*

<b>Permisionario.</b>	<b>Modalidad.</b>	<b>Capacidad (mw).</b>	<b>Energía autorizada (gwh/año).</b>	<b>Energético primario.</b>	<b>Tipo de planta.</b>
Servicios de agua y drenaje de Monterrey, ipd, dulce nombres.	Autogeneración.	9.20	40.20	Biogás.	Combustión interna.
Servicios de agua y drenaje de Monterrey, ipd, planta norte.	Autogeneración.	1.60	14.02	Biogás.	Combustión interna.
Bioenergía de Nuevo León s.a de c.v.	Cogeneración.	8.48	65.58	Biogás.	Combustión interna.

Fuente: Tomado de Energías renovables para el desarrollo sustentable en México, Secretaria de Energía, México, 2006, pág. 20.

La inversión requerida para la generación de energía con Biogás oscila entre 750 mil y 1.3 millones de dólares por MW instalado. En el caso de la generación con Biogás los costos de inversión pueden reducirse en un 35% si el proyecto es financiado dentro del marco de los bonos de Carbono.

## **CAPÍTULO 5 OPCIONES REALES PARA LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE BIOGÁS EN EL BORDO PONIENTE.**

Los rellenos sanitarios no controlados representan una amenaza a la Seguridad Nacional ya que no cuentan con disponibilidad de tecnología para el diseño, construcción y operación de proyectos; contamina muy rápidamente además de no contar con un sistema de control de registros. Sin embargo, la información que se tiene sobre los niveles de disposición históricos, se limita a índices actuales de residuos en general y sin tomar en consideración el uso y aplicación de los residuos sólidos orgánicos o materia orgánica.

En este sentido podemos asegurar que en el caso del relleno sanitario Bordo Poniente no se presenta esta situación. Por el contrario en el mantenimiento que se le da a este lugar se observan todas estas normas establecidas por la legislación federal ambiental evitando grandes daños al subsuelo y la población que habita cerca del mismo.

Sin embargo, de acuerdo con la información emitida por fuentes oficiales, a partir del año 2006 en la ciudad, se han venido generando y aumentando año con año una gran cantidad de toneladas de residuos sólidos y que de continuar con esta tendencia las consecuencias para la ciudad y su entorno resultaría de grandes dimensiones; por lo que el aprovechamiento del Biogás sería una solución no sólo en el aspecto ambiental si no además económica y de gran aportación al desarrollo económico, sostenido y sustentable para México.

Se proyecta que en el futuro inmediato la disposición de residuos se incremente por el crecimiento demográfico y las necesidades propias del país; por lo que el aprovechamiento de estos rellenos sanitarios se reflejaría en la Seguridad Energética, la cual en estos momentos ya genera gran incertidumbre. Satisfaciendo la demanda del déficit de gas natural existente y reduciendo el consumo de los combustibles fósiles prolongarían así la vida de las reservas con que se cuenta.

## 5.1.- MODELO MATEMÁTICO PARA EL FINANCIAMIENTO.

El financiamiento para proyectos de producción de biocombustible ha tenido un gran crecimiento e interés en los últimos años, pero debido a la crisis económica y financiera mundial se ha ido adecuando y restringiendo; consideramos que la forma mas adecuada para financiar la inversión seria mediante la introducción de bonos ciudadanos en la que a través de instrumentos financieros semejantes a títulos de deuda podrían ser aplicables al proyecto de Biogás, ofreciendo ventajas respecto a otros instrumentos lo que permitiría que las tasas de interés pudieran asociarse directamente al comportamiento económico de la planta piloto de Biogás y las modalidades para la emisión de bonos.

Independientemente de sus características y funciones en el mercado, presentan dos perspectivas: Una es la política, que refuerza en hechos e ideas a la empresa y que seguirá siendo de los ciudadanos debido a que los bonos no son acciones. Sin embargo, representan títulos que sirven para que cada miembro vigile la actividad y buen desempeño de la organización; procurando su compatibilidad y modernidad permanente con absoluto respeto a su entorno y el medio ambiente.

Por lo concerniente a los fondos de administración para el retiro (afores ) podrían invertirse para impulsar proyectos productivos, en el sector energético; y en otros; eso siempre y cuando fueran altamente redituables y de poco riesgo.

En el caso de la construcción de una planta de Biogás en el Bordo Poniente, entre el estado de México y la ciudad de México se hizo un análisis de posibles fuentes de financiación y después de hacer una jerarquización; y comparación de objetivos por niveles, se encontró que una condición preponderante en el establecimiento y permanencia con éxito de una nueva empresa, es la participación de la ciudadanía en los diferentes aspectos inherentes; es el caso de la vigilancia, mantenimiento, modernización, actualización y capacitación del personal, así como en la financiación de la obra; de este modo con la emisión de bonos por parte del municipio para profesionistas, obreros y trabajadores en general ofrecerían, ventajas en la consecución de la obra con la garantía de un crecimiento equilibrado y de modernidad permanente y de pleno respeto al medio ambiente.

*Mapa 1. Ubicacion del relleno sanitario Bordo Poniente.*



Fuente: Enciclopedia Encarta, Microsoft, 2006, USA.

De manera aproximada (debido a la gran incertidumbre que existe en los mercados financieros, habría que realizar estudios a profundidad para mayor precisión bajo distintos escenarios de la economía del país y del ámbito internacional) se encontraron los siguientes

valores de flujo de efectivo requeridos en las distintas etapas del proyecto, así como las respectivas tasas de interés:

La primera etapa requeriría de 3 millones de unidades monetarias, en la 2da etapa de 5 millones de unidades monetarias, en la tercera de 8 millones de unidades monetarias y 4 millones de unidades monetarias en la 4ta. y última etapa; cada etapa es de un trimestre y el dinero debe estar disponible al inicio de cada uno de ellos.

El gobierno y el ayuntamiento emite un número determinado de bonos a mediano plazo suficientes para cubrir los fondos requeridos para la realización del proyecto, y estos bonos, serán pagados en la misma fecha de un año futuro a mediano plazo.

Se estiman que las tasa de interés en el mercado de bonos a mediano plazo en los próximos 4 trimestres serán del orden 7 %, 6%, 6.5% y 7.5%, anual respectivamente.

El pago de interés de los bonos empezaría 1 año después de haber iniciado el proyecto y continuaría durante 5 años; después de los cuales los bonos serán pagados. Así mismos, se ha estimado que durante los mismos periodos, la tasa de interés a corto plazo sobre depósitos a plazos fijos serán del orden 6 %, 5.5 % y 4.5% anual respectivamente en los 3 primeros trimestres.

El objetivo es determinar la política óptima de emisión de bonos en los distintos períodos y los depósitos de fondos de cuenta a plazo fijo para contar con los recursos suficientes para la construcción de la obra.

Debido a la gran volatilidad de las tasas de interés en los mercados financieros, en el modelo matemático se están considerando un conjunto de aspectos básicos relacionados con dicha volatilidad, se analizaron dos escenarios igualmente probables en cada uno de los tres periodos en las respectivas tasas de interés (préstamo e inversión) y como método de análisis se empleo la programación dinámica probabilística. En la etapa 1, o sea el primer periodo se estimó que se requerirían alrededor de tres millones de unidades monetarias por lo que en esta etapa también se incluyó la posibilidad de invertir 4 o 5 millones de unidades monetarias; en la etapa 2, se requieren de 5 millones de unidades monetarias por lo que dependiendo del estado en que se encuentre el dinero al inicio de éste se consideraría la posibilidad de emitir dos cantidades adicionales de bonos; si en el primer periodo solo se emitieron 3 millones de unidades monetarias en bonos, entonces en el segundo periodo mínimo se requeriría emitir 5 millones de unidades monetarias y en este caso para el análisis

se incluyó la posibilidad de emitir 6 o hasta 7 millones de unidades monetarias, así mismo si en la primera etapa se decidiera emitir bonos por 4 millones de unidades monetarias, en el inicio de la segunda etapa contaríamos con 1 millones de unidades monetarias disponible como resultado de haberlo invertido a plazo fijo por un periodo con sus respectivos intereses por lo que en tal caso requeriríamos emitir bonos por 4 millones de unidades monetarias y en el modelo para su análisis se incluyó la posibilidad de invertir 5 o 6 millones de unidades monetarias. Para el caso que en el primer periodo se haya emitido bonos por 5 millones de unidades monetarias al inicio del segundo periodo se contaría con la cantidad de 3 millones de unidades monetarias que previamente se invirtieron a plazo fijo por un periodo por lo que se debería emitir bonos por 3 millones de unidades monetarias para poder financiar las obras de esta etapa y para el análisis se considera la posibilidad de emitir bonos por 4 o 5 millones de unidades monetarias; así sucesivamente en las siguientes etapas dependiendo de la cantidad disponible de cada una de ellas para el análisis se consideraron 3 posibilidades una el mínimo requerido para las obras de esa etapa y analizar otras dos posibilidades adicionales.

El método empleado de la programación dinámica fue ir de la etapa final del proyecto hacia la primera etapa, donde el criterio aplicado de optimalidad fue bajo el principio de optimalidad de Pontriagin donde solo puede salirse de un estado en cada una de las etapas de manera optima.

#### **Etapa 4**

$C_4(O,F)$  representa el costo mínimo necesario para pasar del estado 0 en la etapa 4 ( en el último trimestre no se tienen dinero disponible por lo cual se requiere emitir bono por 4 millones) al estado F de la etapa 5. Por lo tanto:

$$C_4(O,F)=20[4(0.0325)(0.5)+4(0.035)(0.5)]=2.7$$

Nos indica que los 4 millones de unidades monetarias emitidos en bonos deben pagar un interés promedio de las tasas de 3.25% y de 3.5% por etapa con la misma probabilidad de 0.5 durante un periodo de 20 trimestres.

### Etapa 3

$$C_3(0,1)=20[9(0.0275)-1(0.02)(0.5^2)+9(0.0275)-1(0.0225)(0.5^2)+9(0.03)-1(0.02)(0.5^2)+9(0.03)-1(0.0225)(0.5^2)]=4.75$$

Significa que durante un periodo de 20 trimestres hay que pagar en promedio 9 millones a una tasa de interés de 2.75 %, como solo se requieren millones de unidades monetarias entonces 1 millones de unidades monetarias se invierte en una tasa fija al 2 % , para que estos dos sucesos ocurran simultáneamente debe ser con una probabilidad del  $0.25 = 0.5 \cdot 0.5$  que a la vez es promediado con la posibilidad que estos 9 millones de unidades monetarias paguen un interés de 2.75 % por período descontándole un millón de unidades monetarias con una tasa de plazo fijo de 2.25 donde estos sucesos ocurren con una probabilidad de 0.25 mas 9 millones de unidades monetarias a una tasa del 3% menos 1 millón a una tasa de 2 % con una probabilidad de ocurrencia de estos de 0.25 mas 9 millones pagados al 3 % menos 1 millón a una tasa de 2.25% con la misma probabilidad de 0.25.

Así sucesivamente se continúa el análisis para los demás arcos del grafo. Estos valores están anotados en la gráfica del modelo 2 y aparecen entre paréntesis en medio de cada uno de los arcos.

Los números que aparecen arriba de cada uno de los nodos representan el costo mínimo de pasar de cada uno de esos nodos para llegar al nodo final del proyecto (F).

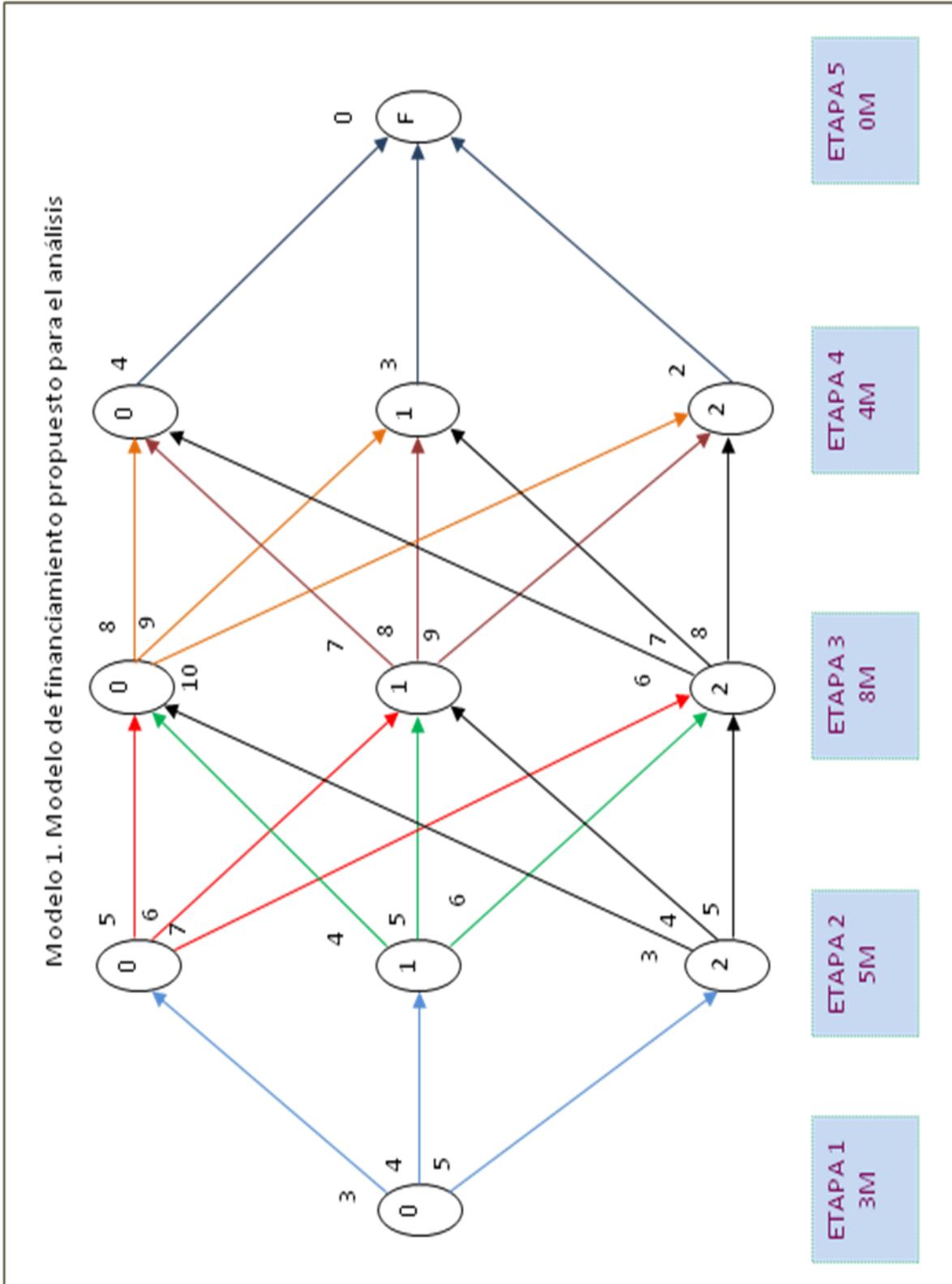
Así por ejemplo, 5.27\* representa que del estado 0 en la etapa 3 la mejor opción es emitir bonos por 10 millones, donde

$$f_3(0)=\text{Min. } \{4.06+2.7^*, 4.75+3^*, 3.92+1.35^*\}=5.27^*$$

$$f_2(1)=\text{Min. } \{1.8+5.27^*, 1.91+4.025^*, 2.016+5.1^*\}=7.07^*$$

$$f_1(0)=\text{Min. } \{1.05+7.52^*, 1.1+7.07^*, 1.15+6.62^*\}=7.77^*$$

Representa el costo mínimo esperado del financiamiento de la obra y que en este caso la política de financiación es que en la etapa inicial se emitirían bonos por un total de 5 millones de unidades monetarias, en la etapa 2 la mejor decisión sería emitir bonos por 3 millones de unidades monetarias, en la etapa 3 emitir bonos por una cantidad de 10 millones de unidades monetarias y en el último periodo emitir bonos por una cantidad de 2 millones de unidades monetarias. En la siguiente hoja se presenta el modelo gráfico propuesto para el financiamiento.



Tasa de préstamo y ahorro bajo los posibles escenarios.

Tasa de préstamo  $i_t$  (t=1,2,3,4) trimestral (%)

$$\begin{array}{cccc} i_1=1.75 & i_2=2 & i_3=2.75 & i_4=3.25 \\ & i_2=2.5 & i_3=3.0 & i_4=3.5 \end{array} \quad P(i_t=a_1)=P(i_t=a_2)=0.5$$

Tasa de ahorro  $r_t$  (t=1,2,3,4) trimestral (%)

$$\begin{array}{ccc} r_1=1.5 & r_2=1.65 & r_3=2 \\ & r_2=1.75 & r_3=2.25 \end{array} \quad P(r_t=b_1)=P(r_t=b_2)=0.5$$

$C_R(i,j)$ = Costo esperado de pasar en la etapa R(R=1,2,3,4,5), del estado i (i=0,1,2,3,) al estado j (j=0,1,2,3,4)

$$C_4(O,F)=20[4(0.0325)(0.5)+4(0.035)(0.5)]=2.7$$

$$C_4(1,F)=20[3(0.0325)(0.5)+3(0.035)(0.5)]=2.03$$

$$C_4(2,F)=20[2(0.0325)(0.5)+2(0.035)(0.5)]=1.35$$

$$C_3(0,0)=20[8(0.0275)(0.5)+8(0.03)(0.5)]=4.6$$

$$C_3(0,1)=20[9(0.0275)-1(0.02)(0.5^2)+9(0.0275)-1(0.0225)(0.5^2)+9(0.03)-1(0.02)(0.5^2)+9(0.03)-1(0.0225)(0.5^2)]=4.75$$

$$C_3(0,2)=20[10(0.0275)-2(0.02)(0.5^2)+10(0.0275)-2(0.0275)(0.5^2)+10(0.03)-2(0.02)(0.5^2)+10(0.03)-2(0.0225)(0.5^2)]=3.92$$

$$C_3(1,0)=20[7(0.0225)(0.5)+7(0.03)(0.5)]=4.025$$

$$C_3(1,1)=20[8(0.0275)-1(0.02)(0.5^2)+8(0.0275)-1(0.0225)(0.5^2)+8(0.03)-1(0.02)(0.5^2)+8(0.03)-1(0.0225)(0.5^2)]=4.16$$

$$C_3(1,2)=20[9(0.0275)-2(0.02)(0.5^2)+9(0.0275)-2(0.025)(0.5^2)+9(0.03)-2(0.02)(0.5^2)+9(0.03)-2(0.025)(0.5^2)]=4.27$$

$$C_3(2,0)=20[6(0.0275)(0.5)+6(0.03)(0.5)]=3.45$$

$$C_3(2,1)=20[7(0.0275)-1(0.02)(0.5^2)+7(0.0275)-1(0.0225)(0.5^2)+7(0.03)-1(0.02)(0.5^2)+7(0.0275)-1(0.0225)(0.5^2)]=3.75$$

$$C_2(0,0)=20[5(0.02)(0.5)+5(0.025)(0.5)]=2.25$$

$$C_2(0,1)=20[6(0.02)-1(0.0165)(0.5^2)+6(0.02)-1(0.0175)(0.5^2)+6(0.025)-1(0.0165)(0.5^2)+6(0.025)-1(0.0175)(0.5^2)]=2.361$$

$$C_2(0,2)=20[7(0.02)-2(0.0165)(0.5^2)+7(0.02)-2(0.0175)(0.5^2)+7(0.025)-2(0.165)(0.5^2)+7(0.025)(0.0175)(0.5^2)]=2.47$$

$$C_2(1,0)=20[4(0.02)(0.5)+4(0.025)(0.5)]=1.8$$

$$C_2(1,1)=20[5(0.02)-1(0.0165)(0.5^2)+5(0.02)-1(0.0175)(0.5^2)+5(0.025)-1(0.0165)(0.5^2)+5(0.025)-1(0.0175)(0.5^2)]=1.91$$

$$C_2(1,2)=20[6(0.02)-2(0.0165)(0.5^2)+6(0.02)-2(0.0175)(0.5^2)+6(0.025)-2(0.0165)(0.5^2)+6(0.025)-2(0.0175)(0.5^2)]=2.016$$

$$C_2(2,0)=20[3(0.02)(0.5)+3(0.025)(0.5)]=1.35$$

$$C_2(2,1)=20[4(0.02)-1(0.0165)(0.5^2)+4(0.02)-1(0.0175)(0.5^2)+4(0.025)-1(0.0165)(0.5^2)+4(0.025)-1(0.0175)(0.5^2)]=1.26$$

$$C_2(2,2)=20[5(0.02)-2(0.0165)(0.5^2)+5(0.02)-2(0.0175)(0.5^2)+5(0.025)-2(0.0165)(0.5^2)+5(0.025)-2(0.0175)(0.5^2)]=1.568$$

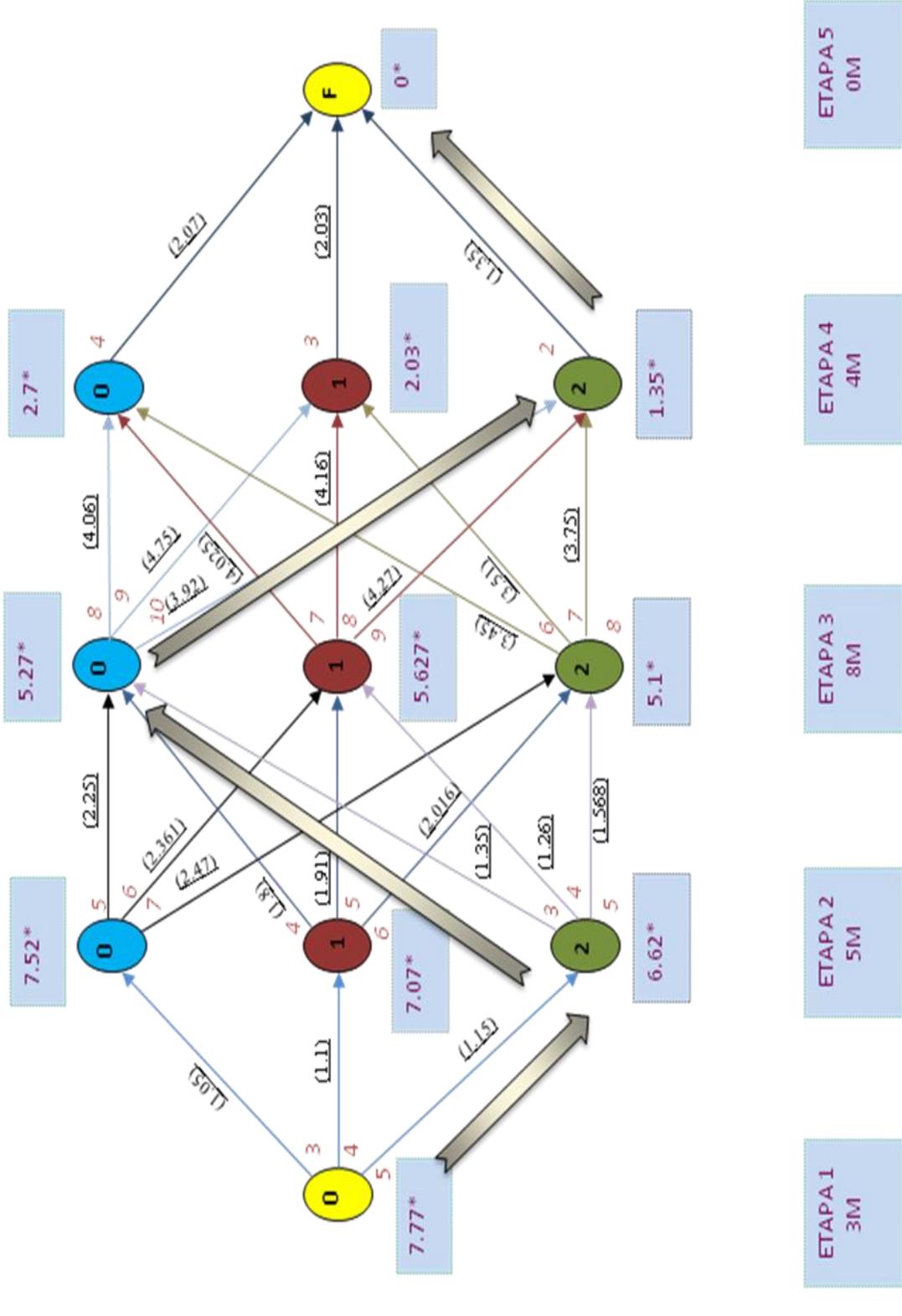
$$C_1(0,0)=20[3(0.0175)]=1.05$$

$$C_1(0,1)=20[4(0.0175)-1(0.0150)]=1.1$$

$$C_1(0,2)=20[5(0.0175)-2(0.0150)]=1.15$$

De esta manera en la siguiente hoja se tiene la solución al modelo de financiamiento.

Modelo 2. Modelo de financiamiento probabilístico de una planta de biogás mediante programación dinámica.



Conclusión:

De acuerdo a los datos estimados de las tasa de interés y a los escenarios contemplados, la mejor decisión resultaría ser:

En el 1er. período colocar bonos por 5 millones de unidades monetarias; en el 2do. Periodo colocar bonos por 3 millones de unidades monetarias; en el 3er. Periodo colocar bonos por 10 millones de unidades monetarias y en el 4to. y ultimo colocar 2 millones de unidades monetarias. Evidentemente, considerando la gran volatilidad de los mercados, las tasas pueden ir variando y en ese caso habría que hacer la actualización de éstas para su análisis y selección de la mejor política de decisión.

Considerando que aun cuando este tipo de proyectos son altamente prioritarios para el gobierno por su alto impacto a los ecosistemas; y aun cuando existen organismos nacionales e internacionales que podrían financiar el proyecto con valor de tasa cero, también es cierto que los tiempos que se avecinan se vislumbran muy críticos y donde la inversión y el crédito se van a ver seriamente restringidos, por lo que la propuesta formulada para este caso es una muestra de cómo se pueden ir construyendo las bases de una economía menos expuesta a las variables externas y una gran volatilidad; identificando proyectos altamente prioritarios para el país; sustentables, con pleno respeto al medio ambiente, con uso racional de sus recursos estratégicos: suelo, aire, agua e hidrocarburos, pero también y no menos importante con la participación de la comunidad en las distintas áreas correspondientes de los proyectos, porque el crecimiento de un gran proyecto solo podrá lograrse en la medida en que la gente también logre hacerlos suyos.

Con el fin reforzar el análisis del problema y a la vez de darle mayor claridad y precisión en la solución a continuación este mismo caso será modelado matemáticamente y analizado como un problema de programación lineal considerando tasas de interés aleatorias

Modelo matemático de programación lineal para optimizar en valor esperado el financiamiento de una planta de biogás bajo dos escenarios probables, con las tasas de interés con variables aleatorias.

Definición de variables

$X_i$  = emisión de bonos (millones de dólares) en el periodo I-ésimo (I=1,2,3,4)

$R_1$  = Tasa de interés en el periodo 1 (préstamo).

$I_1$  = Tasa de interés a plazo fijo en el periodo I (ahorro).

$R_i^+$  = Tasa de interés aleatoria en el periodo I (I=2,3,4) con probabilidad igual a  $P_i^+$ .

$R_i^-$  = Tasa de interés a plazo fijo en el periodo J (I=2,3,4) con probabilidad  $Q_j^+$ .

$I_i^+$  = Tasa de interés a plazo fijo en el periodo en el periodo con probabilidad  $Q_j^+$ .

$I_j^-$  = Tasa de interés a plazo fijo en el periodo en el periodo con probabilidad  $Q_j^-$ .

Nota. En el periodo inicial que considera que las tasas son conocidas.

Modelo de programación lineal

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & 20R_1X_1 + 20(R_2^+P_2^+ + R_2^-P_2^-)X_2 + 20(R_3^+P_3^+ + R_3^-P_3^-)X_3 + \\ & 20(R_4^+P_4^+ + R_4^-P_4^-)X_4 + 0S_1 + 0S_2 + 0S_3 \end{aligned}$$

Sujeto a las restricciones

$$X_1 - S_1 = B_1$$

$$(1 + I_1) S_1 + X_2 - S_2 = B_2$$

$$[1 + (I_2^+Q_2^+ + I_2^-Q_2^-)] S_2 + X_3 - S_3 = B_3$$

$$[1 + (I_3^+Q_3^+ + I_3^-Q_3^-)] S_3 + X_4 + 0S_4 = B_4$$

$$X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, X_3 \geq 0, X_4 \geq 0, S_1 \geq 0, S_2 \geq 0, S_3 \geq 0,$$

Con  $P_i^+ + P_i^- = 1$ ,  $Q_i^+ + Q_i^- = 1$ ,  $i=1, 2, 3$ .

Donde las  $P_i^+$ ,  $P_i^-$ ,  $Q_i^+$ ,  $Q_i^-$   $i (i=1,2,3,4)$ ,

Son las probabilidades asociadas a las tasas de interés respectivas.

$S_i$ =emisiones de bonos (millones de unidades monetarias) al final del periodo  $I (I=1,2,3)$

Para el caso de estudio el método de análisis empleado fue el de la programación dinámica probabilística y el modelo matemático correspondiente de programación lineal quedaría de la forma:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & 20(0.0175)(0.5)X_1 + 20[(0.02)(0.5) + (0.025)(0.5)]X_2 + \\ & 20[(0.0275)(0.5) + (0.03)(0.5)]X_3 + 20[(0.0325)(0.5) + (0.035)(0.5)]X_4 + 0S_1 + 0S_2 + 0S_3 \end{aligned}$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$\begin{aligned} X_1 - S_1 &= 3 \\ [1 + (0.015)]S_1 + X_2 - S_2 &= 5 \\ 1 + [(0.0165)(0.5) + (0.0175)(0.5)]S_2 + X_3 - S_3 &= 8 \\ 1 + [(0.0325)(0.5) + (0.035)(0.5)]S_3 + X_4 + 0S_4 &= 4 \\ X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, X_3 \geq 0, X_4 \geq 0, S_1 \geq 0, S_2 \geq 0, S_3 \geq 0 \end{aligned}$$

Realizando operaciones, el modelo queda de la forma siguiente:

$$\text{Min. } Z = 0.175X_1 + 0.45X_2 + 0.575X_3 + 0.675X_4$$

Sujeta a:

$$X_1 - S_1 = 3$$

$$(1.015) S_1 + X_2 - S_2 = 5$$

$$(1.017) S_2 + X_3 - S_3 = 8$$

$$(1.034) S_3 + X_4 = 4$$

$$X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, X_3 \geq 0, X_4 \geq 0, S_1 \geq 0, S_2 \geq 0, S_3 \geq 0$$

En este caso se tomaron las probabilidades de las tasas de interés equiprobables.

De acuerdo al caso planteado la solución óptima sería emitir bono por 19.5 millones (unidades monetarias) al inicio de la etapa 1 y el dinero no utilizado ( $S_i$ ) reinvertirlos al inicio de los respectivos periodos a plazo fijo.

Por lo que la solución óptima sería

$$\text{Periodo 1: } X_1^* = 19.424 \text{ millones (unidades monetarias)} \quad S_1^* = 16.424$$

$$\text{Periodo 2: } X_2^* = 0 \quad S_2^* = 11.670$$

$$\text{Periodo 3: } X_3^* = 0 \quad S_3^* = 3.868$$

$$\text{Periodo 4: } X_4^* = 0 \quad S_4^* = 0$$

El valor óptimo de la función objetivo:  $Z^* = 6.798$  millones (unidades monetarias)

El modelo fue analizado por el paquete de programación lineal conocido como Lindo en su versión estudiantil

Comentario:

La diferencia en la solución obtenida a través del método de la programación dinámica y la obtenida con el método de la programación lineal radica en que el primer caso solo analizamos tres posibles opciones de emisión de bonos en las distintas etapas y en el caso de la programación lineal no se planteó restricción alguna en la cantidad de los bonos a emitir al inicio de los cuatro periodo analizados.

Decidir el monto de los tope de emisión en cada periodo debe ser resultado de un cuidadoso análisis de la situación de los mercados y del entorno económico y financiero a nivel global. Tal como se muestra en el siguiente:

Program Lindo		
1 LP OPTIMUM FOUND AT STEP 0		
OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1) 6.798304		
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	19.423725	0.000000
X2	0.000000	0.105172
X3	0.000000	0.235936
X4	0.000000	0.347086
S1	16.423725	0.000000
S2	11.670081	0.000000
S3	3.868472	0.000000
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	-0.350000
3)	0.000000	-0.344828
4)	0.000000	-0.339064
5)	0.000000	-0.327914
NO. ITERATIONS= 0		

Lindo and Lingo, 1997, Windows versions. (Operation Research. Wayne L Winston. Introduction to mathematical programming.).

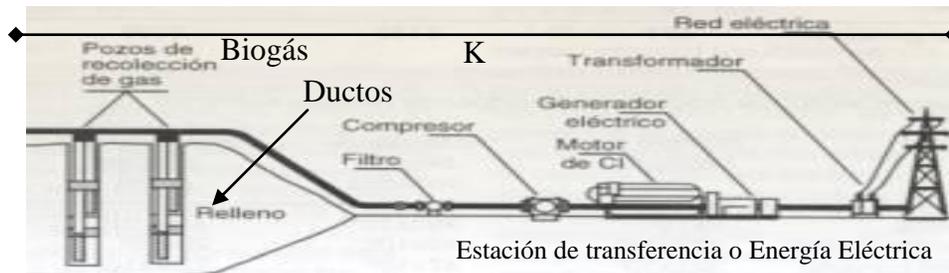
## **5.2.- MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA LA DISTRIBUCIÓN Y TRANSPORTE DE LOS INSUMOS.**

Los rellenos sanitarios o basureros en la Ciudad de México, diariamente generan 11,850 toneladas de sólidos municipales, de los cuales el 50 % está compuesto por residuos orgánicos y 34% de reciclables; de ahí el interés por generar energía a través de una planta de biogás por resultar muy competitiva, además de que contribuiría a disminuir el excesivo consumo de combustibles fósiles. Cabe resaltar que son responsabilidades de las autoridades municipales que disponen de un periodo de administración muy corto de tres años, para que se pueda dar continuidad al proyecto, y los tramites necesarios, al no dar seguimiento al proyecto de un presidente a otro, ocasiona altas cantidades de desperdicios en las delegaciones y municipios y una capacidad de los transportes para recolectar la materia prima insuficiente. La cantidad de desechos generados en la ciudad es dependiente de la capacidad del relleno sanitario del Bordo Poniente.

Por esta razón se debe seleccionar el medio de transporte idóneo y del proceso y construcción de ductos los cuales tienen un costo fijo de mil novecientos ocho millones de dólares, una capacidad de 70.3 MW y un costo de procesamiento unitario de 4679 millones dólares por tonelada generada de desechos.

Los costos de embarque anuales por unidad de la planta generadora de biogás a la red pública hace que el embarque minimice el capital total de 7835 millones de dólares, los costos de operación son de 2.27 millones de dólares, los costos de extracción por KW es de 0.08 dólares. El objetivo es la optimización del proceso de biogás en cuanto al costo de transporte.

FIGURA 8. PROCESO DE GENERACIÓN DE BIOGÁS



Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas, Generación de electricidad, Arvisu José, 2002, México,

La figura 8 describe el proceso que genera de electricidad:

1.-Recolección de desechos orgánicos.

Se realiza la captación de residuos sólidos orgánicos de diversos puntos de la zona metropolitana y conurbada con un tiempo de duración de 6 horas.

2.-Descarga de desechos sólidos orgánicos.

Este procedimiento se realiza cuando llegan los diversos medios de transporte recolectores al relleno sanitario de Bordo Poniente en aproximadamente 30 min.

3.-Almacenes.

Los desechos sólidos orgánicos son separados en el almacén en un promedio de 30 min.

4.-Preparación de los desechos sólidos orgánicos.

A través del proceso de fermentación anaeróbica en aproximadamente 30 minutos

5.-Introducción al biodigestor.

La materia sólida orgánica se deposita en los biodigestores o tanque para que ocurra la fermentación en 30 minutos.

6.- De lo anterior se obtienen dos resultados: uno, que es el que nos ocuparemos en el estudio, que son los desechos que pueden ser usados como abono o composta, y el concerniente a nuestro objetivo que es el biogás.

7.- Filtrado.

El biogás se pasa a través de un filtro que limpia de impurezas y humedad; este proceso tarda aproximadamente 2 minutos.

8.-Compresor.

Etapas que permiten el flujo de biogás al siguiente punto, 2 minutos.

9.-Motor de combustión interna.

Quema el biogás y la energía producida y la emite a un generador, 10 minutos.

10.-Generador eléctrico.

En esta etapa se transforma la energía mecánica que genera el motor en energía eléctrica, 6 minutos.

11.-Transformador.

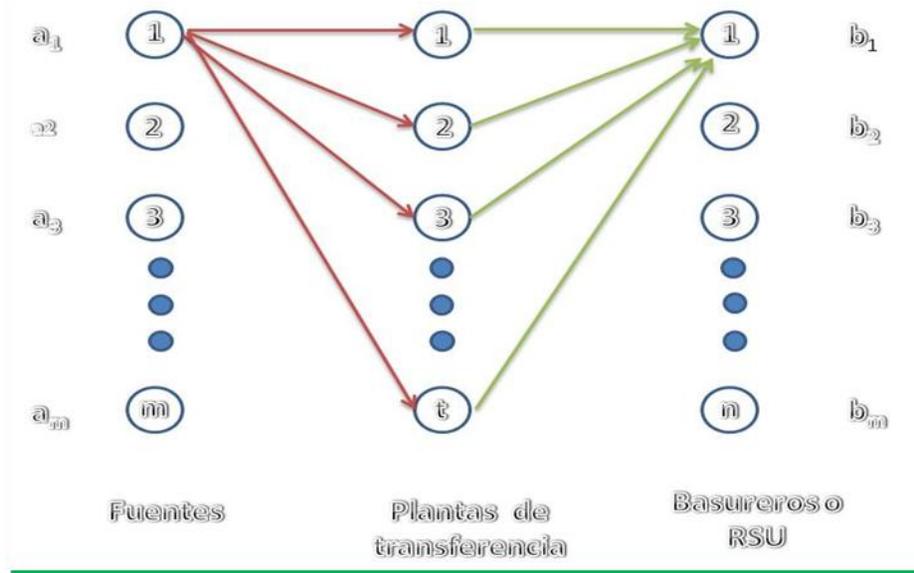
Esta máquina eléctrica permite aumentar o disminuir el voltaje o tensión y solo se colocará al nivel requerido 6 minutos.

12.-Red Pública.

En este caso no solo se incorpora al uso que se le desee dar; lo propuesto es para el bombeo de agua, alumbrado público y si queda poder establecer algún convenio con Comisión Federal de Electricidad, ya que el tiempo de este proceso es de 8 horas 26 minutos a un costo de producción de 0.08 dólares.

Por lo tanto, el Biogás producido en los rellenos sanitarios para generar energía es una excelente alternativa de fuentes alternas de desarrollo sostenible (al mismo tiempo que generamos nuevas tecnologías protegemos nuestros recursos naturales), dado que reducirá las emisiones de metano a la atmósfera y su contribución al efecto invernadero del planeta, calentamiento global, así como los riesgos de migración, intoxicación, explosión y olores desagradables a las comunidades vecinas de estos sitios.

**MODELO 3. MODELO MATEMÁTICO PARA EL CÁLCULO DE LA DISTRIBUCIÓN Y TRANSPORTE DE LOS INSUMOS.**



En este modelo se plantea transportar y distribuir de manera óptima los desechos generados en las fuentes a los basureros a través de las plantas de transferencia.

Primer modelo matemático.

$m$  = Fuentes generadoras de residuos sólidos (basura).

$n$  = Basureros.

$t$  = Plantas de transferencias.

$a_i$  = Cantidad de residuos generados en la fuente  $i$ .

$b_j$  = Capacidad de basura en el basurero  $j$ .

$k$  = Medios disponibles de transporte.

$f_k$  = Costo fijo por el transporte  $k$ .

$q_k$  = Capacidad de camión  $k$ .

$l_k$  = Costo de procesamiento unitarios por tonelada de residuo.

$C_{ij}$  = Costo de embarque por unidad de la fuente  $i$  a la estación de transferencia  $k$ .

$d_{kj}$  = Costo de embarque por unidad de la estación de transferencia  $k$  al basurero  $j$ .

**Definición de variables.**

$X_{ijk}$  = Cantidad (toneladas) de residuos sólidos de la fuente  $i$  enviada al basurero  $j$  a través de la planta de transferencia  $k$ .

**Función Objetivo a optimizar:**

$$\text{Min } Z = C_{111}X_{111} + C_{112}X_{112} + C_{113}X_{113} + C_{114}X_{114} + \dots + C_{mnt}X_{mnt} + \dots + C_{mn1}X_{mn1} + C_{mn2}X_{mn2} + C_{mn3}X_{mn3} + C_{mn4}X_{mn4} + \dots + C_{mnt}X_{mnt}.$$

**Restricciones de Oferta.**

$$\begin{aligned} & X_{111} + X_{112} + X_{113} + X_{114} + X_{115} + \dots + X_{11t} + \\ & X_{121} + X_{122} + X_{123} + X_{124} + X_{125} + \dots + X_{12t} + \\ & X_{131} + X_{132} + X_{133} + X_{134} + X_{135} + \dots + X_{13t} + \\ & X_{141} + X_{142} + X_{143} + X_{144} + X_{145} + \dots + X_{14t} + \\ & \dots \\ & X_{1n1} + X_{1n2} + X_{1n3} + X_{1n4} + X_{1n5} + \dots + X_{1nt} \leq a_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & X_{211} + X_{212} + X_{213} + X_{214} + X_{215} + \dots + X_{12t} + \\ & X_{221} + X_{222} + X_{223} + X_{224} + X_{225} + \dots + X_{22t} + \\ & X_{231} + X_{232} + X_{233} + X_{234} + X_{235} + \dots + X_{23t} + \\ & X_{241} + X_{242} + X_{243} + X_{244} + X_{245} + \dots + X_{24t} + \\ & \dots \\ & X_{2n1} + X_{2n2} + X_{2n3} + X_{2n4} + X_{2n5} + \dots + X_{2nt} \leq a_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & X_{311}+X_{312}+X_{313}+X_{314}+X_{315}+\dots+ X_{31t}+ \\
 & X_{321}+X_{322}+X_{323}+X_{324}+X_{325}+\dots+X_{32t}+ \\
 & X_{331}+X_{332}+X_{333}+X_{334}+X_{335}+\dots+X_{33t}+ \\
 & X_{341}+X_{342}+X_{343}+X_{344}+X_{345}+\dots+X_{34t}+ \\
 & \dots \\
 & X_{3n1}+X_{3n2}+X_{3n3}+X_{3n4}+X_{3n5}+\dots+ X_{3nt} \leq a_3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & X_{m11}+X_{m12}+X_{m13}+X_{m14}+X_{m15}+\dots+X_{m1t}+ \\
 & X_{m21}+X_{m22}+X_{m23}+X_{m24}+X_{m25}+\dots+X_{m2t}+ \\
 & X_{m31}+X_{m32}+X_{m33}+X_{m34}+X_{m35}+\dots+X_{m3t}+ \\
 & X_{m41}+X_{m42}+X_{m43}+X_{m44}+X_{m45}+\dots+X_{m4t}+ \\
 & \dots \\
 & X_{mn1}+X_{mn2}+X_{mn3}+X_{mn4}+X_{mn5}+\dots+X_{mnt} \leq a_m
 \end{aligned}$$

**Restricciones de Demanda.**

$$\begin{aligned}
 & X_{111}+X_{112}+X_{113}+X_{114}+X_{115}+\dots+X_{11t}+ \\
 & X_{121}+X_{122}+X_{123}+X_{124}+X_{125}+\dots+X_{12t}+ \\
 & X_{131}+X_{132}+X_{133}+X_{134}+X_{135}+\dots+X_{13t}+ \\
 & X_{141}+X_{142}+X_{143}+X_{144}+ X_{145}+\dots+X_{14t}+ \\
 & \dots \\
 & X_{1n1}+X_{1n2}+X_{1n3}+X_{1n4}+X_{1n5}+\dots+ X_{1nt} \leq b_1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & X_{211}+X_{212}+X_{213}+X_{214}+X_{215}+\dots+X_{12t}+ \\
 & X_{221}+X_{222}+X_{223}+X_{224}+X_{225}+\dots+X_{22t}+ \\
 & X_{231}+X_{232}+X_{233}+X_{234}+X_{235}+\dots+X_{23t}+ \\
 & X_{241}+X_{242}+X_{243}+X_{244}+X_{245}+\dots+X_{24t}+ \\
 & \dots \\
 & X_{2n1}+X_{2n2}+X_{2n3}+X_{2n4}+X_{2n5}+\dots+X_{2nt} \leq b_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & X_{311}+X_{312}+X_{313}+X_{314}+X_{315}+\dots+X_{31t}+ \\
 & X_{321}+X_{322}+X_{323}+X_{324}+X_{325}+\dots+X_{32t}+ \\
 & X_{331}+X_{332}+X_{333}+X_{334}+X_{335}+\dots+X_{33t}+ \\
 & X_{341}+X_{342}+X_{343}+X_{344}+X_{345}+\dots+X_{34t}+ \\
 & \dots \\
 & X_{3n1}+X_{3n2}+X_{3n3}+X_{3n4}+X_{3n5}+\dots+X_{3nt} \leq b_3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & X_{m11}+X_{m12}+X_{m13}+X_{m14}+X_{m15}+\dots+X_{mt}+ \\
 & X_{m21}+X_{m22}+X_{m23}+X_{m24}+X_{m25}+\dots+X_{m2t}+ \\
 & X_{m31}+X_{m32}+X_{m33}+X_{m34}+X_{m35}+\dots+X_{m3t}+ \\
 & X_{m41}+X_{m42}+X_{m43}+X_{m44}+X_{m45}+\dots+X_{m4t}+ \\
 & \dots \\
 & X_{mn1}+X_{mn2}+X_{mn3}+X_{mn4}+X_{mn5}+\dots+X_{mnt} \leq b_m
 \end{aligned}$$

**$C_{ijk}$  = Costo de unidad de material enviado de la fuente i al basurero j a través de la planta de transferencia k.**

Segundo modelo matemático para la solución del problema.

$m$  = Fuentes generadoras de residuos sólidos (basura).

$n$  = Basureros.

$t$  = Plantas de transferencia.

$a_i$  = Cantidad de residuos generados en la fuente  $i$ .

$b_j$  = Capacidad de basura en el basurero  $j$ .

$k$  = Medios disponibles de transporte.

$f_k$  = Costo fijo por el transporte  $k$ .

$q_k$  = Capacidad de camión  $k$ .

$l_k$  = Costo de procesamiento unitario por tonelada de residuo.

$C_{ij}$  = Costo de embarque por unidad de la fuente  $i$  a la estación de transferencia  $k$ .

$D_{kj}$  = Costo de embarque por unidad de la estación de transferencia  $k$  al basurero  $j$ .

$Y_{ijk}$  = Cantidad (toneladas) de residuos sólidos de la fuente  $i$  enviada al basurero  $j$  a través de la planta de transferencia  $k$ .

**Definición de Variables:**

$Y_{ijkl} = \{1 \text{ si se selecciona el camión } l \text{ para trasladar la basura de la fuente } i \text{ al basurero } j \text{ a través de la planta de transferencia } k\}$ .

**Fuente 1.**

$$\begin{aligned} & Y_{1111}+Y_{1112}+Y_{1113}+Y_{1114}+Y_{1115}+\dots+Y_{111k}+ \\ & Y_{1121}+Y_{1122}+Y_{1123}+Y_{1124}+Y_{1125}+\dots+Y_{112k}+ \\ & Y_{1131}+Y_{1132}+Y_{1133}+Y_{1134}+Y_{1135}+\dots+Y_{113k}+ \\ & \dots \\ & Y_{11t1}+Y_{11t2}+Y_{11t3}+Y_{11t4}+Y_{11t5}+\dots+Y_{11kt}+ \\ & Y_{12t1}+Y_{12t2}+Y_{12t3}+Y_{12t4}+Y_{12t5}+\dots+Y_{12tk}+ \\ & Y_{13t1}+Y_{13t2}+Y_{13t3}+Y_{13t4}+Y_{13t5}+\dots+Y_{13tk}+ \\ & \dots \\ & Y_{1nt1}+Y_{1nt2}+Y_{1nt3}+Y_{1nt4}+Y_{1nt5}+\dots+Y_{1ntk} = 1 \end{aligned}$$

**Fuente 2.**

$$\begin{aligned} & Y_{2121}+Y_{2122}+Y_{2123}+Y_{2124}+Y_{2125}+\dots+Y_{212k}+ \\ & Y_{2131}+Y_{2132}+Y_{2133}+Y_{2134}+Y_{2135}+\dots+Y_{213k}+ \\ & \dots \\ & Y_{21t1}+Y_{21t2}+Y_{21t3}+Y_{21t4}+Y_{21t5}+\dots+Y_{21kt}+ \\ & Y_{22t1}+Y_{22t2}+Y_{22t3}+Y_{22t4}+Y_{22t5}+\dots+Y_{22tk}+ \\ & Y_{23t1}+Y_{23t2}+Y_{23t3}+Y_{23t4}+Y_{23t5}+\dots+Y_{23tk}+ \\ & \dots \\ & Y_{2nt1}+Y_{2nt2}+Y_{2nt3}+Y_{2nt4}+Y_{2nt5}+\dots+Y_{2ntk} = 1 \end{aligned}$$

**Fuente 3.**

$$\begin{aligned}
 & Y_{3121} + Y_{3122} + Y_{3123} + Y_{3124} + Y_{3125} + \dots + Y_{312k} + \\
 & Y_{3131} + Y_{3132} + Y_{3133} + Y_{3134} + Y_{3135} + \dots + Y_{313k} + \\
 & \dots \\
 & Y_{31t1} + Y_{31t2} + Y_{31t3} + Y_{31t4} + Y_{31t5} + \dots + Y_{321t} + \\
 & Y_{32t1} + Y_{32t2} + Y_{32t3} + Y_{32t4} + Y_{32t5} + \dots + Y_{32tk} + \\
 & Y_{33t1} + Y_{33t2} + Y_{33t3} + Y_{33t4} + Y_{33t5} + \dots + Y_{33tk} + \\
 & \dots \\
 & Y_{3nt1} + Y_{3nt2} + Y_{3nt3} + Y_{3nt4} + Y_{3nt5} + \dots + Y_{3ntk} = 1
 \end{aligned}$$

- 
- 
- 

**Fuente m.**

$$\begin{aligned}
 & Y_{m121} + Y_{m122} + Y_{m123} + Y_{m124} + Y_{m125} + \dots + Y_{m12k} + \\
 & Y_{m131} + Y_{m132} + Y_{m133} + Y_{m134} + Y_{m135} + \dots + Y_{m13k} + \\
 & \dots \\
 & Y_{m1n1} + Y_{m1n2} + Y_{m1n3} + Y_{m1n4} + Y_{m1n5} + \dots + Y_{m1nk} + \\
 & Y_{m2n1} + Y_{m2n2} + Y_{m2n3} + Y_{m2n4} + Y_{m2n5} + \dots + Y_{m2nk} + \\
 & Y_{m3n1} + Y_{m3n2} + Y_{m3n3} + Y_{m3n4} + Y_{m3n5} + \dots + Y_{m3nk} + \\
 & \dots \\
 & Y_{m1nt1} + Y_{mnt2} + Y_{mnt3} + Y_{mnt4} + Y_{mnt5} + \dots + Y_{mntk} = 1
 \end{aligned}$$

**Nota:**

**Toda la basura del nodo fuente i va a tener un nodo destino (basurero j) y va a ser enviada en un solo tipo de camión.**

**La función objetivo a minimizar es de la forma:**

$$\begin{aligned}
 \text{Min } E = & \left( \left( \frac{a_1}{q_1} \right) f_1 + (a_1 + c_{11} + d_{11}) a_1 \right) y_{1111} + \dots \\
 & + \left( \left( \frac{a_m}{q_m} \right) f_k + (l_k + c_{mt} + d_{mt}) a_m \right) y_{mnoz k}
 \end{aligned}$$

Los modelos matemáticos para la distribución y transporte de los insumos básicos de una planta de Biogás son dos modelos de programación lineal donde la diferencia radica en los costos estimados para el embarque de los insumos desde las fuentes generadoras de los residuos sólidos a los rellenos sanitarios a través de las plantas de transferencia, como puede apreciarse en la definición de variables  $X_{ijk}$ :

En el primer modelo  $C_{ijk}$  representa el costo por unidad de material enviado de la fuente  $i$  al relleno sanitario  $j$  a través de la planta de transferencia  $K$  y donde la variable  $Y_{ijkl}$  es una variable dicotómica con valores 1 y 0 dependiendo de la selección del camión tipo  $l$  para trasladar los desechos orgánicos (basura) de la fuente  $i$  al relleno sanitario  $j$  a través de la planta de transferencia  $K$ .

Estos modelos sólo están representados en su forma estructural y para su solución es necesario estimar los distintos parámetros que intervienen. Consideramos que este problema así como el de financiamiento de la planta cubren dos aspectos fundamentales en la realización de la obra y que para su aplicación requiere hacerse un análisis muy riguroso, apoyándose fuertemente en los acontecimientos tanto a nivel nacional como a nivel internacional y sus posibles escenarios en la estimación de los parámetros así como en la determinación del número de variables seleccionadas, sin embargo por cuestiones de tiempo no fue posible realizarlos e incluirlos en este trabajo por lo que en la siguiente etapa deberá cubrirse. La importancia de este tipo de proyectos así lo amerita y se justifica ampliamente.

### 5.3.-ANÁLISIS DEL ESTUDIO.

**Financiamiento.** Los programas de financiamiento en el sector energético son parte fundamental en su operación, crecimiento, mantenimiento y modernización por el tipo de inversión y riesgo que existe.

En la presente investigación ante la escases de hidrocarburos en un futuro mediano (10 a 15 años) y la legislación que limita la inversión en el sector, se plantea una propuesta de financiamiento con un gran potencial de crecimiento económico y sustentable, preponderando la inversión en energías alternas por medio del financiamiento público o privado, o bien una mezcla de ambos.

En lo que respecta a las instituciones financieras nacionales podemos considerar a las siguientes: FIRCO que involucra a las instituciones de FIRA, FEGA y BANSEFI las cuales desarrollan carteras de proyectos con alto grado de rentabilidad; Banco de México que financia créditos que fomentan la inversión en la administración de proyectos viables; BANOBRAS y SEDESOL que tienen como función apoyar con créditos a pequeños empresarios y microempresarios por medio de asesoramientos de expertos y de la mejor optimización de recursos que involucren crecimiento en los aspectos prioritarios de la empresa.

Para el presente proyecto en estudio consideramos que los financiamientos podrían ser gubernamentales, privados o mixtos o bien, por ejemplo, una combinación entre el ayuntamiento de Netzahualcóyotl, el gobierno de la ciudad de México y la población a través de la emisión de bonos, ya que las características del Bordo de Poniente resultarían muy viables desde el punto de vista económico y social.

Dada la probable escasez de financiamiento en los próximos años en el sector, se propone implementar bonos ciudadanos como instrumentos financieros semejantes a títulos de deuda. Se considera que la aplicación de bonos en el financiamiento del Biogás a diferencia del petróleo podría ser viable, por las ventajas que presenta por no ser un recurso energético no renovable y que podría asociarse directamente al comportamiento económico de la planta de Biogás y a partir de eso definir las modalidades que se determine para cada emisión de bonos.

Independientemente de sus características y funciones; en el mercado tienen dos perspectivas, uno es la política que refuerza en hechos e ideas a la empresa ya que ésta seguiría siendo del pueblo de México debido a que los bonos ciudadanos no son acciones. Sin embargo representan títulos que sirven para que cada tenedor de bonos ciudadano vigile la actividad y buen desempeño de la empresa y de su organización, mismo que apoya las premisas de Joseph Eugene Stiglitz prestigioso economista y premio Nóbel, quien sostiene que los fundamentos para el crecimiento económico a largo plazo están basados en mas demanda y mayor inversión en Infraestructura y Educación, donde todos los elementos deben estar apoyados por el sector público<sup>19</sup>, en otras palabras, para reactivar la economía, se tiene que trabajar de manera conjunta el estado con el pueblo para que con ello se logre un crecimiento económico sostenido y no llegar a caer en recesiones, generando buenas políticas económicas que contribuyan a mejorar la vida de la población. Los gobiernos deben adoptar políticas conjuntas que orienten el crecimiento de los países de modo equitativo; con reglas justas y plasmando un sentimiento básico de decencia y justicia social.

Los bonos ciudadanos además de ser una opción de ahorro e inversión para los distintos sectores de la sociedad, a través, por ejemplo en la administración de fondos para el retiro (afores), donde se puedan invertir los recursos de los trabajadores mexicanos para impulsar proyectos productivos del país; siempre y cuando sean altamente redituables y de bajo riesgo.

**Impacto Ambiental.** En el año de 1983 en un artículo publicado en una revista de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (ESIA) del Instituto Politécnico Nacional titulado “La situación actual por desechos sólidos” (Pérez Herrera, 1983), se hacia notar el grave problema de orden social e higiénico que ocasionaban los depósitos de residuos sólidos, generándose aproximadamente 8 mil toneladas de desechos sólidos al día. Hoy 25 años después se sigue con la misma situación y sin hacerse nada para resolverlo.

El exceso de contaminación constituye uno de los problemas más graves de la Seguridad Nacional ya que atentan al equilibrio ecológico produciendo enfermedades, deteriorando el medio ambiente y ocasionado la desaparición de especies por la

---

<sup>19</sup> Países emergentes deben influir mas en asuntos financieros mundiales, Reuters, Stiglitz, El economista, Nueva York , 6 de Noviembre de 2008

contaminación de ríos, suelos y aire, además, de contribuir al efecto de invernadero lo que desencadena el calentamiento global. Es necesario crear programas para aprovechar los residuos sólidos generados a través de un plan integral de energía y fomentar la Seguridad Energética hacia las futuras generaciones, por medio del control e inversión sustentable, en este caso se debe aprovechar el Biogás para contrarrestar el uso excesivo de combustibles fósiles como el diesel, gas y petróleo dado que la energía total requerida en el país es muy alto, lo que influye en la generación de una gran cantidad de emisiones al aire. Cabe mencionar que muchas organizaciones están reguladas por la SEMARNAT, pero otras que no cumplen con esto causan un gran impacto ambiental.

Cabe mencionar que el proyecto de Biogás no solo contribuiría a la disminución de emisiones de metano y bióxido de carbono factores principales del efecto invernadero, sino también económicamente, generando un ahorro en recursos al estado y prolongando así la vida útil de las reservas de petróleo y gas natural.

Dentro de la propuesta también se le daría solución a otros problemas. Sería conveniente medir el impacto ambiental en suelo, agua y aire y mantos freáticos; dado que al relleno sanitario de Bordo Poniente se le exigió la reparación del daño ecológico causado por el vertedero para el saneamiento de los terrenos que ocupa en lo que fue el lago de Texcoco, el cual pertenece a la Comisión Nacional del Agua. El relleno sanitario Bordo Poniente es propiedad federal, para la cual se solicitó al gobierno capitalino una serie de estudios técnicos para garantizar que la ampliación del Tiradero Poniente y su consecuente hundimiento no afecte el desempeño hidráulico de los ríos Churubusco y de la Compañía, ya que se pretende que el Bordo Poniente siga recibiendo los residuos sólidos de los capitalinos, a pesar de ser una zona inundable y una bomba de tiempo desde el punto de vista biológico.<sup>20</sup>

**Oferta y demanda de energía.** La demanda en las últimas décadas de energía se había venido incrementado como resultado de la dinámica de la economía mundial y las expectativas a mediano plazo; planteándose que seguiría en aumento, utilizando en su mayor parte combustibles fósiles. No se veían posibilidades en un plazo razonable de que pudieran

---

<sup>20</sup> Agoniza relleno sanitario del Bordo Poniente, Ángeles Velasco, El Universal, México D.F. Lunes 01 de Septiembre de 2003,

ser sustituidos en forma significativa por otras fuentes de energía. Con la actual crisis económica y financiera global el panorama se ve mas complicado en la exploración y desarrollo de los campos petroleros que aporte mayores reservas tanto a nivel nacional como mundial.

Para el caso de México la producción en cuanto a hidrocarburos ha venido decayendo, debido a que su principal campo petrolero Cantarell aún con las técnicas de recuperación está en etapa de maduración, lo que obliga a incrementar la producción mediante la diversificación de fuentes alternas de energía.

Por lo que se propone establecer una estrategia definida y articulada para la identificación y promoción de proyectos de aprovechamiento de Biogás generado por residuos sólidos municipales (RSM) con fines de generación de energía eléctrica, que incluye como parte de esta estrategia la difusión entre el gobierno estatal, municipal y la población, a través de bonos que generarían beneficios ambientales, económicos y sociales del aprovechamiento del residuos sólidos municipales con fines de producción de Biogás para la generación de energía eléctrica.

## CONCLUSIONES

En el análisis del trabajo queda evidenciado que México en el corto plazo debe procurar una política integral de energía donde de manera prioritaria se le de lugar a fuentes alternas de energía dado el notable decaimiento de sus reservas petroleras. En los últimos tiempos por parte de algunos países industrializados se le ha dado un fuerte impulso a la generación de biocombustibles ocasionando con esto grandes perjuicios en los alimentos básicos de la gente por lo que esta tendencia de ser cambiada.

En el desarrollo de la tesis, la hipótesis que sirvió de eje conductor de la misma pudo ser validada y es que:

El déficit y declinación de los hidrocarburos en México como el petróleo y el gas natural podrían compensarse con la producción de biogás e impactar favorablemente en el fortalecimiento de la seguridad energética.

Lo anterior es debido a que el Biogás es un combustible básico que puede ser empleado para generar electricidad o calor. En esta tesis se demuestra que el biogás es una opción real con notables propiedades caloríficas de gran rentabilidad y con la gran ventaja de que a la vez de aprovechar el insumo básico o generado a partir de la materia orgánica en los residuos sólidos urbanos se contribuye a depurar los depósitos sanitarios altamente contaminantes del suelo del aire y del agua. A continuación de manera sintetizada se presentarán las conclusiones principales del tema de investigación.

**La Seguridad Energética.** Es el logro de un abastecimiento de energía seguro y sostenible que requerirá la transición a sistemas de energía avanzados. Ello debido a la declinación de los hidrocarburos mundiales entre ellos México, por lo que se debe equilibrar el aumento de producción con una concentración renovada en el uso limpio y eficiente de energía, expandir la participación internacional con naciones consumidoras y productoras, diversificar fuentes de abastecimiento y alentar decisiones en materia de energía que guíen por mercados competitivos y políticas públicas que estimulen los resultados eficientes.

**Combustibles.** A través del tiempo la búsqueda de otras fuentes alternas de energía, por parte de países desarrollados han originado por parte de estas fuertes inversiones en el hidrógeno, la energía solar, la energía nuclear, sin embargo no se han obtenido los resultados esperados ni tampoco se avizora lograrlo en el corto y mediano plazo, por lo que los hidrocarburos seguirán siendo la principalmente fuente de energía. En el caso de México esto puede llegar a ser al cabo de algunos años un grave problema debido al agotamiento de sus campos, por lo que resulta impostergable la búsqueda de otras fuentes, que aún cuando no tengan la capacidad calorífica del petróleo o gas permitan ser parte de una solución integral, que no sea nociva al medio ambiente y fomente el desarrollo sustentable. En este sentido proponemos al Biogás como una opción real para apoyar tal fin.

**Biogás.** En el desarrollo de la investigación se comprobó que el biogás es una opción real que fortalece la Seguridad Energética para México y que ofrece altas ventajas competitivas respecto de otros energéticos, en cuanto a la preservación del medio ambiente y resultar económicamente factible y rentable, y que no pone en riesgo las reservas de los hidrocarburos. Cabe mencionar que actualmente por parte de algunos países (como se menciona en párrafos anteriores) se está empleando el uso de biocombustibles (bioenergéticos) de primera generación, que utilizan como materia prima insumos que son parte de la dieta en el consumo humano como el maíz amarillo y la caña de azúcar originando con ello su escasez y elevación de precios afectando directamente al ser humano en su alimentación y su economía, por lo que resulta mas conveniente usar los bioenergéticos de segunda generación que no propician una crisis alimentaría.

**Financiamiento.** La generación de Biogás en el futuro tiene una rentabilidad favorable, debida a que este tipo de proyectos tienen un periodo de recuperación de 15 a 20 años, que rebasan los periodos de las administraciones municipales y estatales. Para hacer frente a esta situación, una alternativa viable es el carácter autónomo de los organismos operadores, cuya permanencia trasciende a estos periodos administrativos. De tal manera que el Banco Mundial impulsa la realización de proyectos de esta naturaleza apoyándose fundamentalmente en la participación de SIMEPRODESO; organismo encargado de la

recepción de la donación del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (Global Environment Fund).

Por otra parte dada la crisis financiera mundial por la que se esta a travesando y la espeses y encarecimiento del financiamiento en los mercados en el presente trabajo se hace la propuesta de emitir bonos para la construcción de una planta de Biogás y se plantea un modelo matemático de programación lineal para optimizar en varias etapas la cantidad de emisiones de bonos que deben hacerse bajo un conjunto de escenarios posibles y con tasas de interés de préstamo e inversión de plazo fijo como variables aleatorias. Así mismo, otro modelo matemático de programación lineal es formulado de manera estructural donde quedan plasmadas las variables y la interrelación de éstas a través de ecuaciones y desigualdades y mostrando la ventaja de este tipo de tratamiento restando solamente por estimar los parámetros requeridos.

### **RECOMENDACIONES.**

- Elaborar un plan nacional de energía donde se apoye el fortalecimiento de mercados de energéticos de segunda generación en México mediante la exención del IEPS y otros impuestos.
- Estimular la investigación y desarrollo tecnológico orientada hacia a la producción agrícola de cultivos que favorezcan la generación de bioenergéticos.
- Establecer una norma Mexicana que establezca los parámetros requeridos para el aprovechamiento de los residuos sólidos municipales (RSM) susceptibles de ser utilizados para la generación de energía eléctrica.
- Promover el desarrollo de proyectos de aprovechamiento del biogás.
- Finalmente una reflexión que queremos compartir es acerca de que invariablemente el futuro de la humanidad será mas promisorio en la medida que **escuchemos y convivamos más con la Naturaleza.**

**...Gracias**

## BIBLIOGRAFIA:

La bibliografía que se consulto en la elaboración de esta tesis es la siguiente.

### LIBROS:

-Aguayo Quezada, Sergio; Bagley, Bruce Michael y Stark, Jeffrey. Introducción. México y Estados Unidos: en busca de la seguridad. Perdida: aproximaciones a la Seguridad Nacional mexicana. México: Siglo XXI, 1990.

-Alamillo Gutiérrez, Luis, Seguridad y desarrollo, México: Instituto de Investigaciones Legislativas de la H. Cámara de Diputados, 1996.

-Alarcón Olguín, Víctor y Bermúdez, Ubléster Damián. Orden jurídico y Seguridad Nacional. Crítica jurídica. Universidad Autónoma de Puebla. 1988

-Arellanes, Paulino Ernesto. La relación entre la Seguridad Nacional política y el TLC. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 1993.

-Attina, Fulvio. Geopolítica. Diccionario de Política de Norberto Bobbio, México: Siglo XXI, 1991.

-Bartra, Roger. “Nacionalismo revolucionario y Seguridad Nacional en México” en Aguayo Quezada, siglo XX, 2002.

-BMWA. Renewable Energy in Austria. Federal Ministry of Economics Affairs (BMWA), Vienna, 1998.

-Borroto Bermúdez, A. Energización de comunidades rurales ambientalmente sostenible. Universidad de Cienfuegos. Ediciones LTDA Colombia, 1999.

-Borroto Nordelo, A. El verdadero costo de la Energía. Taller Caribeño de Energía y Medio Ambiente. Cienfuegos, Cuba, 1997.

-Bruce Michael. En busca de la seguridad perdida: aproximaciones a la Seguridad Nacional mexicana. México: Siglo XXI, 2003.

-Campos Avella, J.C. La Eficiencia Energética en la gestión empresarial, Cuba, 1999.

-Comisión Nacional de Energía. Alternativas, Energéticas Nacionales, Cuba, 2002.

-Comisión Nacional de Energía, Biomasa, Cuba, 1999.

-Comisión Nacional de Energía. Datos elementales de los portadores Energéticos de mayor uso. IEE. La Habana. 1999.

-Comisión Nacional de Energía, Programa de desarrollo de las fuentes de energía. España, 2005-2010.

-Contreras, L. Producción de Biogás con fines energéticos. De lo histórico a lo estratégico, México, 2006.

-Contreras, Marco Antonio. El derecho mexicano y el TLC. Versión estenográfica del seminario TLC y Seguridad Nacional. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 1993.

-Cruz Rodríguez, F. Biogás de Cachaza. Cuba, 1991.

-Del Castillo Martínez, Adolfo. La Seguridad Nacional de México y las relaciones con los Estados Unidos, México: Instituto de Investigaciones Legislativas del H. Cámara de Diputados, 1997.

-Dobelman J.K. and D.H. Müller. "The sustainable winery". ABIRER, Germany, 2000.

- Enríquez, M.J. Turbinas Eólicas, España, 2000.
  
- García Reyes Miguel, Gerardo Ronquillo Jarillo, Estados Unidos, petróleo y geopolítica, IMP, Plaza y Valdés Editores, México, 2005.
  
- GNE. Medidas para el control y uso eficiente de los portadores energéticos. Impreso Unidad Empresarial de Base. España. 2000.
  
- Gil, S. R. Información climatológica para la aplicación de energía de la biomasa, México, 2001.
  
- Hulshoff Pol L.; H. Euler; S. Schroth; T. Wittur; D. Grohgan. GTZ pectoral Project "Promotion of anaerobic technology for the treatment of municipal and industrial wastes and wastewater". En: Memorias del Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales, Viña del Mar, Chile, 1998.
  
- Gustavsson, L., P. Börjesson, B. Johansson and P. Svenningsson. "Reducing CO2 Emissions by Substituting Biomass for Fossil Fuels." Energy, Rusia, 1995.
  
- Henríquez Bruno. Las fuentes renovables de Energía, Cuba, 1997.
  
- Hernández Carlos. Segundo FORUM Nacional de Energía: Biogás. La Habana, 1990.
  
- Iglesias, C. y Wilson Soto. Mecanización de los procesos Pecuarios II. La Habana Cuba, 1988.
  
- Kenney, W.F. Energy Conservation in the Process Industries. /W.F.Kenney./s.1/: Academia Press, USA, 2005.
  
- Pérez, A. Medidas de ahorro de energía del PAEME. Niquero.2000.

- Puig, J. Corominas, J, La Ruta de la Energía. Nueva Ciencia (S.L), España, 1995.
  
- Ramakumar, R. Renewable Energy Sources and Rural Development in Developing Countries. IEEE Transactions on Education (USA), 2003.
  
- Rockwell, Richard C. y Moss, Richard H. La reconceptualización de la Seguridad Nacional: un comentario sobre la investigación. En Aguayo Quezada. México: Siglo XXI, 1990.
  
- Rodríguez, C. S. El humo del derroche, España, 1998.
  
- Rodríguez, H. Medidas de ahorro de Energía del CAI, Roberto Ramírez Delgado. Niquero.2000.
  
- Vargas, Rosio. El petróleo y la Seguridad Energética en Estados Unidos, Editorial: México El Colegio de México, 1987
  
- Vázquez Durañona, Planta de biogás de pequeñas dimensiones para fincas lecheras. Ciencias Técnicas Agropecuarias, 2000.
  
- Velazco Gamboa, Emilio. Seguridad Nacional: entre las armas y el desarrollo, México: Asamblea Legislativa del Distrito Federal, 1997.

**REVISTAS:**

- El mundo del petróleo
- Perspectivas económicas (desafíos a la Seguridad Energética)
- Foreign Affair en español.
- Energía en debate

**SITIOS DE INTERNET:**

<http://www.elprisma.com>

<http://www.elproyecto.com>

<http://gestiopolis.com>

[http://www. Natural gas market outlook 2003-2012](http://www.Natural gas market outlook 2003-2012)

<http://www.monografias.com>

<http://www.bp.com/statisticalreview>

**CORPORACIONES:**

**PEMEX:**

-Informe Estadístico de Labores; varios años; 1995-2006

México DF, 2006

-Memorias Labores; varios años; 1995-2006

México DF, 2006

**SENER:**

-Base de Datos Institucional (Prospectivas del sector); Varios años; 1995-2006; México DF, 2006

-Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable de México 2006, México DF, 2006

**IMP:**

-Indicadores de Gestión, Incluye petroquímicos elaborados por PEMEX Petroquímica, PEMEX Refinación y etano y azufre por PEMEX Gas y Petroquímica Básica, Incluye azufre, No incluye Azufre

-Análisis técnico económico del impacto ambiental por el uso del gas natural y gas LP en México. Melgar, E. Ruiz, M. Baueri, R. Villaseñor, M. Magdaleno, J. E. Ceballos y G.a Yáñez, editores, con la colaboración especial de Sergio Picazo G. y Rey Carpio G., IMP, Pemex, México, 2004.

**TESIS:**

- García Ovando, Fernando, Proyecto para la obtención de Biogás a partir de estiércol, Instituto Politécnico Nacional, 1986
- Becerra Montalvo, Nadia Irais, La estrategia de seguridad energética estadounidense y el gas natural latinoamericano. UNAM, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, México, 2005
- Torres Saldaña, Arturo, Determinación por análisis elemental de la cantidad de Biogás potencialmente recuperable en un relleno sanitario para su utilización como combustible alternativo / Instituto Politécnico Nacional, México, 2001

## LISTADO DE TABLAS, CUADROS, FIGURAS, MAPAS, GRÁFICAS.

### TABLAS:

Tabla 1.	Costos en la generación de electricidad en los países de la OECD proyectado de 2005 a 2030.	28
Tabla 2.	Perspectivas de consumo de diversas fuentes de energías primarias 1970-2020.	31
Tabla 3.	Reservas, Producción y consumo de gas natural en Suramérica	46
Tabla 4.	Las características del Biogás	50
Tabla 5.	Tipos de bacterias	52
Tabla 6.	Tiempos de Retención hidráulica en materia primas	55
Tabla 7.	Cantidades de estiércol por diversos animales en rellenos sanitarios	61

### CUADROS:

Cuadro 1.	Fuentes de energía	31
Cuadro 2.	Ventajas y desventajas de la energía nuclear de fisión.	34
Cuadro 3.	Ventajas y desventajas de la energía nuclear de fusión.	35
Cuadro 4.	Ventajas y desventajas de la energía hidráulica.	37
Cuadro 5.	Ventajas y desventajas de la energía eólica	39
Cuadro 6.	Ventajas y desventajas de la energía solar.	40
Cuadro 7.	Ventajas y desventajas de la energía geotérmica.	43
Cuadro 8.	Producción mundial de residuos sólidos urbanos	74
Cuadro 9.	Estimación de las emisiones mundiales de metano	80
Cuadro 10.	Estimaciones del poder calorífico inferior de los rellenos sólidos del Distrito Federal.	81
Cuadro 11.	Generación de electricidad a partir de residuos sólidos municipales	87
Cuadro 12.	Permisos Autorizados por la Comisión Reguladora de Energía a partir de Biogás	90

**FIGURAS:**

Figura 1.	Organigrama de fuentes de energía	32
Figura 2.	Proceso del carbón	34
Figura 3.	Generación de Biomasa	42
Figura 4.	Proceso de producción del Biogás	58
Figura 5.	Aplicaciones del Biogás	59
Figura 6.	La fermentación anaeróbica	62
Figura 7.	Planta piloto de Biogás	68

**MAPAS:**

Mapa 1.	Ubicación del relleno sanitario Bordo Poniente	93
---------	--	----

**MODELOS:**

Modelo 1	Modelo de financiamiento propuesto para el análisis	98
Modelo 2	Modelo probabilístico de financiamiento de una planta de Biogás mediante programación dinámica	101
Modelo 3	Modelo matemático propuesto para el calculo de la distribución y transporté de insumos	110

**GRÁFICAS:**

Gráfica 1	Predicción de la evolución de producción de petróleo de los países que ya alcanzaron su declinación, no incluye países de OPEP y Rusia.	22
Gráfica 2	Consumo mundial de energía primaria	30
Gráfica 3.	Duración de las fuentes de energía en años	32
Gráfica 4.	La composición del Biogás	49
Gráfica 5.	Grafica de crecimiento bacteriano dentro de los digestores.	56
Gráfica 6.	Consumo de Biogás a nivel Unión Europea	71
Gráfica 7	Evolución del consumo de Biogás a nivel Unión Europea	72
Gráfica 8.	Perspectiva de evolución de consumo de Biogás a 2010 a nivel UE	72
Gráfica 9.	Entrada en explotaciones de proyectos de Biogás en término de energía primaria,	73

**ANEXO.**

**EQUIVALENCIAS:**

<b>VOLUMEN</b>		
1 pie cúbico	= 0.0283 metros cúbicos	
1 metro cúbico	= 35.31 pies cúbicos	
1 metro cúbico	= 6.29 barriles	
1 galón (EUA)	= 3.785 litros	
1 litro	= 0.264 galones (EUA)	
1 barril	= 42 galones = 159 litros	
<b>PESO</b>		
1 tonelada métrica	= 2 204.6 libras	
1 libra	= 0.454 kilogramos	
<b>CALOR</b>		
1 BTU	= 0.252 kilocalorías	= 1.055 kilojoules
1 kilocaloría	= 3.968 BTU	= 4.187 kilojoules
1 kilojoule	= 0.948 BTU	= 0.239 kilocalorías
<b>EQUIVALENCIAS CALÓRICAS</b>		
1 barril de crudo equivale a 5,000 pies cúbicos de gas natural		
1 barril de combustóleo equivale a 6,800 pies cúbicos de gas natural		
1 m3 de gas natural equivale a 8,460 kilocalorías (para efectos de facturación de gas seco)		
1 pie cúbico de gas natural $\approx$ 1,000 BTU		

Gigawatt.- Unidad de medida de energía equivalente a 1.000.000.000 de watts

Kilowatt.- Unidad de medida de energía equivalente a 1.000 watts.

Kilowatt-hora.- Unidad de potencia o energía igual a la gastada por un kilowatt en una hora o a 3.6 millones de julios — Abreviatura kWh (1 kWh = 3.6 x 10<sup>6</sup> julios)

KW.- Véase kilowatt

kWh.- Véase kilowatt-hora

Megawatt .-Unidad de medida de energía equivalente a 1.000.000 watts.

### COMPARATIVO DE CARACTERÍSTICAS DE DIVERSAS FUENTES ALTERNAS.

<b>Fuente de energía.</b>	<b>Nivel deseable.</b>	<b>Carbón.</b>	<b>Gas Natural.</b>	<b>Nuclear.</b>	<b>Biogás.</b>	<b>Solar.</b>	<b>Hidráulica.</b>	<b>Eólica</b>
<i>Costo.</i>	<i>Bajo.</i>	<i>Medio.</i>	<i>Medio.</i>	<i>Alto.</i>	<i>Bajo.</i>	<i>Alto.</i>	<i>Bajo.</i>	<i>Medio</i>
<i>Confiabilidad.</i>	<i>Alta.</i>	<i>Alta.</i>	<i>Alta.</i>	<i>Alto.</i>	<i>Alta.</i>	<i>Medio.</i>	<i>Alta.</i>	<i>Alta</i>
<i>Emisiones ambientales.</i>	<i>Bajo.</i>	<i>Baja.</i>	<i>Baja.</i>	<i>0.</i>	<i>Baja.</i>	<i>0.</i>	<i>0.</i>	<i>Medio</i>
<i>Transporte.</i>	<i>Alto.</i>	<i>Baja.</i>	<i>Medio.</i>	<i>Alto.</i>	<i>Baja.</i>	<i>Alta.</i>	<i>Baja.</i>	<i>Alta</i>
<i>Administración de riesgos.</i>	<i>Bajo.</i>	<i>Bajo.</i>	<i>Baja.</i>	<i>Alto.</i>	<i>Baja.</i>	<i>Baja.</i>	<i>Medio.</i>	<i>Baja</i>
<i>Cantidades de CO<sub>2</sub>/MWh.</i>	<i>0.</i>	<i>0.8.</i>	<i>0.4.</i>	<i>0.</i>	<i>1.5</i>	<i>0.</i>	<i>0.</i>	<i>0.6-0.8</i>
<i>Disponibilidad de recurso (próximos 30 años).</i>	<i>Alta.</i>	<i>Alta.</i>	<i>Alta.</i>	<i>Alta.</i>	<i>Alta</i>	<i>Alta.</i>	<i>Media.</i>	<i>Alta</i>

Fuente: tomado de Información climatológica para la aplicación de energía de la biomasa, Gil S Ricardo. México, 2001, pag. 47.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS.

**Aerogenerador.**-Instalación en la que una turbina accionada por el viento, mueve una máquina productora de electricidad. Los aerogeneradores son interesantes para la producción de potencias bajas y medias y se emplean, principalmente, en los casos de sistemas aislados.

**AIE:** Agencia Internacional de Energía, creada en 1974 como un órgano autónomo de la OCDE. Formado por 26 países, tiene por objeto contribuir a la seguridad energética de sus miembros. Coordina sus políticas energéticas, cuidando especialmente la conformación de los stocks petroleros (90 días, como mínimo, de importaciones netas de petróleo).

**Barril:** Unidad de medida norteamericana utilizada para cuantificar el petróleo, tomando su nombre de los toneles de madera utilizados en el siglo 19 para transportar el petróleo. Un barril = 159 litros; una tonelada de petróleo = 7,3 barriles; un barril diario = 50 toneladas anuales.

**Bioconversión.**- Transformación de la energía solar en biomasa mediante un proceso biológico y por extensión, transformación de la biomasa con el fin de obtener energía utilizable. Ejemplo de bioconversión son la fermentación, la fermentación aerobia y anaerobia, bacterias termófilas y mesófilas.

**Biodiesel.**- Es posible producir un combustible similar al gas oil a partir de plantas oleaginosas como la palma de aceite, jatropha, semilla de colza y soja.

**Bioenergía.**- Conversión de biomasa en formas útiles de energía, como calor, electricidad y combustibles líquidos.

**Biomasa.**-Masa de materia orgánica no fósil de origen biológico. Una parte de este recurso puede ser explotada eventualmente con fines energéticos o de producción eléctrica. Aunque las distintas formas de energía de la biomasa se consideran siempre como renovables, debe señalarse que su índice de renovación es variable, ya que está condicionado por los ciclos estacionales y diarios de flujo solar, los azares climáticos y el ciclo de crecimiento de las plantas.

**Biomasa Primaria.**-Conjunto de vegetales de crecimiento más o menos rápido que pueden utilizarse directamente o tras un proceso de transformación para producir energía.

**Biomasa Secundaria.**-Conjunto de residuos de una primera utilización de la biomasa para la alimentación humana o animal o para alguna actividad doméstica o agroindustrial que han sido objeto de alguna transformación física. Estos residuos son principalmente estiércoles, basura, lodos procedentes de la depuración de aguas residuales. Su utilización es consecuencia de la preocupación por la protección del medio ambiente y la consideración de su valor como fuente de energía.

**Biorrefinerías.**-Una nueva generación de refinerías que, según se prevé, producirán no solo energía térmica y eléctrica, sino también combustibles de transporte y productos industriales.

**Butano.**- Gas que cuando es puro es incoloro e inodoro, más pesado que el aire; su temperatura de ebullición a la presión atmosférica normal es  $-0.5^{\circ}\text{C}$ ; sus límites inferior y superior de explosividad en el aire son 2.1 por ciento y 9.5 por ciento, respectivamente. Es el cuarto miembro de la serie de parafinas o alcanos; su fórmula condensada es  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ .

**Cambio Climático.**- Cambio del clima que se atribuye directa o indirectamente a la actividad del hombre, que altera la composición de la atmósfera planetaria y que se suma a la variabilidad climática natural observada en períodos de tiempo comparables.

**Campo.-** Designa un yacimiento al conjunto de sus instalaciones de extracción, de tratamiento y de evacuación.

**Condensados.-** Hidrocarburos líquidos del gas natural que se recuperan en las instalaciones de separación en los campos productores de gas asociado y no asociado. Incluyen hidrocarburos líquidos recuperados de gasoductos, los cuales se forman por condensación durante el transporte del gas natural.

**Combustible.-** Material oxidable capaz de producir combustión en condiciones apropiadas; tal como el carbón, petróleo y sus derivados, gas natural, madera, etc. Sustancia capaz de producir energía por procesos distintos al de la oxidación, incluyéndose como tales los materiales fisionables y fusionables.

**Combustibles Fósiles.-** Son hidrocarburos que pueden quemarse para producir energía; primordialmente, carbón, fuel oil o gas natural.

**Compresor.-** Es un equipo instalado en una línea de conducción de gas para incrementar la presión y garantizar el flujo del fluido a través de la tubería.

**Condiciones Estándar.-** Son las cantidades a las que la presión y temperatura deberán ser referidas. Para el sistema inglés son 14.73 libras por pulgada cuadrada para la presión y 60 grados Fahrenheit para la temperatura.

**Cracking.-** Procedimientos de calor y presión que transforman a los hidrocarburos de alto peso molecular y punto de ebullición elevado en hidrocarburos de menor peso molecular y punto de ebullición.

**Densidad.-** Propiedad intensiva de la materia que relaciona la masa de una sustancia y su volumen a través del cociente entre estas dos cantidades. Se expresa en gramos por centímetro cúbico, o en libras por galón.

**Desarrollo.-** Actividad que incrementa, o decrementa, reservas por medio de la perforación de pozos de explotación.

**Desarrollo Sostenible.-** El desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades.

**Desarrollo Sustentable.-** Es aquel desarrollo que atiende las necesidades de las generaciones presentes sin menoscabar las necesidades de las futuras generaciones. Es un proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida, fundado en la conservación y protección del medio ambiente, de manera de no comprometer las expectativas de generaciones futuras.

**Electricidad.-** Parte de la física que estudia los fenómenos que proceden de la interacción de cargas eléctricas. Calidad de los electrones y núcleos atómicos responsable de los átomos y de las moléculas. Hay dos clases de electricidad, que se denominan positiva y negativa.

**Energía Eléctrica.-** Energía que se transmite por un circuito eléctrico. Viene dada por la integral respecto al tiempo de la potencia instantánea que existe en un circuito.

**Energía Eólica.-** Energía ligada a la actividad solar que origina sobre el planeta diferencias de presión atmosférica y de temperatura. Las corrientes horizontales de aire actúan permanentemente sobre el globo con flujos verticales del aire debidos a la evaporación de superficies marítimas extensas. La dirección del viento está también influida en cierta medida por la rotación de la tierra, a través de las fuerzas de Coriolis. No se puede disponer de la energía eólica producida por dichas corrientes de aire más que con intensidades variables que van desde la calma hasta las condiciones extremas del huracán.

**Energía Mareomotriz.**-Energía que puede recuperarse en forma útil, explotando la energía debida al desplazamiento vertical de masa de agua a partir de su nivel medio o la energía debida a las corrientes de marea, flujo y contraflujo. Aquí cabe hacer referencia a los molinos submarinos, instalación que utiliza ruedas o hélices diseñadas para aprovechar la energía de las corrientes oceánicas submarinas transformándolas en energía útil.

**Energía Limpia.**-Una energía se considera limpia cuando su utilización no tiene riesgos potenciales añadidos, y suponen un nulo o escaso impacto ambiental. Prácticamente no existe una energía limpia 100%. Las alteraciones que pueda provocar una energía limpia - considerando su ciclo de vida-, no son relevantes como para alterar ecosistemas, ciclos hidrológicos, o generar residuos que la naturaleza no pueda asimilar previamente tratados. Con esta definición quedan excluidas por ejemplo, las grandes represas y la energía nuclear. Las energías limpias, son renovables y compatibles con sociedades sustentables.

**Energía Primaria.**-Se entiende por energía primaria a las distintas fuentes de energía tal como se obtienen en la naturaleza, ya sea: en forma directa como en el caso de la energía hidráulica, eólica o solar, la leña y otros combustibles vegetales; o después de un proceso de extracción como el petróleo, carbón mineral, geoenergía, etc.

**Energía Renovable.**- Sistemas y tecnologías en su definición de “renovables”: biomasa (biomasa sólida, carbón de leña, biogás, biocombustibles y desechos municipales).

**Energía Secundaria.**-Se denomina energía secundaria a los diferentes productos energéticos que provienen de los distintos centros de transformación y cuyo destino son los sectores del consumo y/o centros de transformación. Las once formas de energía secundaria consideradas para el Balance Energético de la OLADE son las siguientes: Electricidad, Gas Licuado de Petróleo o GLP, Gasolinas/Alcohol, Gasolina de Aviación, Gasolina de Motor, Gasolina Natural, Alcohol, Kerosene y Turbo combustibles.

**Etano.-** Gas que en su estado natural es incoloro, inodoro e insípido, ligeramente más pesado que el aire. Su temperatura de condensación a presión normal es de  $-88.6^{\circ}$  C. Sus límites de explosividad inferior y superior en el aire son 2.9 y 13.0 por ciento en volumen. Es el segundo miembro de la serie de las parafinas o alcanos. Su fórmula condensada es  $C_2H_6$ . Se obtiene por fraccionamiento de los líquidos del gas natural. Se usa como materia prima para la fabricación de etileno.

**Etanol.-** Combustible de combustión limpia y alto rendimiento producido a partir de la fermentación de biomasa, que puede sustituir a los derivados líquidos convencionales del petróleo, como la gasolina y el queroseno.

**Factor de Compresibilidad del Gas.-** Relación que existe entre el volumen de un gas real y el volumen de un gas ideal. Es una cantidad adimensional que varía usualmente entre 0.7 y 1.2.

**Factor de Encogimiento por Eficiencia en el Manejo.-** Es la fracción de gas natural que resulta de considerar el autoconsumo y falta de capacidad en el manejo de éste. Se obtiene de la estadística del manejo del gas del último periodo en el área correspondiente al campo en estudio.

**Factor de Encogimiento por Impurezas.-** Es la fracción que resulta de considerar las impurezas de gases no hidrocarburos (compuestos de azufre, bióxido de carbono, nitrógeno, etc.) que contiene el gas amargo. Se obtiene de la estadística de operación del último periodo anual del centro procesador de gas donde se procesa la producción del campo analizado.

**Factor de Encogimiento por Impurezas y Licuables en Planta.-** Es la fracción obtenida al considerar las impurezas de gases no hidrocarburos (compuestos de azufre, bióxido de carbono, nitrógeno, etc.) que contiene el gas amargo así como el encogimiento por la generación de líquidos de planta en el centro procesador de gas.

**Factor de Encogimiento por Licuables en el Transporte.-** Es la fracción que resulta de considerar a los licuables obtenidos en el transporte a plantas de procesamiento. Se obtiene de la estadística del manejo del gas del último periodo anual del área correspondiente al campo en estudio.

**Factor de Encogimiento por Licuables en Plantas.-** Es la fracción que resulta de considerar a los licuables obtenidos en las plantas de proceso. Se obtiene de la estadística de operación del último periodo anual del centro procesador de gas donde se procesa la producción del campo en estudio.

**Factor de Equivalencia del Gas Seco a Líquido.-** Factor utilizado para relacionar el gas seco a su equivalente líquido. Se obtiene a partir de la composición molar del gas del yacimiento, considerando los poderes caloríficos unitarios de cada uno de los componentes y el poder calorífico del líquido de equivalencia.

**Factor de Recuperación.-** Es la relación existente entre el volumen original de aceite, o gas, a condiciones atmosféricas y la reserva original de un yacimiento.

**Factor de Recuperación de Condensados.-** Es el factor utilizado para obtener las fracciones líquidas que se recuperan del gas natural en las instalaciones superficiales de distribución y transporte. Se obtiene de la estadística de operación del manejo de gas y condensado del último periodo anual en el área correspondiente al campo en estudio.

**Gas No Asociado.-** Es un gas natural que se encuentra en yacimientos que no contienen aceite crudo a las condiciones de presión y temperatura originales.

**Gas Seco.-** Gas natural que contiene cantidades menores de hidrocarburos más pesados que el metano. El gas seco también se obtiene de las plantas de proceso.

**Gas Asociado.-** Gas natural que se encuentra en contacto y/o disuelto en el aceite crudo del yacimiento. Este puede ser clasificado como gas de casquete (libre) o gas en solución (disuelto).

**Gas Asociado Libre.-** Es el gas natural que sobreyace y está en contacto con el aceite crudo en el yacimiento. Puede corresponder al gas del casquete.

**Gas Asociado en Solución o Disuelto.-** Gas natural disuelto en el aceite crudo del yacimiento, bajo las condiciones de presión y de temperatura que prevalecen en él.

**Gases de Efecto Invernadero o Termoactivos.-** Constituyentes gaseosos de la atmósfera, naturales y antropogénicos, que absorben y remiten la radiación infrarroja.

**Gas Húmedo.-** Mezcla de hidrocarburos que se obtiene del proceso del gas natural del cual le fueron eliminadas las impurezas o compuestos que no son hidrocarburos, y cuyo contenido de componentes más pesados que el metano es en cantidades tales que permite su proceso comercial.

**Gas Natural.-** Mezcla gaseosa que se extrae asociada con el petróleo o de los yacimientos que son únicamente de gas. Sus componentes principales en orden decreciente de cantidad son el metano, etano, propano, butanos, pentanos y hexanos. Cuando se extrae de los pozos, generalmente contiene ácido sulfhídrico, mercaptanos, bióxido de carbono y vapor de agua como impurezas. Las impurezas se eliminan en las plantas de tratamiento de gas, mediante el uso de solventes o absorbentes. Para poderse comprimir y transportar a grandes distancias es conveniente separar los componentes más pesados, como el hexano, pentano, butanos y propano y en ocasiones el etano, dando lugar estos últimos a las gasolinas naturales o a los líquidos del gas natural, para lo cual se utilizan los procesos criogénicos.

**Grandes Compañías:** designa a las más grandes compañías petroleras que operan en el mundo, distinguidas por los montos de sus negocios, la potencia financiera, como por su implantación internacional. Hoy, las 5 sociedades más importantes son: ExxonMobil, BP, Shell, ChevronTexaco y Total.

**Hidrocarburos.-** Compuestos químicos constituidos completamente de hidrógeno y carbono.

**Intensidad Energética:** es el consumo energético por unidad monetaria, aplicada generalmente al producto interno bruto (PIB) de un país.

**Materia Orgánica** en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente directa o indirecta de energía.

**OPEP:** Organización de Países Exportadores de Petróleo, creada en setiembre de 1960 en reacción a la baja de los precios del petróleo decidida por las Grandes compañías. La Organización comprende 11 miembros: Arabia Saudita, Irán, Irak, Kuwait y Venezuela (miembros fundadores), Qatar, Indonesia, Libia, Emiratos Árabes Unidos, Argelia y Nigeria.

**Pentanos.-** Hidrocarburos saturados de fórmula empírica  $C_5H_{12}$ , de los cuales son posibles tres isómeros. Líquidos incoloros, inflamables; solubles en hidrocarburos y éteres e insolubles en agua. Existen en las fracciones de más bajo punto de ebullición de la destilación del petróleo, de donde se obtienen.

**Petróleo.-** Mezcla de carburos de hidrógeno líquidos, resultantes de la descomposición de materia orgánica (fermentación bioquímica), ocurrida en paleocuevas bajo condiciones específicas de presión y temperatura. El petróleo comúnmente se encuentra asociado con gases.

**Propano.-** Gas que cuando puro es incoloro e inodoro, más pesado que el aire. Su temperatura de condensación a la presión atmosférica normal es  $-42.5^{\circ}\text{C}$ ; sus límites inferior y superior de explosividad en el aire son 2.4 por ciento y 9.5 por ciento, respectivamente. Es el tercer miembro de la serie de parafinas o alcanos; su fórmula condensada es  $\text{C}_3\text{H}_8$ . Se obtiene por fraccionamiento de los líquidos del gas natural, de los condensados y de varios procesos de refinación, tales como la destilación atmosférica del petróleo crudo, la desintegración catalítica y la reformación de naftas.

**Ramales de Oleoductos.-** Tuberías que sirven para transportar el aceite crudo desde una estación de recolección o partiendo de una estación de almacenamiento o planta de tratamiento, hasta su entronque con un oleoducto principal. Tuberías que se derivan de un oleoducto principal y terminan en un punto de distribución.

**Recursos:** Cantidades de petróleo localizados en los yacimientos, sin referencia a las restricciones de accesibilidad o de los costos.

**Refinería.-** Conjunto de instalaciones petroleras destinadas al procesamiento del petróleo crudo a través de diversos métodos de refinación, a fin de obtener productos petrolíferos, tales como gasolinas, diesel, lubricantes y grasas, entre otros.

**Rendimiento Energético.-** Mencionado también como conservación energética, el rendimiento energético es la práctica de reducir la cantidad de energía utilizada con un uso final de resultado similar. Ello puede lograrse aumentando el rendimiento de los electrodomésticos, máquinas y motores o reduciendo la demanda de determinados servicios energéticos.

**Renta Petrolera:** Diferencia entre el precio de venta del petróleo (ingreso) y el costo de producción (inversiones y costos operativos).

**Reservas Petroleras.**- Volumen de hidrocarburos y sustancias asociadas, localizado en las rocas del subsuelo, que pueden ser recuperables económicamente con métodos y sistemas de explotación aplicables a condiciones atmosféricas y bajo regulaciones.

**Reservas Probadas:** Cantidades recuperables de petróleo con una certidumbre razonable en las condiciones económicas y técnicas existentes,

**Reservas Probables:** Cantidades adicionales a las reservas probadas que las informaciones geológicas y técnicas del reservorio permiten considerar recuperables,

**Reservas Posibles:** Referidas a yacimientos hasta ahora no conocidas así como sobre el petróleo no convencional, se consideran yacimientos probables en un 50 por ciento.

**Reservas Totales:** Suma de la producción acumulada y de la totalidad de las reservas probadas, probables y posibles.

**Seguridad Energética.**- En términos de seguridad del suministro de energía, los países y los consumidores particulares enfrentan el mismo desafío: garantizar un acceso continuo a cantidades de energía a un costo razonable.

**Sistemas de Interconexión Eléctrica.**- Sistema centralizado de electricidad por el que se distribuye la electricidad generada a los consumidores por la vía de una red de transmisión y distribución.

**Sustentabilidad:** Concepto que implica el uso de recursos con la renovación de los mismos en un lapso de tiempo.

**Tasas de Recuperación:** relación entre las Reservas y los Recursos; hoy día se estiman en cerca del 30 por ciento para el petróleo.

**Tecnologías Ecológicamente Racionales.-** Las tecnologías ecológicamente racionales protegen el medio ambiente, son menos contaminantes, usan todos los recursos en forma más sostenible, reciclan un mayor volumen de sus residuos y productos y manejan sus desechos en forma más aceptable que las tecnologías que sustituyen.

**Terminal de Almacenamiento.-** Unidad que se instala con la finalidad de almacenar hidrocarburos o productos derivados del petróleo que procedan directamente de una tubería de transporte para posteriormente ser conducidos por otro medio a centros de proceso o distribución.

**Tubería de Descarga.-** Tubería mediante la cual se transportan los hidrocarburos desde el cabezal del pozo hasta el cabezal de recolección de la batería de separación, a la planta de tratamiento o a los tanques de almacenamiento.

**Tuberías de Productos.-** Tuberías que transportan los fluidos procesados de las refinerías o plantas de tratamiento a las plantas de almacenamiento y distribución de productos, o a cualquier planta de proceso. Se designan adicionando al nombre del producto el sufijo ducto, como gasolinoducto, combustoleoducto, amonioducto.

**Vertedero.-**Estructura destinada a escurrir el agua de un embalse. Los vertederos pueden ser de escurrimiento libre o a cielo abierto o de compuertas.

**Yacimiento:** Roca que contiene una acumulación de petróleo o gas. Según las cantidades de reservas que contenga se distinguen, para el petróleo:

Yacimiento simple: reservas inferiores a 70 millones de toneladas,

Yacimiento gigante: reservas comprendidas en 70 y 700 millones de toneladas, yacimiento ultragigante: reservas superiores a 700 millones de toneladas.