

Universidad Nacional Autónoma
de México



Facultad de Estudios Superiores Aragón

Biodigestores una Alternativa Ecológica



Tesis para Obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta

José Manuel Castorena Arcos

Asesora

M en C. Marjorie Márquez Vázquez

Mexico 2015

Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Índice

Índice	2
Índice de Tablas y Figuras.....	3
Introducción	5
Capítulo I Conceptos Básicos para Interpretar los Procesos de Contaminación	7
Capítulo II El compuesto Madre, esencial y vital. El Agua	40
Capítulo III Contaminación. La Tierra y las Alteraciones que causa el Hombre en los Procesos Naturales	90
Capítulo IV Energía Necesidad Imprescindible para el Hombre	146
Capítulo V Biodigestores	209
Capítulo VI Conclusiones y Recomendaciones	248
Referencias	254
Agradecimientos.....	264



Índice de Tablas y Figuras

Fig. 2.1 Total de Agua disponible en el Planeta.....	44
Fig. 2.2 Composición Molecular Puente de Hidrógeno.....	50
Fig. 2.3 Enlace Covalente en Puente de Hidrogeno	50
Tabla 2.1 Clasificación de Usos del Agua	68
Fig. 3.1. Contaminación del Agua.	100
Fig. 3.2 Derrame British Petroleum	108
Fig. 3.3 Campo deforestado para cultivo de Maíz.	113
Fig. 3.4 Caricatura de Contaminación y Deforestación.	125
Fig. 3.5 La Ciudad Viva	128
Fig. 3.5 Ciclo del Carbono.....	133
Fig. 3.6. Uso de Combustibles Fósiles vs Energías Renovables.	146
Figura 4.1 Descubrimientos de petróleo en Gigabarriles	166
Figura 4.2 Producción de Petróleo en Millones de Barriles Diarios.....	167
Figura 4.3 Producción Acumulada y Previsiones para el Futuro	168
Figura 4.4 Descubrimientos de petróleo en Gigabarriles	171
Figura 4.5 Crecimiento Mundial en FRE	177
Figura 4.6 Inversion Mundial en Energías Renovables	177
Figura 4.7 Potencial Aproximado de las Energías Renovables en el Mundo	178
Fig. 4.8 Captación de Energía Solar	192
Tabla 5.1 Porcentajes de Composición del Biogás.....	215
Fig. 5.1 Planta de Biogás	216
Tabla 5.2 Equivalencia de Biogás a otros combustibles	217
Fig. 5.2 Producción de Biogás	221
Fig. 5.5 Biodigestor Domo Flotante (Hindú)	224
Fig. 5.6. Biodigestor Domo Fijo (Tipo Chino).	225
Fig. 5.7 Biodigestor Chino.	226
Fig. 5.8 Biodigestor Autolimpiable.	226
Fig. 5.9 Biodigestor Flexible	228
Fig.5.10 Biodigestor de Geomembrana de Polietileno.....	229
Fig. 5.11. Cultivo utilizando estiércol sin tratamiento como abono.	232

Fig. 5.12. Ubicación Jaleaca de Catalán	234
Fig. 5.13. Ubicación Jaleaca de Catalán	234
Fig. 5.14. Actividades culturales Jaleaca de Catalán	235
Fig. 5.15. Zonas de Cultivo de Maíz.	236
Fig. 5.16. Ganadería y Venta de leña, Actividades económicas en Jaleaca de Catalán..	236
Fig. 5.17 Aserradero, Jaleaca de Catalán	237
Fig. 5.18 Diversidad de Flora, Jaleaca de Catalán (Zonas Cálidas).	238
Fig. 5.19 Diversidad de Flora, Jaleaca de Catalán (Zonas Templadas)..	238
Fig.5.20 Ríos que Abastecen Jaleaca de Catalán.	239
Fig. 5.21 Comunidad de Jaleaca de Catalán, 2008.	239
Fig.5.22 Disminución en los Niveles de los Ríos, Jaleaca de Catalán.	240
Fig. 5.23 Deterioro en los Ecosistemas debido a la Tala	240
Fig.5.24 Deforestación visible en zonas aledañas de Jaleaca de Catalán, 2015.	241
Fig. 5.25 Componentes del Sistema Biobolsa..	246

Biodigestores una Alternativa Ecológica

En el presente los tópicos de Ecología y cuidado del medio ambiente son temática mundial, sin embargo parecen un simple eslogan político o estrategia publicitaria para distintas organizaciones que implica únicamente hablar de ellos, aunque las acciones se dejen en mínimos esfuerzos o realmente nulos que se notan en el continuo desequilibrio ambiental y las catástrofes cada vez más graves sufridas en el mundo.

Es de vital importancia hacer un énfasis en los temas que realmente están afectando (reducción en calidad y cantidad del agua, contaminación del aire, calentamiento global) que se están dejando de lado por desconocimiento o falta de interés sin importar el motivo que conlleve a la inacción; siguen siendo de importancia debido a que con todos los factores que los desencadenan (sobreexplotación de hidrocarburos, quema y deforestación, cambio climático) son hoy por hoy los paradigmas que describen las bases del futuro.

El contraste de la realidad en muchos escenarios con la información dada por los medios de comunicación sobre estos temas es muy lejana, difusa e inexacta; son los principales detonantes que conllevan a la realización de esta tesis; en busca de generar un reconocimiento de distintas problemáticas sus efectos nocivos, desencadenantes, así como alternativas ecológicas de solución siendo una de éstas el uso de Biodigestores; para tal efecto se desarrolló el presente capitulado:

Conceptos Básicos para la Interpretar los procesos de Contaminación (Capítulo I), se pretende sentar las bases en conceptos y leyes físicas, químicas y biológicas que permiten tener una mejor comprensión evolutiva de los procesos de contaminación a través de la historia de la humanidad.

El compuesto madre, esencial y vital. El Agua (capítulo II) siendo el compuesto que ha estado presente a través de los siglos permitiendo el florecimiento o destrucción de las civilizaciones en la tierra; se hace un estudio partiendo por su composición molecular a través de sus distintas clasificaciones de acuerdo a tipos, usos y en donde se encuentra haciendo mención de datos como su disponibilidad actual y propiedades, información que permite revalorar su importancia.

Contaminación. La Tierra y las Alteraciones que causa el Hombre en los Procesos Naturales (capítulo III) un recorrido a través de la actividad humana y todos los afectaciones que ésta tiene en los ciclos naturales de la tierra; el día a día de la existencia humana y cómo ésta deja huellas imborrables pues la contaminación, reducción o pérdida de recursos naturales tiene su razón en ella.

Energía Necesidad Imprescindible para el Hombre (capítulo IV) hecho irrefutable; pues el desarrollo de una civilización dependerá de cómo ésta aprenda a generar y administrar sus fuentes de energía; es por ello que esta es una necesidad más que insaciable, indispensable; en el capítulo se exponen el acontecer histórico de la energía así como la realidad actual poniendo las opciones de energías renovables haciendo un análisis de su viabilidad y factibilidad.

Biodigestores (capítulo V) siendo este el tema central, aquí se abordan las características que definen a un biodigestor así como los elementos que los clasifican, de igual forma se hace una revisión de la temática expuesta en capítulos anteriores con la finalidad de asentar una propuesta de solución a distintas problemáticas con la implementación de Biodigestores en comunidades (exponiendo la problemática de la comunidad de Jaleaca de Catalán, Gro. proponiendo el uso de Biodigestores para solucionarla) como una alternativa práctica, sustentable y ecológica. Dicha alternativa será evaluada considerando las características económicas, sociales y los recursos naturales disponibles para verificar su factibilidad.

A través del análisis de estos temas con la clara idea de proponer soluciones; es que se busca dar y dejar un seguimiento para el área de Ingeniería Civil que además de verse capacitada para resolución de problemas, es prudente considerar que también puede encargarse de su previsión; mediante la elaboración de proyectos en diversas áreas entre las cuales el área ambiental es de gran importancia como se podrá estudiar a continuación.

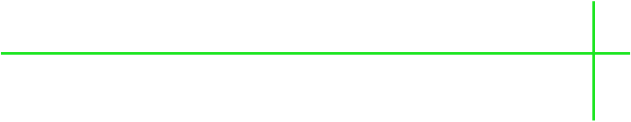


Capítulo I

Conceptos Básicos para Interpretar los Procesos de Contaminación



Fuente: scienze.fanpage.it 26 . 07. 2011



“...parece probable que Dios, en el inicio, formó la Materia en partículas sólidas, masivas, duras, impenetrables y móviles de tamaños y formas tales, y con tales Propiedades, y en tales proporciones respecto al espacio, como fuera más conducente al Fin para el cual las formo...”



— Sir Isaac Newton

Leyes Físicas y Químicas

En el curso de la historia, la asombrosa existencia de los humanos se ha visto amenazada por desastres naturales, entre ellos el hambre y enfermedades. El éxito logrado en la lucha continúa contra tales calamidades se debe en gran parte a las contribuciones de la física y la química. Durante la Primera Guerra Mundial, un químico alemán, Fritz Haber, desarrolló un proceso práctico para la transformación de nitrógeno atmosférico en amoníaco, un componente principal de los fertilizantes sintéticos que se emplean ahora para surtir de alimentos a la población mundial en aumento. Una generación después, otro producto químico, DDT (Dicloro Difенил Tricloroetano), se empleó con éxito para controlar la malaria y otras enfermedades infecciosas en las regiones destrozadas de Asia y Europa. Desde la Segunda Guerra Mundial, se han aplicado el DDT y otros insecticidas químicos para aumentar la producción agrícola en todo el mundo.

En años recientes se ha tenido conciencia de algunos de los efectos secundarios indeseables de productos químicos desarrollados para satisfacer las necesidades de la sociedad. Los fertilizantes químicos promueven el crecimiento de algas que atacan a muchos lagos y ríos. Los plaguicidas, tales como DDT, pueden tener efectos adversos en la vida animal, y en algunos casos, en la vida humana también. En un sentido más general, se ha llegado a visualizar que la calidad del medio ambiente se ve amenazada por las materias producidas en un esfuerzo por lograr “una vida mejor”. Ahora se sabe que los problemas para purificar el aire y el agua se restringen por otro problema potencialmente catastrófico: la disminución de los recursos naturales. La “crisis energética” de 1970 es sólo un indicio del hecho de que las materias primas en las que está basada la economía se están agotando.

Los químicos, en unión con otros científicos, participaron intensamente en los esfuerzos para encontrar soluciones a los problemas ocasionados por la contaminación y disminución de los recursos. Los complicados instrumentos empleados para medir los contaminantes en los escapes de automóviles en concentraciones de partes por millón, se desarrollaron y aplicaron por químicos analíticos. Los químicos inorgánicos participaron en la investigación que produjo los “convertidores catalíticos” empleados en la actualidad para reducir los escapes dañinos de los automóviles. Se efectúa investigación para nuevas fuentes energéticas por fisicoquímicos que trabajan con científicos e ingenieros (Mellor, 1955).

Los métodos empleados por los químicos y otros científicos para resolver problemas son variados. Muchos descubrimientos importantes han ocurrido en parte por casualidad. Un biólogo que estudia medios para bacterias en crecimiento puede contaminar accidentalmente su cultivo y encontrar por lo tanto un antibiótico nuevo. Un químico que estudia el mecanismo de una reacción específica puede tener una pista sobre un buen catalizador para una reacción muy diferente. Estos descubrimientos no pueden atribuirse solo a suerte; requieren una actitud mental que conduce a nuevas ideas y un medio experimental en que puedan comprobarse rigurosamente (Ayensa & Molledo, 1991).

Independientemente de cómo se genera una idea, el método de comprobación es uno que se ha empleado con mucho éxito en todas las ciencias quizá durante 200 años. El llamado "método científico" empieza con experimentos diseñados con todo cuidado que se efectuaron en el laboratorio bajo condiciones estrechamente controladas. El método que un químico utiliza es relativamente simple, quizá incluya una sustancia pura o una solución que contenga dos o tres de estas sustancias. Las mediciones en estos sistemas, cuando se interpretan adecuadamente, pueden conducir a conclusiones que se aplican al mundo más complejo que existe fuera del laboratorio. Es entonces cuando la adecuada aplicación de las Leyes de la Física y Química en la solución de muchos problemas que afectan al mundo ha dado origen a variadas tecnologías en la actualidad (Masterton, 1979).

La física es la base de todas las ciencias, pues sus leyes son el fundamento de todas ellas. Se le considera la ciencia más organizada y utiliza el lenguaje matemático para expresar sus leyes y conceptos. La física es la Ciencia Natural que tiene por objetivo principal el estudio de la Naturaleza y las interacciones entre materia y energía, así como los principios y leyes que explican el comportamiento de los cuerpos (Zarzosa & Salvador, *et al*, 1994).

La Química es el estudio de la estructura de la materia y los cambios que se producen es ésta durante los procesos naturales y los experimentos planeados. Por medio de la química se adquieren conocimientos de la composición y los usos de los materiales inanimados, tanto naturales como artificiales, y de los procesos vitales de los seres vivos, incluyendo al ser humano. La perspectiva química del mundo circundante es fascinante. Es posible desarrollar esta perspectiva por medio de observaciones y experimentos, firmemente basados en el deseo de comprensión y en la búsqueda del orden (Keenan, 1992).



La Química permite comprender al mundo y su funcionamiento. Es una ciencia muy práctica con gran influencia en la vida diaria. De hecho, la química es el centro de muchas cuestiones de interés público: el mejoramiento de la atención médica, la conservación de los recursos naturales, la protección del medio ambiente y la satisfacción de las necesidades diarias en cuanto a alimento, vestido y vivienda. Por medio de la química se han descubierto sustancias farmacéuticas que fortalecen la salud y prolongan la vida. Se ha aumentado la producción de alimentos mediante el uso de fertilizantes y plaguicidas, y se ha desarrollado la síntesis de plásticos y otros materiales de utilidad en casi todas las facetas de la vida. Desafortunadamente, algunas sustancias químicas también tienen el potencial de dañar nuestra la salud o el medio ambiente. Como ciudadanos y consumidores educados, es conveniente comprender los profundos efectos, tanto positivos como negativos, que las sustancias químicas tienen en la vida, y encontrar un equilibrio informado sobre su uso (Brown & Lemay *et al*, 2004).

Aunque la química ha sido parte de la educación liberal durante muchas generaciones, en la actualidad ha asumido un papel preponderante debido a que los seres humanos cultos tienen cada día una idea más clara del punto de vista químico. Este reconocimiento público de impacto de la química es muy apropiado. En los últimos 45 años, la población del mundo se ha duplicado y se espera se vuelva a hacerlo en los próximos 25 años. Una de las principales razones de esta aceleración ha sido la aplicación de los conocimientos químicos a las áreas de la medicina y la agricultura. El desarrollo de los medicamentos para una mejor salud y de los antibióticos para el control de las enfermedades y las infecciones, se ha basado en gran parte en las investigaciones químicas. Los fertilizantes e insecticidas que han incrementado la producción que se deben a las aplicaciones de los conocimientos químicos.

La importancia que actualmente se le da a la ecología, al medio ambiente y a la crisis energética, está produciendo en el público en general una mayor preocupación por los problemas químicos. El enorme número de personas que vive en el planeta, así como el gran aumento en el uso de los recursos materiales para elevar el nivel de vida, ha resultado en modificaciones ambientales de gran peligro. El envenenamiento de los suministros de agua con residuos de herbicidas e insecticidas, la contaminación atmosférica causada por las reacciones químicas que se verifican durante la quema de los combustibles y la exterminación de la vida animal y vegetal que se produce por los productos de desperdicio de los procesos industriales, son algunos de los ejemplos de los problemas modernos con implicaciones químicas.

El desarrollo económico de las grandes naciones industriales está consumiendo con gran rapidez los recursos energéticos, produciendo un enorme volumen de desperdicios que amenaza con trastornar el equilibrio químico de la naturaleza. Los equilibrios más preocupantes son los que corresponden a la zona cercana a la superficie terrestre llamada biosfera, que es la zona que sostiene la vida, la biosfera es la sección relativamente delgada de la superficie de la tierra. El análisis de plantas y animales vivos ha permitido a los químicos identificar millones de diversas sustancias. Se han obtenido muestras de sustancias no asociadas con los seres vivos en la atmósfera, los océanos y la delgada corteza terrestre que puede analizarse por medio de la perforación de pozos y otras técnicas directas. El número total de sustancias individuales que se conocen en la actualidad, incluyendo tanto las naturales como las que se preparan sintéticamente en los laboratorios químicos es de aproximadamente 4 millones.

El conocimiento y el control de los cambios que se verifican a gran escala en un sistema tan complejo como el de la biosfera terrestre, constituye un reto de grandes proporciones. Sin embargo, muchos de los científicos modernos expresan un punto de vista optimista más que derrotista, en cuanto a la protección del medio ambiente y al desarrollo de formas más seguras para generar energía. Por ejemplo, la clave para diseñar dispositivos que reduzcan al mínimo las cantidades de sustancias indeseables emitidas por los motores de automóvil, es un buen dominio de la química implicada en estos procesos. Los químicos desempeñan un papel muy importante en la investigación para la disminución de los riesgos de los productos de desperdicio y en el desarrollo de nuevas tecnologías para usar fuentes nucleares, solares y vegetales.

En la química, como en todas las ciencias naturales, se hacen observaciones constantes y se registran hechos. Como en todas las ciencias, excepto en la astronomía y la geología, el estudio se basa en los hechos producibles, es decir, en los eventos o fenómenos que se verifican de la misma manera cuando prevalecen las mismas condiciones. La mayoría de los fenómenos y materiales de la naturaleza se dan a conocer a sí mismos en una forma estrictamente reproducible.

Resulta imposible, y de hecho no es deseable, separar los hechos, las leyes y las teorías de la química de las de otras ciencias. Las divisiones arbitrarias de las ciencias naturales en física, astronomía, geología, botánica, zoología, química y otras, son clasificaciones impuestas no por la naturaleza sino por el hombre. La química depende en alto grado de las ideas valiosas de otras ciencias como la física y también contribuye a muchas áreas de la misma. Los hechos y las teorías de la

química tienen gran importancia para los estudiantes de medicina, meteorología, economía familiar, agricultura e ingeniería. El estudio de la química es una fuente de enriquecimiento, tanto para los científicos como para los que no lo son, del concepto del mundo y la naturaleza y del a veces poco natural mundo de los materiales nuevos que proporciona la industria química (Keenan, 1992).

La Energía en la Historia

La Historia demuestra que la utilización preferencial de las distintas energías primarias por la sociedad no se ha acomodado a su descubrimiento científico. Con excepción de la electricidad y de la energía nuclear, las demás energías primarias fueron conocidas desde siempre por el hombre. El petróleo, tal como lo reflejan el Génesis y el Éxodo, ya era conocido por los beduinos del Sinaí y hasta 2,000 años después no encontró más que anecdóticas aplicaciones medicinales o en iluminación. Las antorchas ardientes de pozos de gas natural en las estepas del Asia Central figuran entre las curiosidades de los relatos del viaje de Marco Polo. En la Europa medieval se vivió a la par la penuria energética con el conocimiento de los yacimientos de carbón que no comenzaron a explotarse a gran escala hasta 500 años después. La Máquina de vapor fue un descubrimiento realizado en Francia, en 1697, por Papín, pero no tuvo trascendencia económica hasta medio siglo después, en 1765 en manos de Watt, en la Inglaterra de la Revolución Industrial. En definitiva, son las condiciones sociales las que más claramente determinan las circunstancias que potencian una u otra energía primaria. *La historia de la energía corresponde mejor con la de las estructuras socioeconómicas de la Humanidad que con la historia de los descubrimientos científicos.*

Mundo Antiguo

El mundo Antiguo, desde Egipto hasta el fin del Imperio Romano, estuvo sustentado, desde el punto de vista energético, sobre la energía animal: la del ser humano y la de ciertos animales de carga y tiro. Y ello a pesar de que ya eran conocidos tanto la rueda hidráulica como los molinos de viento. Las obras públicas que aún hoy se admiran por su envergadura, se construyeron por acumulación de energía humana con las tecnologías tan simples como la palanca, la polea y el plano inclinado.

Edad Media y Renacimiento

Bastó con la caída del Imperio Romano, que hasta entonces garantizaba la disponibilidad de los ejércitos esclavos, para que se produjese la primera crisis energética que registra la Historia. Una estructura socioeconómica que había tenido

una dimensión universal -el mundo mediterráneo- estalló en numerosos y minúsculos grupos locales de población, condenados a sobrevivir en una miseria autosuficiente y que no llegaban a disponer del número de brazos necesarios para constituir un excedente energético. *La madera se convirtió en el material fundamental para una constitución no demandante de gran aportación de fuerza de trabajo.*

La energía primaria que cogió el relevo fue la hidráulica, con la rueda y el molino de agua como principales convertidores. En el censo de Guillermo el Conquistador, el Domesday Book de 1085, se comprueba la existencia en Inglaterra de un molino de agua por cada 200-400 habitantes. En 1180, en Normandía, ya existían molinos de viento que a lo largo del siglo XII se difundieron por Europa como nueva tecnología energética traída por los cruzados desde oriente. En "el Quijote" los únicos ingenios energéticos que se mencionaban son los batanes (energía hidráulica), cuyo "horrisono fragor" atemorizó a Sancho, y los molinos de viento (energía eólica), que sirvieron para medir el coraje de su señor.

La Europa de la Edad Media, y en menor grado la del Renacimiento, rezaba en catedrales de piedra pero vivía en estructuras de madera, trabajaba con instrumentos de madera y producía con energías hidráulicas y eólica.

Revolución Industrial

A finales del siglo XVIII, se dieron en Inglaterra algunas circunstancias estructurales (revolución agraria, mano de obra barata, extensión de la red viaria, innovaciones tecnológicas en la industria textil) que marcaron el nacimiento del sistema capitalista.

Solo faltaba, ya que la energía hidráulica era suficiente, una energía capaz de alimentar este nuevo sistema productivo. Tiene lugar un cambio en la energía primaria - de la hidráulica a la del carbón- debido al nuevo convertidor de energía puesto en juego: la máquina de vapor. Ésta hizo posible que la industria textil se instalase en el sitio que conviniese por razones de mercado o de disponibilidad de fuerza de trabajo. Tiene lugar asimismo una revolucionaria innovación en los transportes: locomotora de Stephenson en 1813 y barco de vapor de Fulton en 1807. El éxito del nuevo sistema económico, representado por el capitalismo liberal implica un fuerte crecimiento en la demanda de hierro. A partir de finales del siglo XVIII, Europa comenzó a convertirse en un mundo de hierro, llegando en el siglo XIX a introducir las grandes vigas en la construcción de edificios (teniendo este proceso su ejemplo emblemático en la Torre Eiffel de 1889). Entre 1750 y 1850 la producción de las fundiciones inglesas se multiplicó por cien. Esta intensa demanda de hierro condicionó la elección del carbón

como energía primaria de la industrialización. Como consecuencia, la producción de hulla en Europa se duplicó en 20 años aproximadamente.

Mundo Moderno

Entre el período de las guerras mundiales, época de indudables crisis en todas las estructuras sociales, desde las económicas hasta las ideológicas, tiene lugar el siguiente cambio observado en la historia de la energía: el petróleo sustituye al carbón como motor energético de Europa y, en general, del mundo. Como explicación de esta rápida sustitución puede señalarse, sin duda, la revolución introducida en los transportes por el motor de explosión de gasolina, el cual permitió el desarrollo del automóvil desde 1885 y de la aviación desde 1903.

El petróleo resultaba un instrumento extremadamente adecuado para la agudización de las características del sistema capitalista. La clara separación geográfica de las zonas de producción y consumo, junto con la concentración empresarial en ambas, ofrecían unas condiciones de monopolio muy aptas para la maximización de beneficios.

Mundo en Crisis

Conocidas las reservas de petróleo y el ritmo de consumo alcanzado, era previsible que en la segunda mitad del siglo XX habría de plantearse su sustitución por otra alternativa energética, aunque manteniendo las estructuras socioeconómicas y políticas para las que el petróleo fue un instrumento muy adecuado. Dicha alternativa no podía ser otra que la Energía Nuclear convertible en Electricidad. En este caso se contaba no sólo con el control de las materias primas - y los yacimientos de uranio-, sino también con un férreo monopolio de Estado -derivado del origen y vinculaciones militares de la energía nuclear- de la tecnología. Ello proporcionó a los detentadores de la tecnología nuclear la ocasión de conseguir ingentes beneficios mediante una estrategia de sustitución de los combustibles convencionales -carbón y, sobre todo, petróleo- por el uranio.

Pero hay indicios que permiten pensar que ésta puede llegar a ser una sustitución abortada. Treinta años de intensa, costosa y generalizada campaña de promoción de la energía nuclear no han conseguido más que pequeños avances para sus promotores. En estos momentos, sólo el 25% de la electricidad consumida en Europa procede de Reactores nucleares. Una vez más las dudas en la Historia sobre temas energéticos aparecen al mismo tiempo que las dudas sobre la estructura de la sociedad.

La energía nuclear favorece la proliferación de armamento nuclear y de grandes accidentes que, después de los de Three Miles Island, en 1979 en los Estados Unidos, y de Chernobil, en 1986 en la U.R.S.S., han dejado de ser hipotéticos. Además, para que las actuales reservas de uranio no resulten más escasas todavía que las de petróleo, no hay más remedio que cambiar la tecnología nuclear pasando a los reactores llamados rápidos, con lo cual los riesgos de proliferación y de gravedad de accidentes se llevan a límites que pudieran resultar económica y socialmente inaceptables. Al mismo tiempo, en Europa se está cuestionando las raíces de las estructuras socioeconómicas desde las que se diseñaron las políticas energéticas vigentes con temas tales como la esquilma de los recursos naturales, el deterioro irreversible del medio ambiente o las reacciones con el tercer mundo.

La historia de la Energía aconseja no perder de vista que no pueden ser sólo argumentos tecnológicos los que presidan las decisiones, ya que por ser tan intensas las interrelaciones entre energía y modelo de sociedad, es preciso que se produzcan en un amplio debate ciudadano.

Hacia una Ley de la Conservación de la Energía

Durante la primera mitad del siglo XIX, una serie de contribuciones diversas mostraron que existía una relación entre el calor y otras formas de energía. La conservación de la Energía cinética en calor, como ocurre al martillar un clavo sobre un yunque, era de general conocimiento; lo mismo ocurría con la liberación de calor en las reacciones químicas.

En la fábrica de cañones, Rumford aseguraba: "Puede obtenerse más calor usando mas pienso para la alimentación de los caballos". Todo iba como en una circunferencia: la Energía química almacenada en las moléculas de forraje vigorizaba a los caballos, los cuales realizaban trabajo en la maquinaria que movía la perforadora contra la piedra de latón, que se calentaba por rozamiento.

En 1842 se reunieron en un ensayo diversas ideas básicas sobre la interconexión del calor y el trabajo. Fue escrito por el joven y desconocido médico alemán J.R.Mayer (1814-1878). Con un estilo atrevido, especulativo, propuso las distintas formas de energía

Son cuantitativamente indestructibles y cualitativamente Convertibles; todas las manifestaciones de la energía (potencial, cinética, trabajo, calor) son transformables unas en otras y la energía como un todo se conserva.

Su ensayo no tenía, una confirmación experimental exacta y fue ridiculizado por ello y tildado de aficionado. Esto, unido a la muerte de dos de sus hijos, provocó en Mayer trastornos mentales. Casi al final de su vida se recuperó y fue testigo del triunfo de sus ideas, recibiendo el reconocimiento que merecía.

Una vez establecido que trabajo y calor son manifestaciones de una misma cosa -la Energía-, el paso siguiente fue encontrar una relación cuantitativa, numérica, entre los mismos. Apareció, entonces, el importante trabajo del científico "amateur" Joule.

James P. Joule (1818-1889) fue un prospero cervecero de Manchester que se dedicó a la ciencia desde una temprana edad. Europa, en los años 1830, se encontraba en pleno apogeo de la revolución tecnológica. La industria dependía de la máquina de vapor para obtener la potencia mecánica generada por el calor suministrado por los combustibles. Faraday había descubierto la inducción electromagnética y los primeros generadores de corriente eléctrica. En esta atmósfera, Joule concibió la idea, sostenida simultáneamente por otros investigadores, de una posible relación cuantitativa entre el trabajo y el calor.

Joule realizó una serie de experimentos, cada vez más exactos, sobre la producción de calor en el agua por efecto del rozamiento. El aparato que utilizó estaba formado por una rueda de paletas de latón que giraban horizontalmente en un recipiente lleno de agua. El movimiento de la rueda se conseguía por medio de las pesas que caían. El trabajo efectuado por el peso al caer se transformaba por fricción en calor, con lo que se elevaba la temperatura del agua.

Se observó que la cantidad de calor producido por fricción de los cuerpos, tanto sólidos como líquidos, era siempre proporcional a la cantidad de energía gastada. Joule encontró la siguiente equivalencia:

$$1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$$

la cual expresa la unidad de energía actual: el Julio o el Joule, denominada así en su honor.

En los últimos años de la década de 1860 el calórico era ya un concepto moribundo. Las experiencias de Joule aportaron un argumento definitivo a favor de la idea que:

El calor es una forma de transferir energía de un cuerpo a otro (Ayensa & Molledo, 1991).

Ley de la Energía

La energía es la entidad fundamental, común a todas las formas de Materia que se encuentran en la Naturaleza y solo se manifiesta cuando pasa de un cuerpo a otro, es decir, cuando se transforma.

La energía es lo que hace todo posible, cualquier actividad física y biológica. Sin energía no podrían funcionar las maquinas, y la vida de las plantas, de los animales y del hombre no sería posible (Brown & Lemay *et al*, 2004).

La energía se hace evidente cuando los cuerpos interactúan o están en movimiento. Entre las formas más familiares de energía están la luz, el calor, la electricidad.

Después de todos los experimentos y teorías mencionadas, los científicos estuvieron en condiciones de enunciar la ley de conservación de la energía en su forma más general, incluyendo los procesos térmicos; dicha ley es

En todos los procesos Naturales se cumple el principio de conservación de energía, el cual establece: que cuando un cuerpo cede energía a otro, la energía que pierde el primero es igual a la energía ganada por el segundo.

“La energía no se crea ni se destruye solo se Transforma”

En otro contexto, esta Ley fundamental también se conoce como Primera Ley de la Termodinámica (Ayensa & Molledo, 1991).

Una característica muy importante de la Energía es que se puede transferir de un cuerpo a otro. Por ejemplo:

- Un muelle comprimido dejado en libertades capaz de poner en movimiento a una bolita en contacto con él. La bolita adquiere entonces energía a costa de la energía contenida en el muelle comprimido.
- Al abrir las compuertas de un embalse, el agua en movimiento es capaz de mover las paletas de una turbina y producir así corriente eléctrica.
- Se hace explotar un cartucho de dinamita y la temperatura de los alrededores aumenta.

Se entiende por energía la capacidad que tienen los cuerpos para la interacción. Dicha capacidad es transferible entre ellos y puede adoptar distintas formas.

En los procesos físicos, la energía de un sistema no permanece constante, sino que aumenta o disminuye a medida que se producen transferencias de energía hacia el

sistema. Los sistemas sólo tienen energía, no tienen trabajo almacenado ni calor retenido, pero cuando esta energía es transferida a otros sistemas, ya no se denomina así -Energía-, sino que se emplean los términos trabajo y calor para medir los cambios producidos en la energía del sistema. En resumen: trabajo y calor son dos conceptos análogos; representan formas de medir la energía transferida desde o hacia un sistema.

Existen distintas formas de energía, como la energía química, la energía sonora, la energía cinética, la energía electromagnética, la energía eólica y la energía nuclear. Siempre que la energía de un sistema cambia, se puede explicar el cambio por la aparición o desaparición de energía en algún otro lugar. Esta observación experimental es la ley de la conservación de la energía, una de las más importantes y fundamentales leyes de toda la ciencia. Aunque la energía se transforme de una forma en otra, nunca se crea o se destruye (Tripler & Mosca, 2005).

Puede comprenderse a la energía como la capacidad para provocar el movimiento de la materia. Unidas, la materia y energía le dan forma a nuestro mundo y al Universo: la materia es palpable, la energía no, pero una es la que mueve a la otra y la cambia. No hay que olvidar que la materia se transforma, y cuando lo hace, de una forma u otra interviene la energía. Entre esas transformaciones las más evidentes son los cambios de estado de agregación y otras miles más las cuales hacen posible nuestra existencia (Sosa, 2011).

Ley de Conservación de la Materia

La idea de que la materia está compuesta en última instancia por partículas discretas, es muy antigua. Cerca del año 400 a. C se enunció esta idea en los escritos de Demócrito, filósofo griego, quien aparentemente había sido iniciado en ella por su maestro, un hombre llamado Leucipo. La idea fue rechazada por Platón y Aristóteles, no siendo sino hasta el año 1650 cuando se presentó de nuevo, esta vez por el físico italiano Gassendi. Sir Isaac Newton (1642-1727) apoyó las argumentaciones de Gassendi.

Antes de 1800, la idea de que la materia es particulada por naturaleza se basó en gran parte de la intuición de quienes se adherían a tal idea. Después, en 1808, un maestro inglés de escuela, John Dalton, empleando su notable percepción científica, formuló una explicación de muchas de las leyes hasta entonces desconocidas en química, que desde entonces se conocieron como teoría atómica. Algunas de las ideas de Dalton tuvieron que descartarse cuando los químicos conocieron la estructura

de la materia, pero los puntos esenciales de su teoría han soportado la prueba del tiempo.

Tres de los principales postulados de Dalton, que ahora forman la moderna teoría atómica, se dan a continuación con ejemplos, para ilustrar el significado de cada uno.

1. *Un elemento está compuesto de partículas extremadamente pequeñas llamadas átomos. Los átomos de un mismo elemento exhiben todas propiedades químicas idénticas.* El elemento oxígeno está compuesto de átomos de oxígeno. Estos átomos son en realidad muy pequeños; tienen un diámetro del orden de 10^{-8} cm y una masa de aproximadamente 10^{-23} g. todos los átomos de oxígeno se comportan desde el punto de vista químico en la misma forma.
2. *Los átomos de diferentes elementos tienen diferentes propiedades químicas. Ningún átomo de elemento, en el curso de una reacción química ordinaria, desaparece o se cambia en un átomo de otro elemento.* El comportamiento químico de los átomos de oxígeno es diferente del de los átomos de hidrógeno o del de cualquiera otra clase de átomos. Cuando se combinan mutuamente las sustancias elementales oxígeno e hidrógeno, todos los átomos de hidrógeno y todos los átomos de oxígeno que reaccionan se encuentran presentes en el agua formada, y en el proceso no se han formado átomos de cualquier elemento.
3. Se forman las sustancias compuestas cuando se combinan átomos de más de un elemento. En un compuesto puro dado, los números relativos de átomos de los elementos presentes son definidos y constantes. En general, estos números relativos pueden expresarse como enteros o como fracciones simples. En la sustancia compuesta agua, están combinados mutuamente átomos de oxígeno y átomos de hidrógeno. Por cada átomo de oxígeno presente, hay siempre dos átomos de hidrógeno. El amoníaco, un compuesto gaseoso de nitrógeno e hidrógeno, contiene siempre tres átomos de hidrógeno por cada átomo de nitrógeno.

La teoría atómica da una explicación sencilla de dos de las leyes básicas de química:

1. La **ley de la conservación de la masa**, la cual en su forma moderna, estipula que no hay cambio perceptible de masa en una reacción química ordinaria. Si los átomos se “conservan” en una reacción (postulado 2), también debe conservarse la masa.

2. La **ley de la composición constante**, que dice que un compuesto, sea cual sea su origen o el método de su preparación, siempre contiene los mismos elementos en la misma proporción por peso. Se ve claramente que si se fija la razón o proporción de átomos de los elementos de un compuesto (postulado 3), sus proporciones por peso también deben ser fijas (Masterton, 1979).

Primeras Ideas sobre la Materia

Desde el tiempo de los filósofos griegos -siglo VI a. de C.- el mundo ha estado intrigado por conocer la estructura de la materia. Para explicar cómo está formada la materia se han llegado a proponer básicamente dos modelos:

- ✿ Por una parte, se puede con las manos cortar o subdividir trozos de materia tan grandes como una roca o una gran cantidad de agua en partes más y más pequeñas, hasta que la diferencia de los instrumentos empleados obligue a detener la operación. Por consiguiente, se puede concluir que la materia es infinitamente divisible o, dicho de otra forma, que la materia es continua, es decir, llena todo el espacio que ocupa.
- ✿ Por otra parte, frente a la imagen anterior, no es difícil suponer que si la subdivisión de un trozo de materia se lleva suficientemente lejos, se llegará a partículas que no pueden subdividirse o cortarse de nuevo. Deduciendo así que la materia está formada por partículas.

Este segundo modelo fue propuesto y desarrollado hace 2400 años por los filósofos griegos Leucipo (?-430 a. de C.) y Demócrito (460-371 a. de C.) y extendido posteriormente por Epicuro (341-270 a. de C.), la materia, suponían ellos, es realmente divisible mas allá de la experiencia diaria, pero, en último término, consta de partículas indivisibles que provisionalmente podrían llamarse corpúsculos o átomos (átomo del griego que significa "indivisible").

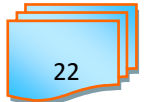
Los átomos tenían propiedades distintas a los cuerpos grandes, estos estarían formados por agrupaciones de átomos. Los átomos flotarían en el vacío, es decir, la existencia de átomos llevaría consigo la existencia del vacío. Demócrito pensaba que los cuerpos que parecían continuos estaban en realidad formados por cuerpos discretos, individualizados. Así, por ejemplo, la arena del mar parece de lejos un cuerpo continuo pero de cerca se ve que está formado por un número muy grande de arenillas. Sería lógico pensar también que el agua de mar está formada por partículas pequeñas. Y lo mismo para el resto de las sustancias. Estas ideas fueron

recogidas por el poeta romano Lucrecio (98-53 a. de C.) en su obra “De rerum natura”:

“Toda la naturaleza, tal como existe, se compone de dos cosas: los cuerpos y el vacío en el cual estos cuerpos están situados y en cuyo seno se mueven...”

El atomismo griego carecía de las características esenciales de una teoría científica: no estaba fundamentada o comprobada por hechos experimentales. Puesto que era interpretación con base en conjeturas podía ser destruida por más conjeturas. Filósofos como Platón (427-347 a. de C.), Aristóteles (348-322 a. de C.) y muchos de sus seguidores rechazaron el atomismo y, debido a su influencia social, esta teoría se dejó a un lado prevaleciendo la de la continuidad de la materia. Sin embargo, el atomismo no fue olvidado, aunque se tardó más de 20 siglos en demostrar su validez.

En el siglo XVII la química intentó desembarazarse de toda idea sobre las fuerzas ocultas o misteriosas e intentó explicar la naturaleza sobre una base mecánica, estos modelos mecánicos postulaban la existencia de pequeños cuerpos sólidos e indivisibles que permiten dar cuenta de algunas propiedades de la materia. No obstante, aunque los teóricos podían asignar propiedades particulares, como forma o elasticidad, a sus átomos, estas propiedades no podían probarse mediante experimentos cuantitativos (Ayensa & Molledo, 1991).



Atomismo: Segundo Advenimiento

La segunda cita muestra una serie de razones a favor del atomismo:

“La mortaja que oscureció el atomismo a lo largo de la Edad media se desvaneció cuando la física aristotélica inició su caída a comienzos del siglo XVII. Torricelli, discípulo de Galileo en los últimos meses de la vida del maestro, creó un vacío bastante aceptable en un tubo de vidrio sobre una columna de mercurio y, en 1650, von Guericke construyó la primera bomba mecánica de vacío. Los gases podían comprimirse y expandirse como si estuvieran constituidos por partículas discretas separadas en el vacío por grandes distancias sujetas a cambio”.

La elasticidad del aire condujo a Boyle a abrazar al atomismo cómo fue posible apoyando la explicación de los resultados de sus experimentos “fisicomecánicos”.

Otros encontraron evidencia favorable a la hipótesis atómica en la regularidad de las formaciones cristalinas, que implicaban una estructura oculta bajo la superficie visible. Hooke dijo en 1665 que ciertas estructuras cristalinas aparecían por el



empaquetamiento compacto de diminutas partículas constituyentes de forma esférica: los átomos se apilaban, capa sobre capa, como bolas de cañón.

Otros se convencían por la naturaleza de los procesos de mezcla. El hecho de que los granos de sal se disuelvan y desaparezcan en el agua, sugiere que los líquidos no son continuos sino que poseen espacios vacíos. Un vaso de alcohol combinado con uno de agua se acomoda para formar algo menos que los dos vasos separados de nuevo, los átomos parecen deslizarse unos entre otros, llenando huecos. Una gotita de tinta o tintura echada en un vaso de agua se distribuye lenta y uniformemente por sí misma, sugiriendo que las partículas se mezclan unas con otras: una mezcla de átomos en movimiento que colisionan.

Entre los creyentes se incluían Galileo, Gassendi, Bacon, Boyle, Hooke, Newton y Leibniz por no citar más que a unos pocos, pero la evidencia cuantitativa era bastante menos impresionante que la lista de seguidores. Aunque el atomismo era una descripción muy atractiva, parecía estar más allá de la posibilidad de comprobación, y esto redujo su utilidad, cuando no su credibilidad. Los pequeños granitos no habían dejado todavía ninguna marca que pudiera ser cuantificada (Hecht, 1987).

El Átomo Químico

El primer enunciado científico de una teoría atómica se debe al químico inglés John Dalton (1766-1844). Dalton fue un auténtico autodidacta; hijo de un tejedor manual, tuvo que mantenerse pobremente como maestro y tutor general de Manchester; poseía una fuerte iniciativa y rica imaginación, pero lo más notable era su extraordinaria intuición que le llevó a importantes conclusiones. La “hipótesis” atómica de Dalton, publicada bajo el título “Nuevo sistema de filosofía Química”, puede resumirse en los siguientes puntos:

♣ **La materia consta de átomos indivisibles.**

“La materia -escribe Dalton-, aunque divisible en un grado extremo, no es infinitamente divisible. Esto es, debe haber un punto más allá del cual no podemos ir en la división de la materia... Yo he elegido una palabra átomo para representar estas últimas partículas...”

♣ **Cada elemento consta de una clase característica de átomos idénticos.**

Existen consecuentemente tantas clases diferentes de átomos como elementos; los átomos de un elemento “son perfectamente semejantes en masa y figura”. Aquí Dalton simplificaba más que los primitivos

atomistas, que consideraban átomos de diferentes dimensiones, en un mismo elemento. Nótese que Dalton da al concepto una especificidad que hasta entonces no había tenido.

♣ **Los átomos son invariables.**

Los átomos de los diferentes elementos “nunca pueden transformarse los unos en los otros por ninguna potencia que podamos controlar”. Dalton recogía así la impotencia de la alquimia para obtener el elixir de la “eterna juventud” o la “piedra filosofal” que serviría para transmutar otras sustancias en oro.

♣ **En las reacciones químicas, los átomos ni se crean ni se destruyen, solamente cambia su distribución.**

“Ninguna nueva creación o destrucción de la materia está dentro del alcance de los agentes químicos... Todos los cambios que se pueden producir consisten en la separación de partículas que están en estado de cohesión o combinación y en la unión de aquellas que previamente estaban distanciadas” (Mellor, 1955).



Ley de Lavoisier

Lavoisier realizó decenas de experimentos que incluían todas las reacciones conocidas, llegando siempre, con la indiscutible evidencia de la balanza, a la misma conclusión:

*“En las reacciones que ocurren dentro de un recinto cerrado la ganancia experimentada por cualquier parte del sistema está contrarrestada por la pérdida del resto del mismo, es decir, **la masa total dentro del sistema permanece constante**”.*

Este enunciado corresponde a la Ley de la conservación de la masa; en palabras de Lavoisier escribió en 1789:

“Debemos considerar como un axioma incontestable que en todas las operaciones del Arte y la Naturaleza nada se crea; la misma cantidad de materia existe antes y después del experimento... y no ocurre otra cosa que cambios y modificaciones en la combinación de estos elementos. Todo el arte de realizar experimentar químicos depende de este principio”.

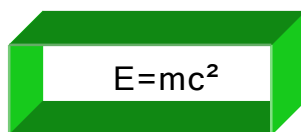


En 1794, declarado convicto, por increíble que parezca, de haber echado “agua al tabaco del pueblo”, Lavoisier fue decapitado en nombre de la razón y la República. Como muchos ricos, Lavoisier había invertido en la odiada “Ferme Générale”, una corporación privada recaudadora de impuestos que estafó y oprimió a las clases populares. Esto y unos pocos enemigos bien situados, en especial el periodista Jean-Paul Marat, consiguieron que aquel brillante, soberbio y arrogante aristócrata acabara de forma repentina su estancia en la Francia Revolucionaria (Ayensa & Molledo, 1991).

Lavoisier fue el primero en sistematizar el estudio de las reacciones químicas y enunció en 1875 la ley de conservación de la materia:

“En toda reacción química la masa total de los reactivos es igual a la masa total de los productos obtenidos”

Esta ley es cierta pero incompleta ya que materia y energía son conceptos interrelacionados, y la materia puede transformarse en energía según la ecuación de Einstein:


$$E=mc^2$$

Por tanto, la que se ha de considerar como cierta es la de Einstein: “En todo sistema, la suma de materia y energía permanece constante”.

Uno de los grandes descubrimientos que hizo Albert Einstein a principios del siglo XX es que la energía puede transformarse en masa y la masa puede transformarse en energía. Así, la masa es una forma de energía. La cantidad de energía contenida en una cantidad m de masa se obtiene con la famosa fórmula de Einstein, donde c es la rapidez de la luz en el vacío, $c = 3 \times 10^8$ m/s. esta fórmula es una consecuencia de la física relativista de Einstein (Ohanian & Markert, 2009).

Es posible considerar entonces que la Energía y la Materia son indestructibles solo son parte de la Transformación.

La forma en que las partículas que constituyen una sustancia se reúnen o agregan determina una buena parte de las propiedades físicas y, entre ellas, su estado sólido, líquido o gaseoso. Las leyes que rigen el comportamiento de la materia en la escala ordinaria de observación pueden ser explicadas a partir de teorías que hacen

referencia a las interacciones entre sus componentes elementales. Sometida a condiciones extremas, la materia puede pasar a estados físicos muy especiales; tal es el caso del plasma y de la materia constitutiva de las estrellas de neutrones.

La materia se presenta esencialmente, en nuestro planeta, bajo tres formas o estados de agregación diferentes: el estado sólido, el estado líquido y el estado gaseoso. Cada uno de estos tres estados presenta unas propiedades directamente observables que le son características. Así los sólidos poseen una forma y volumen propios; los líquidos, por su parte, aunque adoptan la forma del recipiente que los contiene, poseen un volumen propio que se mantiene prácticamente constante aun en el caso de ser sometidos a presiones exteriores considerables. Los gases, sin embargo, adoptan la forma del recipiente y además ocupan todo su volumen interior. A continuación se hará énfasis en la clasificación de los estados de agregación de la materia. (Partington, 1952).

Estados Físicos de la Materia

La materia es el material físico del universo; es todo lo que tenga masa y ocupe espacio. Una propiedad es cualquier característica que nos permita reconocer un tipo particular de materia y distinguirla de otros tipos. No todas las formas de materia son tan comunes o tan familiares. Innumerables experimentos han demostrado que la enorme variedad de materia de nuestro mundo se debe a combinaciones muy básicas, o fundamentales, conocidas como elementos. La química también proporciona los antecedentes para comprender las propiedades de la materia en términos de átomos, los bloques de construcción infinitesimalmente más pequeños de la materia. Los átomos se pueden combinar para formar moléculas en las que dos o más átomos se unen en formas específicas. Incluso las diferencias aparentemente pequeñas en la composición o estructura de las moléculas pueden ocasionar grandes diferencias en sus propiedades. Una de las propiedades principales de la materia es su estado físico.

Una muestra de materia puede ser un gas, un líquido o un sólido. Estas tres formas de materia se conocen como estados físicos de la materia. Estos estados de la materia difieren en algunas de sus propiedades observables más simples. (Brown & Lemay *et al*, 2004)

Las diferentes sustancias pueden distinguirse unas de otras por sus propiedades, siendo la más clara su estado físico: sólido, líquido o gaseoso. También es posible distinguir entre sí muchos cuerpos que tengan el estado físico. Semejantes diferencias



se expresan diciendo que los cuerpos difieren en su composición. Al empezar el estudio de la química se tienen un gran número de sustancias nuevas. Los sólidos pueden distinguirse por el color, por ejemplo sulfato de cobre azul, sulfato ferroso verde, dicromato de potasio rojo, alumbre de cromo púrpura oscuro. También existen diferencias en sus densidades como entre nitrato de plomo y aluminio; el primero es de mayor peso, a igual volumen, que el segundo.

Los líquidos se distinguen por el color, la densidad y el punto de ebullición. Algunos tienen olores característicos. El punto de congelación de un líquido puro es, generalmente, el mismo que el punto de fusión del sólido que resulta de él por enfriamiento. Ciertos líquidos fluyen con menos facilidad que otros, es decir tienen mayor viscosidad.

La existencia de distintas clase de gases no se advirtió hasta 1765-1775, cuando Cavendish y Priestley distinguieron varios gases que se diferencian del aire atmosférico. Las diferencias son claras si se comparan recipientes conteniendo los siguientes gases: oxígeno, hidrógeno, dióxido de carbono, óxido nítrico y cloro.

A simple vista se aprecia que el cloro tiene un color amarillo verdoso mientras que los otros gases son incoloros. Así pues, los gases difieren en densidad, color, capacidad para alimentar la combustión, combustibilidad (Keenan, 1992).

Los Gases

Un primer intento de explicar el estado gaseoso fue suponer que las moléculas de las sustancias se hinchaban, por lo que ocupaban un mayor volumen. Este modelo fue admitido por científicos tan relevantes como Dalton (1766-1825). Dado que las sustancias para pasar al estado gaseoso necesitan que se les suministre calor y éste se consideraba entonces como una sustancia -el calórico-, Dalton se explicaba el paso al estado gaseoso como un aumento del volumen de las partículas debido a que el calor se colocaba alrededor de las mismas, produciendo el consabido aumento de volumen. Suponía, además, que las partículas estaban esencialmente en reposo con sus capas de calórico en contacto.

Otro modelo para explicar las propiedades de los gases, que ya había sido propuesto por Boyle (1627-1691) y que fue más quepreciado por el físico suizo Bernoulli (1654-1705) en el siglo XVIII, era suponer que el gas estaba formado por numerosas partículas que se movían rápidamente en todas las direcciones chocando unas con otras y también con las paredes del recipiente. Bernoulli consideraba estas colisiones

como perfectamente elásticas, la energía cinética de las moléculas se conservaba y el movimiento podía continuar indefinidamente.

El aire, formado por oxígeno y nitrógeno, es una mezcla de gases; el hidrógeno, obtenido en muchas reacciones de ácidos con metales, es también un gas. Los gases son fluidos que se caracterizan por su compresibilidad y expansibilidad. Un gas (también conocido como vapor) no tiene volumen o forma fija; en cambio, ocupa el volumen y toma la forma de su recipiente. Un gas puede comprimirse para que ocupe un volumen más pequeño, o puede expandirse para que ocupe uno más grande. En un gas las moléculas están muy separadas y se mueven a altas velocidades, colisionan repetidamente entre sí y con las paredes. Al comprimir un gas disminuye el espacio entre moléculas y se incrementa la frecuencia en las colisiones entre ellas, pero no altera el tamaño o forma de estas (Mellor, 1955).

- Los gases están constituidos por moléculas que se mueven de forma rápida y continua en todas direcciones y al azar.
- Las moléculas chocan entre sí y con las paredes del recipiente que las contiene de forma elástica, sin perder energía.
- Las fuerzas de atracción entre las moléculas de los gases son nulas.
- El volumen ocupado por la masa de gas es inapreciable en relación al volumen del recipiente.

Por muchas razones, los gases representan la forma de la materia que es más fácil entender. Aunque muchas sustancias gaseosas distintas pueden tener propiedades químicas muy diferentes, se comportan de forma muy similar en lo que respecta a sus propiedades físicas. El aire es una mezcla compleja de varias sustancias, principalmente Nitrógeno (N_2 78%) y Oxígeno (O_2 21%), con pequeñas cantidades de otros gases, incluyendo el Argón (Ar 0.9%). Los seres humanos respiran aire para absorber oxígeno, O_2 , que sostiene la vida.

En varios aspectos, los gases difieren significativamente de los sólidos y los líquidos. Por ejemplo, un gas se expande en forma espontánea para llenar el recipiente que lo contiene. Los gases también son muy compresibles: cuando se aplica cierta presión a un gas, su volumen disminuye con facilidad. Por otra parte los líquidos y los sólidos no se expanden para llenar los recipientes que los contienen, y tampoco se comprimen con facilidad.

Los gases forman mezclas homogéneas unos con otros, independientemente de las identidades o proporciones relativas de los gases componentes. La atmósfera es un

ejemplo excelente. Como otro ejemplo, cuando se mezcla agua con gasolina, ambos líquidos permanecen como capas separadas. En cambio, el vapor de agua y los vapores de gasolina que se encuentran por encima de los líquidos forman una mezcla de gases homogénea (Albir, 2005).

Las propiedades características de los gases se deben a que las moléculas individuales se encuentran relativamente separadas. Por ejemplo, en el aire, las moléculas ocupan alrededor del 0.1 % del volumen total, y el resto es espacio vacío. Así, cada molécula se comporta en gran medida como si las demás no estuvieran presentes. Como resultado, diferentes gases se comportan de forma similar, aunque estén formados por moléculas distintas. Por el contrario, las moléculas individuales de un líquido se encuentran muy cercanas unas de otras, y quizá ocupan 70% del espacio total (Keenan, 1992).

Líquidos

Al enfriar un gas y al aumentar la presión sobre él, éste puede llegar a licuarse. Los líquidos tienen la propiedad de la volatilidad, es decir, capacidad para evaporarse, que aumenta con la temperatura. Si a una determinada temperatura se deja evaporar un líquido en un recipiente cerrado, las moléculas evaporadas ejercerán una presión, la presión de vapor, que aumenta con la temperatura y que, al igualarse con la atmosférica, alcanza el punto de ebullición.

El estado líquido consiste de moléculas o, en ciertos casos, de átomos o iones que se unen al azar en forma relativamente cercana. Sin embargo, el estado líquido es dinámico, y las moléculas se mueven al azar a distancias cortas chocando con otras moléculas y con el recipiente. Estas colisiones no causan pérdida en la energía cinética, pero sí un intercambio de esta energía al chocar. Las fuerzas de atracción son más importantes a bajas temperaturas que a altas. Algo que debe recordarse sobre el estado líquido es que consiste de un agregado de partículas empacadas muy cercanas que se encuentran en movimiento constante y al azar (Dickson, 2005).

Las moléculas de un líquido se mueven todo el tiempo, pero sus movimientos están restringidos por las moléculas vecinas. Se les puede comprimir solo ligeramente. Un líquido se difunde en otro, pero esta difusión es mucho más lenta que en los gases debido al movimiento molecular restringido de los líquidos (Burns, 2011).

Un líquido tiene un volumen definido, independiente de su recipiente, pero no tiene forma específica. Un líquido toma la forma de la parte que ocupa del recipiente. En un líquido las moléculas están más cercanas unas de otras pero aún se mueven

rápidamente. Este rápido movimiento permite que se deslicen unas sobre otras; así, un líquido fluye con facilidad.

El aumento de volumen se manifiesta en los líquidos al calentarlos. En general se dilatan más que los sólidos. El fenómeno de la dilatación de los líquidos es la base de la construcción de los termómetros, tanto de mercurio como de alcohol (para calibrar el termómetro se establecen los puntos más significativos, 0 °C en el punto de fusión del agua y 100 °C como punto de ebullición). Al contrario que la mayoría de los líquidos, el agua no se dilata siempre que se calienta y se contrae cuando se enfría. Entre 0 y 4 °C, el agua se contrae en lugar de dilatarse. A partir de 4 °C sigue el comportamiento normal. Por este motivo se dice que la densidad del agua es 1 g/cm³ a 4°C (Brown & Lemay *et al*, 2004).

La simple visión del estado líquido como una colección de moléculas que se mueven constantemente y que interactúan, se utiliza para describir y racionalizar algunas de las propiedades de los líquidos. Debido a la libertad en el movimiento y a las fuerzas de atracción que existen entre las moléculas, todos los líquidos fluyen. Por ejemplo, una muestra de un líquido puede fluir (al verterla) de un envase a otro. Las fuerzas de atracción permiten que el agregado de moléculas se transfiera como un cuerpo. Sin embargo estas mismas fuerzas ocasionan que un líquido exhiba cierta resistencia a fluir, la cual se conoce como viscosidad. Ciertos líquidos como los aceites, son viscosos, mientras que otros poseen viscosidades muy bajas y fluyen fácilmente. La viscosidad de un líquido depende de la naturaleza de sus partículas. La viscosidad es grande a temperaturas bajas, ya que las fuerzas de atracción dominan sobre las fuerzas cinéticas.

Las fuerzas de atracción ejercen gran influencia sobre el comportamiento del estado líquido. Dentro del líquido, una molécula determinada es atraída por igual por las moléculas que lo rodean. Las moléculas que se encuentran en la superficie del líquido son atraídas únicamente por las moléculas que están debajo de ellas y a los lados. Como resultado de ello, las moléculas de la superficie experimentan la acción de fuerzas de atracción desequilibradas. Esta atracción no equilibrada origina un “empuje” hacia adentro que tiende a jalar a las moléculas hacia el interior del líquido. Como consecuencia, la superficie del líquido está bajo cierta tensión, la cual se llama tensión superficial del líquido. La superficie de un líquido está bajo tensión, y se debe ejercer una fuerza para penetrar la superficie en los líquidos con alta tensión superficial.

Cuando se ejerce una fuerza sobre un líquido, ocurre un pequeño cambio en su volumen. Los líquidos son esencialmente incompresibles ya que es muy pequeña la cantidad de espacio libre entre moléculas en el estado líquido (Dickson, 2005).

Sólidos

En los sólidos las partículas (átomos, moléculas o iones) se hallan tan próximas unas de otras que es muy poca la compresión posible. Los movimientos de las partículas en los estados líquido y sólido difieren de modo apreciable. En los líquidos, las partículas se encuentran en movimiento constante, aunque restringidos en cierta medida. En los sólidos, las partículas se mueven muy poco, a partir de una suave vibración en torno a un punto fijo. En consecuencia, en los sólidos la difusión es sumamente lenta. Elevar la temperatura aumenta el vigor de las vibraciones de un sólido, y si éstas llegan a ser la energía suficiente, el sólido se transforma en líquido, es decir, se funde (Burns, 2011).

Los sólidos son rígidos, difíciles de deformar y con enormes fuerzas atractivas entre sus partículas que sólo permiten movimientos de vibración entre ellas. Poseen energía potencial alta y energía cinética baja. En el cero absoluto, la materia está totalmente inmóvil y en estado sólido. En un sólido las moléculas están firmemente unidas entre sí, por lo general en arreglos definidos dentro de los cuales las moléculas solo pueden moverse ligeramente de sus posiciones fijas.

La naturaleza de las partículas que ocupan las posiciones en la red cristalina determina la naturaleza del sólido. Es decir, las partículas pueden ser iones, átomos o moléculas. En cualquier caso, las partículas se colocaran en un arreglo dictado por las fuerzas de atracción que existen entre las partículas.

Un sólido se puede visualizar como un arreglo espacial definido de partículas químicas que dan una forma específica a la sustancia en el estado sólido. Algunos sólidos son suaves y flexibles, otros son quebradizos, y otros son rígidos y resistentes a la deformación.

Para fundir un sólido como el hielo, se debe calentar hasta alcanzar el punto de fusión. Para fundir la muestra completa, se debe continuar calentando hasta que todo el sólido cambia a líquido. Al calentar un sólido, las partículas constituyentes ganan energía cinética.

Por supuesto, este cambio del estado sólido al estado líquido ocurre en el punto de fusión del sólido. Cuando una sustancia cambia de un estado físico a otro se dice

que ha sufrido un cambio de fase. El término “fase” se refiere al estado sólido, líquido o gaseoso. Un cambio de fase como la fusión requiere de energía para permitir que las partículas abandonen sus posiciones en la red cristalina y pasen del estado líquido en el cual las posiciones están menos definidas (Dickson, 2005).

Cuando un sólido se calienta, la energía suministrada se emplea en incrementar la energía cinética de vibración de las partículas; al alcanzar el punto de fusión, se vencen las fuerzas atractivas, las partículas adquieren más movilidad y es cuando el sólido se funde.

Los átomos de un sólido se mantienen unidos por la acción de fuerzas principalmente eléctricas, en posiciones específicas con respecto a otros átomos, y vibran alrededor de estas posiciones de equilibrio. Sin embargo, a bajas temperaturas, el movimiento vibratorio es ligero y se puede considerar que los átomos están fijos en esencia, pero cuando se comunica energía al material, aumenta la amplitud de las vibraciones. Un átomo en estado de vibración puede verse como fijo en su posición de equilibrio por medio de resortes unidos a átomos vecinos. Si un sólido se comprime por la acción de fuerzas externas, se pueden imaginar las fuerzas que comprimen estos diminutos resortes internos; cuando se eliminan estas fuerzas externas, el sólido tiende a regresar a su forma y tamaño originales. En consecuencia, se dice que un sólido tiene elasticidad.

Los sólidos se pueden clasificar como cristalinos o amorfos. Un sólido cristalino es aquel en el que los átomos tienen una estructura ordenada. En un sólido amorfo, por ejemplo el vidrio, los átomos están dispuestos al azar (Serway & Faughn, 2005).

Mezclas

La mayor parte de la materia que se conoce consiste en mezclas de diferentes sustancias. Cada sustancia de una mezcla conserva su propia identidad química y sus propiedades. En contraste con una sustancia pura que tiene una composición fija, la composición de una mezcla puede variar.

Algunas mezclas no tienen la misma composición, propiedades y apariencia en todos sus puntos. Al comparar dos porciones de granito se observa que pueden tener distintas propiedades, detectables a simple vista, en cuanto a forma y color. En otros casos, con la ayuda de una lupa o un microscopio se pueden ver las diferencias. Tanto en un caso como en otro se trata de mezclas heterogéneas, formadas por sustancias distintas fácilmente separables. Por tanto, son mezclas heterogéneas el

granito o el agua y la arena. En cambio, en una mezcla homogénea como el agua mineral, el agua del mar o el acero, no se distinguen sus componentes; en toda su extensión se detectan las mismas propiedades (Albir, 2005).

El aire es una mezcla compleja de gases como oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua. Incluso el agua pura de una fuente para beber contiene otras sustancias además de agua.

La mezcla puede definirse como algo que tiene composición variable. Las mezclas se pueden separar en sustancias puras: elementos, compuestos o ambos (Zumdahl, 2007).

Elementos y Compuestos

Las sustancias puras pueden ser elementos o compuestos. Los elementos son las sustancias fundamentales a partir de las cuales se construyen todas las cosas materiales. Los compuestos son sustancias puras constituidas por dos o más elementos combinados químicamente en proporciones constantes o fijas (Hill & Kolb, 1999).

Al estudiar los materiales que forman la Tierra (y otras partes del universo) los científicos han observado que toda la materia se puede descomponer químicamente en cerca de 100 elementos distintos. Parece sorprendente que los millones de sustancias estén formadas por tan pocos elementos fundamentales.

El oxígeno, además de constituir cerca del 20 % de la atmósfera terrestre (en donde se encuentra en forma de moléculas de O_2), se encuentra prácticamente en todas las rocas, arena y tierra de la corteza terrestre. En estos materiales el oxígeno no está en forma de moléculas de O_2 , sino formando compuestos que suelen contener átomos de silicio y de aluminio. Las sustancias conocidas en el mundo geológico como rocas y arena contienen grandes grupos de átomos de silicio y oxígeno unidos entre sí para formar grupos de gran tamaño.

El oxígeno, el carbono, el hidrógeno y el nitrógeno constituyen la base de todas las moléculas de importancia biológica. Algunos elementos presentes en el cuerpo humano son indispensables para la vida, aunque estén presentes en cantidades diminutas. Por ejemplo el cromo ayuda al cuerpo a procesar los azúcares para obtener energía (Zumdahl, 2007).

Reacciones Químicas

Ley de la Conservación de la Masa: La Química debe su categoría de ciencia experimental a Antonie Lavoisier. A finales del siglo XVIII realizó múltiples y sistemáticas mediciones con la Balanza, obteniendo resultados cuantitativos sobre las reacciones químicas y llegando a la conclusión de que en toda reacción la masa final ha de ser la misma que la inicial; esto era difícil de medir en aquellas reacciones en las que intervienen gases.

La naturaleza es dinámica. Tanto la materia viva como la inerte sufren continuamente procesos de transformación, de los cuales los más importantes son los que afectan a su constitución. La formación de las rocas, la erosión química de las aguas, el nacimiento de una planta o la respiración de un mamífero son procesos observables que suponen cambios de unas sustancias en otras. Todos ellos, más allá de sus diferencias, tienen algo en común: implican transformaciones a escala molecular, que son las responsables de los cambios materiales observables a simple vista.

En otros casos los cambios no son tan marcados, y las propiedades de los materiales son solamente ligera y temporalmente modificadas. El agua al enfriarse se convierte en hielo, pero al calentar este se derrite y se vuelve a convertir en agua.

El material cambia si se alteran solamente unas cuantas propiedades y de modo temporal; entonces se llaman cambios físicos o si alcanzan una alteración completa de las propiedades y la formación de una materia distinta, entonces se llaman cambios químicos o reacciones químicas (Partington, 1952).

Las reacciones químicas son procesos de cambio de unas sustancias en otras. De acuerdo con la teoría atómica de la materia se explican como el resultado de un reagrupamiento de átomos para dar nuevas moléculas. Las sustancias que participan en una reacción química y las proporciones en que lo hacen, quedan expresadas en la ecuación química correspondiente, que sirve de base para la realización de diferentes tipos de cálculos químicos.

El proceso mediante el cual los átomos de una o más sustancias se reorganizan para conformar diferentes sustancias se denomina reacción química. Una reacción química es otro nombre dado a un cambio químico. Las reacciones químicas afectan cada parte de la vida; descomponen el alimento y producen la energía necesaria para vivir (Dingrando & Gregg *et al*, 2005).

Reacciones Aerobias

El oxígeno es indispensable para la vida de muchos organismos, de ahí que su captación y transporte eficaces a todos los tejidos sean vitales para que éstos cubran sus demandas metabólicas. En el curso de la evolución, los seres vivos han desarrollado diversas estrategias metabólicas para producir, utilizar o protegerse del oxígeno. Han surgido diversos compuestos, principalmente la hemoglobina, mioglobina y hemocianina, para captar y transportar el oxígeno a las diversas células del organismo.

A pesar de que el oxígeno es un gas tóxico y muy reactivo, se ha relacionado con el desarrollo de formas de vida complejas y con el de organismos pluricelulares. Al comienzo de la vida sobre la Tierra, la atmósfera prácticamente carecía de oxígeno. La abundancia atmosférica de este gas se debe al surgimiento de microorganismos fotosintéticos, que cuando en el medio se agotaron diversas fuentes de hidrógeno (hidrógeno, ácido sulfúrico, hidrógeno unido a moléculas orgánicas) desarrollaron una estrategia que les permitió romper las moléculas de agua y obtener hidrógeno para utilizarlo en la síntesis de compuestos orgánicos, mediante la cual, como producto de desecho, se eliminaba oxígeno. De este modo, este gas empezó a acumularse en el agua, el suelo y la atmósfera, hasta ser uno de los principales componentes de ésta última.

El oxígeno ocasionó la formación de la capa de ozono, lo cual redujo la cantidad de luz ultravioleta que alcanzaba la superficie terrestre y, por tanto, disminuyó la generación abiótica de compuestos orgánicos. Además, tiene una alta capacidad de oxidar a éstos últimos.

Los seres vivos tuvieron que adaptarse a esta atmósfera oxidante y abundante en oxígeno, por lo que desarrollaron la respiración aerobia como una nueva alternativa para producir energía. Debido a la alta eficacia de este proceso, pudieron desarrollarse células más grandes y formas de vida más complejas: primero los organismos eucarióticos; después, los pluricelulares.

El oxígeno atrapa electrones y genera especies reactivas, como los radicales libres de oxígeno y el agua oxigenada, que reaccionan rápidamente con los compuestos orgánicos. Debido a ello, los organismos capaces de tolerar al oxígeno no solo aprendieron a utilizar en la respiración, sino que adquieren enzimas degradantes de las especies reactivas de oxígeno, como las superóxido dismutasas, las catalasas y las peroxidasas.

El desarrollo de la respiración aerobia permitió a los seres vivos usar el oxígeno de una manera más eficaz en la oxidación de los nutrientes y producir una cantidad mayor de energía en forma de trifosfato de adenosina (ATP). La respiración aerobia puede definirse como reacción en la cual se da una combustión controlada que degrada moléculas orgánicas y genera agua y bióxido de carbono, en la cual la energía liberada se utiliza para producir compuestos de alta energía, como el trifosfato de adenosina.

Los organismos unicelulares y pluricelulares simples adquieren el oxígeno directamente del medio; sin embargo, los organismos pluricelulares más complejos tendieron a desarrollar sistemas de intercambio y transporte de gases que les permiten obtener el oxígeno del medio y llevarlo a todos los tejidos y células del organismo, además de intercambio por el bióxido de carbono, producto inútil de la respiración aerobia, y conducirlo al sistema de intercambio para eliminarlo al medio externo. Lo anterior originó el desarrollo del aparato respiratorio y del sistema circulatorio.

El intercambio de gases entre los organismos y el medio se vincula con los órganos de amplia superficie, como las branquias y los pulmones; mientras que para el transporte de oxígeno han surgido moléculas que se unen a él con alta afinidad, como las hemocianinas y hemoglobinas, las cuales se encuentran en los líquidos que fluyen en el sistema circulatorio de diversos animales, la hemolinfa o la sangre. (Hicks, 2007).

Las bacterias son los más versátiles de todos los organismos asociados con el tratamiento de aguas residuales en términos de las condiciones en las que puedan prosperar y los sustratos que pueden metabolizar. Sin lugar a dudas, son las bacterias el grupo más importante de organismos en los sistemas de tratamiento biológico, a pesar de los hongos, protozoos, y una gama de otros organismos invertebrados también juegan un papel importante, pero comparativamente menores.

Las bacterias forman el nivel trófico básico en todos los sistemas de tratamiento biológico y por lo tanto constituyen la mayor proporción de la biomasa, con la excepción de las lagunas de estabilización en las que las algas pueden predominar. Las bacterias dominantes son heterótrofos aerobios que degradan y, finalmente, mineralizan los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales a dióxido de carbono y agua. Es el pequeño tamaño de las bacterias y su gran área de superficie resultante en relación al volumen lo cual las hace tan eficientes, en términos de intercambio de nutrientes en el catabolismo, con el medio líquido en el que están

suspendidos o ya sea en contacto. Su corto tiempo de duplicación, el cual puede ser tan poco como 20 minutos en un cultivo puro, activa las bacterias para tomar rápidamente ventaja de una mayor disponibilidad de sustrato en comparación con otros organismos. Los protozoos, por ejemplo, tienen un tiempo medio de duplicación en el orden de 10 horas, aunque algunas especies tienen periodos de menos de 2 horas, como la *Tetrahymena piriformis* (Curds y Cockburn, 1971).

Reacciones Anaerobias

Cuando aumentó el número de células fotosintéticas, la atmósfera primitiva, carente de oxígeno, comenzó a oxigenarse. Dado que el O₂ es una molécula reactiva que puede interaccionar con muchos constituyentes citoplasmáticos, probablemente su presencia fue nociva para la mayoría de los organismos primitivos, como lo es hoy en día para las bacterias anaerobias. Sin embargo, esta reactividad del O₂ fue aprovechada por los procariotas en el curso de la evolución, y estos desarrollaron mecanismos mediante los cuales no solo han sido capaces de oxidar en mayor grado las moléculas que incorporan como nutrimentos, sino también de generar mayor cantidad de energía. Por ejemplo, en presencia de oxígeno, la glucosa puede ser completamente oxidada hasta CO₂ y agua, mientras que en su ausencia solo es transformada a lactato o etanol, que representan los productos finales de la glucólisis anaerobia. (Hicks, 2007).

El término glucólisis procede de las palabras griegas que significan “dulce” y “romper”. Literalmente, la denominación es correcta, puesto que la glucólisis es la ruta por medio de la cual los azúcares de seis carbonos (que son dulces) se rompen, dando lugar a un compuesto de tres carbonos, el piruvato. Durante la glucólisis, parte de la energía potencial almacenada de la estructura de hexosa se libera y se utiliza para la síntesis de ATP a partir de ADP. La glucólisis puede realizarse en condiciones anaerobias, sin oxidación neta de los azúcares sustrato. Los anaerobios, que son microorganismos que viven en ambientes sin oxígeno, pueden obtener toda su energía mediante esta reacción. No obstante, las células aerobias utilizan también la glucólisis. En estas células, la glucólisis es la parte anaerobia inicial de una ruta de degradación global que implica un considerable consumo de oxígeno y la oxidación completa de los hidratos de carbono. (Mathews & van Holde *et al*, 2009).

Muchos compuestos orgánicos tóxicos y recalcitrantes se degradan en condiciones aerobias, estos compuestos sirven como un sustrato de crecimiento en la fermentación y la producción final de metano. Ejemplos típicos incluyen compuestos aromáticos y alifáticos no halogenados que no son atacados fácilmente bajo condiciones anaerobias

y no sirven como sustratos de crecimiento. Por casualidad, muchos de estos compuestos sirven también como aceptores de electrones en las reacciones de reducción de oxidación aerobia. La mayor parte del trabajo y la aplicación de la degradación anaerobia de compuestos orgánicos clorados se han relacionado con la contaminación del subsuelo por disolventes clorados en sitios de desechos peligrosos. (McCarty, 1999).

Las reacciones anaerobias se definen como procesos en los que no está presente el oxígeno ni el nitrato. Estos procesos se llevan a cabo por un grupo grande y variado de microorganismos los cuales normalmente viven en una relación simbiótica. Las condiciones de energía son extremadamente complicadas y para muchas bacterias tan malas que es casi imposible de existir, pero que han sido exitosas en muchos casos.

Muchas de las bacterias son estrictamente anaerobias y por lo tanto no pueden tolerar el oxígeno en absoluto; esto es particularmente cierto para las bacterias de metano de formación.

La producción de gas en un proceso anaerobio está compuesta de metano, dióxido de carbono y de hidrógeno. El gas puede contener, además, nitrógeno libre y sulfuro de hidrógeno (Han & Dague, 1997).

En el proceso de fermentación, aminoácidos, azúcares y algunos ácidos grasos se degradan aún más. Los sustratos orgánicos sirven como donantes y aceptores de electrones. Los principales productos de fermentación son acetato, hidrógeno, CO₂, y propionato y butirato. El propionato y butirato se fermentan adicionalmente para producir también hidrógeno, CO₂, y acetato. Por lo tanto, los productos finales de la fermentación (acetato, hidrógeno y CO₂) son los precursores de la formación de metano (metanogénesis). El cambio de energía libre asociada con la conversión de propionato y butirato de acetato de hidrógeno requiere que el hidrógeno sea a bajas concentraciones en el sistema o la reacción no procederá (McCarty y Smith, 1986).

Los procesos de fermentación y oxidación anaerobios se utilizan principalmente para el tratamiento de residuos orgánicos de residuos de lodos y de alta resistencia. Sin embargo, las solicitudes de los flujos de residuos diluidos también se han demostrado y son cada vez más comunes. Los procesos de fermentación anaerobios son ventajosos a causa de los rendimientos de biomasa inferior y porque la energía, en forma de metano, que puede recuperarse de la conversión biológica de sustratos orgánicos (Han & Dague, 1997).

La comprensión de las actividades bioquímicas de los microorganismos es básica para el diseño de tratamiento biológico, para definir si se empleará un proceso aerobio o anaerobio. La clasificación de los microorganismos por las fuentes de carbono de celdas, donantes de electrones, aceptores de electrones, diferentes microorganismos pueden utilizar una amplia gama de aceptores de electrones, incluyendo oxígeno, nitrito, nitrato de hierro (III), sulfato, compuestos orgánicos, y dióxido de carbono. Los dos temas principales que se consideran son (1) las necesidades nutricionales generales de los microorganismos comúnmente encontrados en el tratamiento de aguas residuales, y (2) la naturaleza del metabolismo microbiano basado en la necesidad de oxígeno molecular.

La energía necesaria para la síntesis celular se puede suministrar por la luz o por una reacción de oxidación química. Las bacterias pueden oxidar compuestos orgánicos o inorgánicos para obtener energía. Aquellos organismos que son capaces de utilizar la luz como fuente de energía se llaman fototrofos. Los organismos fototróficos pueden ser heterótrofos (ciertas bacterias reductoras de azufre) autótrofos (algas y bacterias fotosintéticas). Los organismos que impulsan su energía con reacciones químicas se conocen como quimiotrofos. Al igual que con los fotótrofos, los quimiotrofos pueden ser heterótrofos (protozoos, hongos, y la mayoría de las bacterias) o autótrofos (bacterias nitrificantes). Los quimioautótrofos obtienen energía de la oxidación o compuestos inorgánicos reducidos, tales como amoníaco, nitrito, hierro (II), y sulfuro. Los quimioheterótrofos generalmente derivan su energía de la oxidación de compuestos orgánicos.

Los organismos que generan energía mediante la fermentación y que sólo pueden existir en un ambiente carente de oxígeno son anaerobios obligados. Los anaerobios facultativos tienen la capacidad de crecer en la presencia o ausencia de oxígeno molecular y se dividen en dos subgrupos, sobre la base de sus capacidades metabólicas. Los verdaderos anaerobios facultativos pueden pasar de fermentativo a metabolismo respiratorio aerobio, dependiendo de la presencia o ausencia de oxígeno molecular. Los organismos anaerobios aerotolerantes tienen un metabolismo fermentativo estrictamente, pero son relativamente tolerantes a la presencia de oxígeno molecular. (Metcalf & Eddy, 2004).

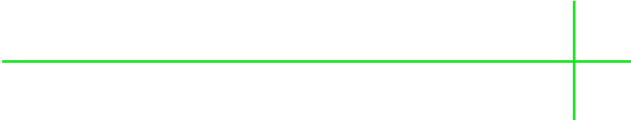
En los capítulos posteriores se abundará en el estudio del tratamiento de aguas residuales así como ciertos pormenores, siendo este tema uno de los ejes que inspiran el desarrollo de la presente tesis.

Capítulo II

El compuesto Madre, Esencial y Vital. El Agua



Hierve el Agua, Oaxaca. Fuente flicker.com 25. 10. 10



“El optimista proclama que vivimos en el mejor de los mundos posibles y el pesimista teme que esto sea cierto”.

— *J.B Cabell*



41

El Agua signo de posible vida (pasada, actual o futura) que el hombre busca en otros planetas, es precisamente la presencia de agua en cualquiera de sus tres estados físicos de agregación. Nadie se imagina la explosión vital (tan seriamente amenazada durante los últimos doscientos años, dicho sea de paso) que experimenta el planeta, y que inicio probablemente hace unos 3,000 - 3,500 millones de años, si no tuviese firmemente asentada sobre esta pequeña molécula triatómica, dotada de una infatigable movilidad fisicoquímica, entendida ésta como la capacidad de poder interactuar física o químicamente con otras moléculas en estado sólido, líquido o gaseoso.

Sin agua es difícil imaginar alguna forma de vida. Por fortuna, la Tierra está casi inundada: un volumen total de alrededor de 1400 millones de kilómetros cúbicos cubre el 71 % de la superficie terrestre. Aun así, en muchas partes no es fácil obtener las cantidades necesarias de agua lo bastante pura.

Los principales ecosistemas y biotas terrestres, así como los seres humanos, dependen del agua dulce, aquella cuyo contenido de sales es menor a 0.01 %. Empero, 97 % del agua de la Tierra es salada y se encuentra en mares y océanos. Y del restante 3 % el agua es dulce, 87 % está concentrada en los casquetes polares y los glaciares, es agua profunda inaccesible o se halla en la atmósfera, por lo que solo es asequible el 0.4 % del total. Ahora bien, la evaporación de los océanos y las lluvias proveen sin interrupción este pequeño porcentaje, por lo que el agua dulce es un recurso renovable. Sin embargo, no es posible sacar de la tubería más agua que la que fluye por ella. Con la misma lógica, el suministro de agua dulce está limitado por las cantidades que se mueven por el sistema natural.

En las regiones lluviosas hay bastante agua para la biota y los seres humanos, pero en las más secas y con poblaciones en aumento se incrementan los conflictos entre las necesidades de la gente y las del ecosistema natural. En todo el mundo, se cuentan más ejemplos de ecosistemas presionados o ya exhaustos por la desviación del agua para usos humanos.

La escasez empeora los conflictos y problemas de salud pública, reduce la producción de alimentos y pone en peligro el ambiente. Conforme las poblaciones crezcan, más países se agregarán a la lista y, en tanto que la insuficiencia se agudiza, los conflictos entre los países que tienen suministros comunes empeorarán; asimismo, aumentan las disputas internas entre las zonas ricas en agua y las pobres. Por último, un número considerable de países y regiones parecen vivir en la abundancia

de líquido, pero es porque extraen el agua subterránea con más celeridad de lo que se recupera, con lo que están agotando el suministro de las generaciones venideras. Claro está, estas tendencias no son sostenibles (Curtis, 2000).

Un futuro sostenible dependerá de que se aprenda a administrar los recursos hidráulicos. Para efectos de esta Tesis en este capítulo los objetivos a seguir son: describir física y químicamente el vital líquido entender el ciclo natural del agua, sus capacidades y limitaciones; comprender que se están agotando ciertos recursos y sus consecuencias. Uno de los mayores retos a los que se enfrenta la humanidad en el siglo XXI es el de tener acceso a suficiente agua limpia. El agua se está convirtiendo, en muchas regiones del mundo en un factor limitante para la salud humana, la producción de alimentos, el desarrollo industrial y el mantenimiento de los ecosistemas naturales y su biodiversidad, e incluso la estabilidad social y política (Carabias & Landa, *et al*, 2005).

A pesar de que 70% de la superficie del planeta está compuesta por agua, 97.5% de ésta es salina (cerca de 1400 millones de km³), contenida principalmente en los océanos, y solo 2.5% es agua dulce (alrededor de 35 millones de km³). De ésta, 68.9% se encuentra congelada (en bancos de hielo, glaciares y nieves perpetuas) y en la humedad del suelo; 30.8% se almacena en aguas subterráneas, y poco menos de 0.3% es agua superficial localizada en lagos, lagunas, ríos y humedales (Shiklomanov & Rodda, 2003).

Menos del 1% del agua dulce del mundo (cerca de 200,000 km³ entre superficial y subterránea) está disponible para uso humano y el mantenimiento de los ecosistemas naturales.

Los lagos más grandes del mundo son el Baikal en Asia (contiene 18% del agua que se acumula en los lagos), el Tangañica (16%) y el Nyasa o Malawi en África (10%) y el Superior en Canadá-Estados Unidos (10%).

Los ríos más caudalosos (los que desplazan mayor volumen de agua por segundo) son el Amazonas, el Congo y el Misisipi. El sistema amazónico, en particular, ocupa el primer lugar mundial, tanto por la extensión de su cuenca, de algo más de 6 millones de km², como por la magnitud de su descarga promedio, que es 175 000 m³/s.

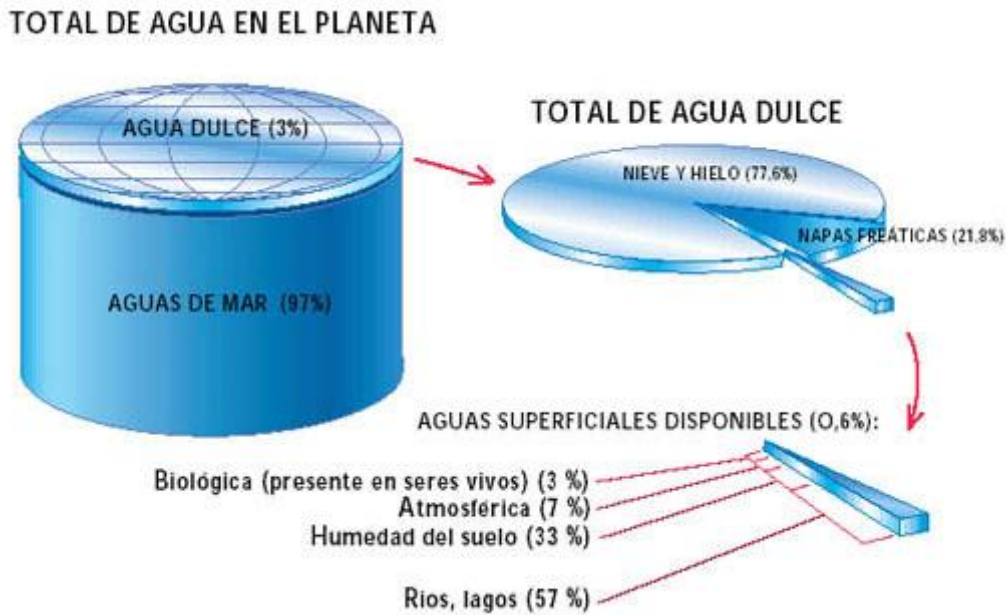


Fig. 2.1 Fuente: jumapam.gob.mx PNUMA, 2004

La distribución natural del agua es muy desigual en las distintas regiones del planeta y según la época del año. En el continente americano se concentra 47% del agua mundial, seguido por Asia (32%), Europa (7%), África (9%) y Australia y Oceanía (6%).

Para finales del año 2004 se estimó que la población mundial era de 6 377 millones de personas asentadas de manera desigual. Esto, sumado a la distribución natural del agua y el tamaño de la población, ocasiona que algunos países tengan agua naturalmente disponible en abundancia, mientras que otros padezcan una severa escasez. Entre los países de mayor disponibilidad natural se encuentra Canadá, con 99 700 m³/hab/año, mientras que India cuenta con sólo 2 300 m³/hab/año. En México, la disponibilidad natural de agua estimada para el año 2004 fue de 4 500 m³/hab/año.

Los problemas actuales relacionados con el agua son muy severos en el mundo. En muchas regiones la disponibilidad natural es crítica, la calidad es inapropiada, los servicios son insuficientes, no alcanza la inversión económica para cubrir los rezagos y menos aún para atender la demanda creciente; las actividades productivas compiten por el agua, y el cambio climático incrementa la vulnerabilidad de los ecosistemas y de las personas en gran número de países (Korenfeld & Videgaray, *et al.*, 2009).

Agua

Sin duda es el Agua un compuesto muy familiar para el ser humano y sumamente importante para la vida sobre la Tierra, ya que constituye del 70 al 90% del peso de la mayor parte de los seres vivos. Y gran parte de su relevancia radica en el hecho de que es una sustancia que, si bien se encuentra mayoritariamente como líquido, también puede hallarse como sólido o como gas en las condiciones climatológicas naturales experimentadas en nuestro planeta.

Ligado a lo anterior se encuentra la gran importancia del agua desde el punto de vista fisicoquímico, ya que la casi totalidad de los procesos químicos que se dan en la naturaleza, y en los propios seres vivos, se desarrollan entre las sustancias disueltas en el agua, es decir, en disolución. Igual podría decirse respecto a una gran parte de los procesos industriales derivados de la actividad humana. Ésto induce a pensar, como así ocurre, en la gran reaccionabilidad fisicoquímica que posee el agua y que en realidad sustenta el objetivo que se persigue en este capítulo.

Haciendo un breve resumen se pondrán una serie de aspectos generales que justifican la importancia del agua como especie química en la vida sobre la Tierra:

1. Se encuentra de forma natural en los tres estados físicos de agregación de la materia.
2. Es el medio idóneo para el desarrollo de las reacciones bioquímicas básicas para la vida.
3. Es componente mayoritario de los seres vivos.
4. Sus características afectan la calidad de los alimentos.
5. Es un factor determinante en la dinámica geoquímica planetaria.
6. Su disponibilidad condiciona el desarrollo de la civilización humana (Rodríguez & Marín, 1999).

Enlazando con las propiedades del agua, se debe comentar que en la antigüedad clásica se consideró al agua como uno de los cuatro elementos en unión del aire, el fuego y la tierra, y que ya modernamente, hasta 1781, Cavendish no comprobó que se podía obtener agua quemando hidrógeno en el aire, extremo totalmente confirmado por Lavoisier, quien demostró que el agua estaba compuesta únicamente por hidrógeno y oxígeno (Ayensa & Molledo, 1991).

Definición

Agua (del latín *aqua*); femenino. Cuerpo formado por la combinación de un oxígeno y dos de hidrógeno, líquido inodoro e insípido, en pequeñas cantidades incoloro y en grandes masas refracta la luz, disuelve muchas sustancias, se solidifica por el frío, se evapora por el calor (Diccionario de la Lengua Española, Real Academia Española).

La definición habla de su composición molecular de sus propiedades físicas y químicas, de su abundancia en el planeta y su carácter de elemento esencial para la vida. Sin duda, es este carácter el que mejor define qué es el agua: un elemento que está por todas partes, que la vida depende de ella y que, muy probablemente, se originó en ella.

Además de ser un recurso insustituible, el agua se caracteriza por su abundancia, aunque para los seres vivos, que no forman parte del ecosistema marino, esta abundancia es más aparente que real.

La mayor reserva hídrica se halla en los océanos y mares, cuyo origen se debe al desprendimiento de vapor de agua y otros gases acumulados durante el largo proceso que llevó a la formación de la corteza terrestre hace, aproximadamente, 4,500 millones de años.

El agua no se encuentra en la naturaleza en estado puro sino que contiene básicamente disoluciones de sales que se han ido acumulando a lo largo de la vida del planeta. También se encuentra en gases atmosféricos disueltos, sustancias orgánicas y diversas materias en suspensión (Marcen & Romano, *et al.*, 2003).

El interés contemporáneo por el agua dista mucho de ser una novedad histórica o un fenómeno reciente; por el contrario, a lo largo de toda la historia ha despertado la más viva curiosidad de los seres humanos, ha motivado las reflexiones más diversas, ha conducido a las interpretaciones más encontradas y ha sido fuente de inspiración de las expresiones artísticas más refinadas. De hecho, es probable que la mayor parte de lo que se piensa, observa e imagina acerca del agua provenga más de la mitología, la religión, la filosofía y el arte, que de la ciencia y la tecnología.

En efecto, una rápida mirada a la historia permite constatar que desde hace miles de años, mucho antes de las geniales reflexiones de filósofos como Aristóteles, Tales de Mileto, Demócrito y Anaximandro, los mitos originarios y las diferentes narrativas religiosas ya habían entronizado al agua como el símbolo divino por excelencia y le rendían los más diversos y elaborados cultos. Al lado del trabajo científico de gigantes

como Newton, Galileo, Lavoisier, Laplace y Cavendish se encuentran músicos extraordinarios como Handel, Dvorak, Debussy y Ravel construyendo magníficas obras musicales inspiradas en el agua, a pintores de la talla de Turner, Géricault, Monet, Rivera y Clausell plasmando en sus lienzos o murales su belleza plástica; y a grandes escritores como Shakespeare, Melville, Allan Poe, Lamartine, Claudel y Yáñez dedicando algunas de sus mejores páginas a descifrar sus paralelismos con las distintas facetas de la existencia humana (Perló, 2001).

Tales de Mileto, el filósofo griego del siglo V a. C., afirmó que el agua era la sustancia original, de la cual todas las demás (tierra, aire y fuego) estaban formadas. Anaximandro, unos años más tarde, y otros filósofos después concluyeron que más bien hay una cierta proporción de fuego, aire, tierra y agua en el mundo, que cada uno lucha por extender su imperio, y que se presenta la necesidad natural de restablecer el equilibrio. La consideración de Tales lleva mucha verdad en el sentido de que en todo hay agua; de hecho Isaac Newton, en el siglo XVII, escribió su tratado *De Natura Acidorum*, en donde sostenía que todo cuerpo podría ser reducido a agua.

En el agua se originó la vida y de ella sigue dependiendo. Esto por cierto, sucede porque el agua es una sustancia completamente fuera de lo común: es líquida en condiciones normales, cuando “debería” ser gaseosa, y su forma sólida flota sobre su forma líquida, cuando “debería” ser al revés; su forma líquida semeja más a un sólido que líquido ordinario. Cuando se congela se forma el hielo, o mejor dicho, alguno de los hielos, pues hay nueve distintos.

Con la excepción de productos exóticos, el agua es el mejor disolvente que existe (de sólidos, de líquidos y de gases). Si el agua no fuere así no podría sustentar la vida, pues gracias a esta propiedad conduce los nutrientes a los seres vivos y elimina sus desechos; además, lleva el oxígeno a los seres acuáticos.

Los seres vivos moran inmersos en el agua o en el aire. En su interior son, en gran medida, agua: en el agua se originó la vida, y de ella sigue dependiendo.

La enorme presión de la actividad humana sobre la disponibilidad de este recurso en los asentamientos humanos, los centros industriales y los turísticos, y en las zonas agrícolas, exige de un gran esfuerzo por proveerla en la cantidad y con la calidad adecuada. El consecuente problema de las aguas residuales es de magnitud comparable.

¿Qué es el agua?, ¿Cómo existe en la naturaleza y como es utilizada por los seres vivos? ¿Cómo llega y como sale de la ciudades? Conocer este elemento es necesario para apreciarlo, conservarlo y no deteriorarlo.

Es por las propiedades del agua, en particular por sus gran capacidad de disolver otras sustancias, que es tan fácil maltratarla... hacerla inservible para la vida (Guerrero, 2001).

Composición

Los primeros pensadores reconocieron pronto que el agua es un elemento único. Aristóteles lo incluyó entre los cuatro elementos básicos, junto con la tierra, el aire y el fuego. Así, como un elemento fue tratada hasta el siglo XVIII, cuando la tierra y el aire dejaron también de ser “elementos” y se reconoció que estaban compuestos de complejas mezclas de especies químicas, y que el fuego es una manifestación de la actividad química, no otro elemento. Cupo el honor en 1781 al científico británico José Priestley de sintetizar al último de los elementos aristotélicos, demostrando que, al igual que los dos primeros, también era una mezcla de especies químicas. Antonio Lorenzo de Lavoisier en Francia y Enrique Cavendish en Inglaterra lograron descomponer el agua en sus dos componentes “aire ordinario” (oxígeno) y “aire inflamable” (hidrógeno), estableciendo así los primeros pasos para su estudio científico (Guerrero, 2001).



Experimentos de Cavendish

El aire inflamable fue recogido por primera vez por Boyle. Llenó un matraz con ácido sulfúrico diluido, puso dentro unas raspaduras de hierro e invirtió la botella dentro de la cápsula que contenía el ácido. Se desprendieron del hierro burbujas de gas que se reunieron en el mismo matraz. Boyle, en 1672, también describió la combustibilidad del hidrógeno y mostró que una llama de hidrógeno se extingue en un recipiente al vacío. En 1776 Macquer se apercibió que una llama de Hidrógeno deja humedad sobre un platillo frío. Priestley, en 1871, observó que, cuando se enciende una mezcla de aire deflogisticado (oxígeno) y aire inflamable (hidrógeno) hay una explosión violenta. Warltire notó que si una mezcla de gases dentro de un vaso de vidrio cerrado se enciende por medio de la chispa eléctrica, la parte interior del vaso, después de enfriarse, está rociada de humedad.

Inflamando los gases en un globo de cobre por medio de la chispa eléctrica, Priestley creyó encontrar una pequeña pérdida de peso, que el atribuyó al escape de calor.



Cavendish, en 1781, encendió por medio de chispa eléctrica, una mezcla de aire común y aire inflamable en un globo de vidrio. Encontró que, con 423 volts. de aire inflamable y 1000 volts. de aire común “casi todo el aire inflamable y aproximadamente la quinta parte del aire común, perdía su elasticidad, y se condensaba en rocío que queda en el vidrio”. No hay cambio en el peso después de la explosión.

Cavendish afirmaba: si el hidrógeno arde es porque reacciona con el oxígeno del aire formando el agua. Ahora bien, como las propiedades del agua son distintas a las de los gases hidrógeno y oxígeno (ambos elementos), el agua no es una mezcla: es un compuesto (sustancias formadas por distintas clases de átomos). En la actualidad, a través de un proceso llamado hidrólisis es posible demostrar que los elementos constitutivos de agua son el H y O. El procedimiento consiste en descomponer el agua, aplicando corriente eléctrica para obtener hidrógeno y oxígeno gaseoso. (Partington, 1959).

Puente de Hidrógeno

La estructura de la molécula del agua está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno los cuales se unen a través de un *enlace covalente polar*, dando como resultado una molécula de geometría angular, es decir, los átomos de hidrógeno están separados por un ángulo de 104.45°.

La fórmula química es H_2O , que indica que la proporción de hidrógeno y oxígeno en la molécula de agua es 2:1. Si se comparan los átomos de H y O, se verá que éste último es un átomo de mayor tamaño, y por lo mismo, tiene más electrones o densidad electrónica que el átomo de hidrógeno. Esta característica determina que la molécula de agua sea polar, es decir, sobre el átomo de oxígeno hay una densidad electrónica mayor que genera una carga parcial negativa. Dicho de otro modo En el enlace químico que se forma entre el O y H participan los electrones del nivel más externo de sus átomos, los cuales son atraídos fuertemente hacia el oxígeno debido a su mayor electronegatividad (tendencia de un átomo para atraer electrones) lo que implica una polarización del enlace, es decir, el oxígeno adquiere carga parcial negativa y el hidrógeno carga parcial positiva. Estos enlaces polarizados y la naturaleza angular de la estructura de la molécula de agua dan lugar a un tipo de molécula polar. Esto significa que la molécula de agua tiene carga positiva hacia el extremo donde se encuentran los átomos de hidrógeno y carga negativa hacia el extremo contrario donde se ubica el átomo de oxígeno (Hein & Arena, 2005).

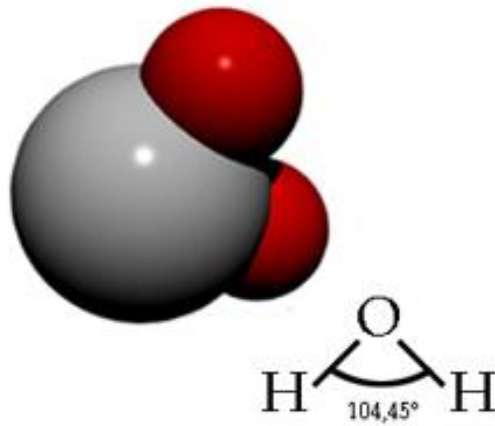


Fig. 2.2 Fuente: www.iagua.es. Composición Molecular Puente de Hidrógeno. 2 de julio 2012

Del mismo modo que existen las uniones interatómicas, hay otras: las uniones intermoleculares, que permiten mantener unidas las moléculas de un compuesto. Dadas las características de polaridad de la molécula de agua, la unión se establece por medio de una fuerza de atracción intermolecular llamada **enlace por puente de hidrógeno**.

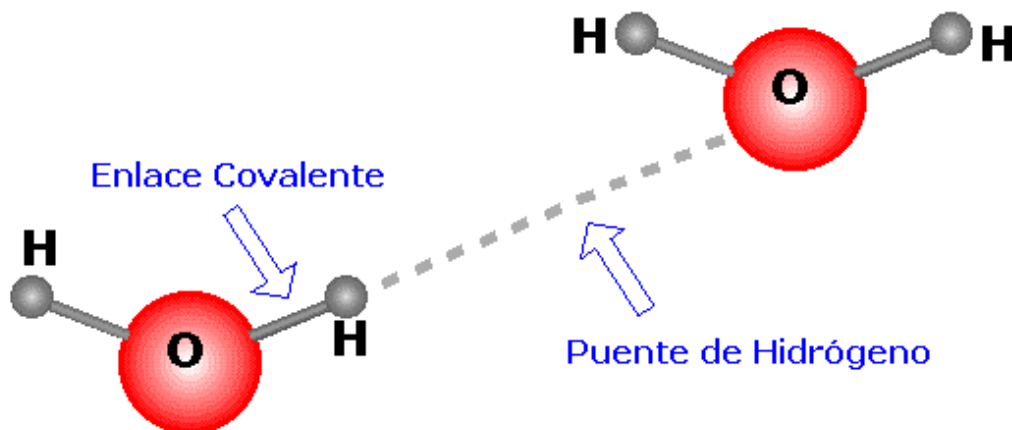


Fig. 2.3 Fuente: quimica2bac.wordpress.com. Enlace covalente en Puente de Hidrógeno. 9 de Diciembre 2012

Dicho de otro modo, el extremo positivo de una molécula de agua resulta fuertemente atraído por el extremo negativo de otra molécula de agua cercana de forma que con las moléculas del entorno próximo se forman redes de moléculas unidas entre sí a través de un tipo de enlace especial llamado **enlace por puente de hidrógeno**.

Los puentes de hidrógeno no solo se encuentran en el agua, sino también en muchas otras moléculas grandes, en las que tienden a mantener la estabilidad estructural. Sin embargo, son muy específicos. Un puente de hidrógeno puede formarse solamente entre cualquier átomo de hidrógeno que esté unido covalentemente a un átomo que posee fuerte atracción por los electrones (generalmente el oxígeno o el nitrógeno) y un átomo de oxígeno o nitrógeno de otra molécula. En el agua, los puentes de

hidrógeno se forman entre un “vértice” negativo de una molécula de agua con el “vértice” positivo de otra. Cada molécula de agua puede establecer puentes de hidrógeno con otras cuatro moléculas de agua.

Cualquier puente de hidrógeno simple es significativamente más débil que un enlace covalente o uno iónico. Más aún, tiene una vida extraordinariamente corta; en promedio, cada puente de hidrógeno en el agua líquida dura alrededor de un $1/100 \times 10^6$ (un cien millonésimo) de segundo. Pero, cuando uno se rompe, se forma otro. En conjunto, los puentes de hidrógeno tienen una fuerza considerable y hacen que las moléculas de agua, en condiciones normales de temperatura y presión, se aferren estrechamente formando un líquido (Keenan, 1992).

Propiedades del Agua

El agua es la sustancia más extraordinaria. Casi todas sus propiedades parecen encontrarse al revés: es un líquido a temperatura ambiente cuando debería ser un gas; su forma sólida (hielo) flota en su forma líquida; lejos de parecerse a un líquido normal en el que sus moléculas se mueven con mucha independencia, en el agua existe un cierto orden colectivo, es decir, las moléculas se “pegan” unas a otras, y ello le confiere valores extremadamente altos en su viscosidad, tensión superficial y calores latentes de evaporación y solidificación. El agua disuelve una gran variedad de sólidos, pero no reacciona químicamente con ellos; por eso pueden purificarse las aguas contaminadas, aunque a expensas de mucha energía (Guerrero, 2001).

El agua, el líquido más común de la superficie terrestre, el componente principal en peso de todos los seres vivos, tiene un número de propiedades destacable. Estas propiedades son consecuencia de su estructura molecular y son responsables de la “aptitud” del agua para desempeñar su papel en los sistemas vivos (Guerrero, 2001).

A raíz de la existencia de los puentes de hidrógeno que mantienen unidas a las moléculas de agua (cohesión), el agua tiene una alta tensión superficial y un alto calor específico (la cantidad de calor que una cantidad dada de sustancia requiere para un aumento dado de temperatura). También tiene un alto calor de vaporización (el calor requerido para que un líquido cambie a gas) y un alto calor de fusión (el calor requerido para que un sólido pase al estado líquido). Inmediatamente antes de congelarse, el agua se expande; de esta forma el hielo tiene una densidad menor y un volumen mayor que el agua líquida y, como resultado, el hielo -sólido- flota en el agua líquida.

La estructura y características de enlace especiales del agua, confieren sus propiedades singulares. Como resultado de la formación de puentes de hidrógeno, las moléculas del agua en el hielo forman una estructura menos compacta que el agua líquida. La expansión que sufre el agua al congelarse origina la erosión de las rocas y la formación de hielo en la superficie de los lagos. Debido a un gran calor específico, se absorbe mucha energía para elevar la temperatura de una muestra de agua en unos cuantos grados; por el contrario, el agua desprende mucho calor cuando su temperatura baja algunos grados. Debido a su gran calor de vaporización, una muestra de agua consume mucha energía para evaporarse; es por ello que la transpiración es un medio muy eficaz para enfriar el cuerpo. Entre todos los líquidos y sólidos que hasta aquí se han considerado, el agua es única, y sus propiedades significan la diferencia entre la vida y la muerte.

En breve se tratarán algunas otras consecuencias de la existencia del Puente de Hidrógeno en el agua, especialmente en lo que refiere en utilidad para los seres vivos (Burns, 2011).

Propiedades Físicas no asociadas a Cambios de Estado

Viscosidad

El movimiento irregular de las moléculas de un líquido y un gas en general, y del agua en particular, da lugar a que una parte de ésta pueda desplazarse con respecto a otra fluyendo. No obstante, las fuerzas de atracción entre las moléculas se oponen a este desplazamiento, dando lugar a una resistencia, a la cual se denomina viscosidad.

La viscosidad del agua no es muy diferente a la de otros líquidos y exhibe la misma tendencia de otros líquidos de disminuir al aumentar la temperatura, si bien de una forma más acentuada es este caso. Por otro lado la viscosidad del agua aumenta con el incremento de presión, de forma similar a la mayoría de los líquidos (Rodríguez & Marín, 1999).

La viscosidad de un líquido está relacionada con la forma de las moléculas que constituyen el líquido. Los líquidos poco viscosos, esto es, los que fluyen con facilidad, se componen en general de moléculas simétricas pequeñas con fuerzas intermoleculares débiles.

Las fuerzas intermoleculares que dan origen a viscosidades grandes son de dos tipos. Las fuerzas de dispersión de London, pese a ser débiles, son la causa de las

grandes viscosidades de las moléculas no polares grandes. Ciertas moléculas asimétricas pequeñas con puentes de hidrógeno fuertes, también presentan grandes viscosidades (Burns, 2011).

Tensión Superficial

Una molécula en el interior de una masa de agua (cualquier líquido en general) está rodeada completamente por otras moléculas y es atraída en todas las direcciones con aproximadamente igual intensidad. No obstante, si la molécula está situada en la superficie, será atraída por las moléculas que se hallan situadas en la zona inferior ubicada bajo la molécula en cuestión solamente. De esta forma se da lugar a una fuerza resultante hacia abajo que tiende a aprisionar la molécula superficial, evitando su escape. La superficie del agua se comportaría como una membrana elástica, evitando en cierta manera la rotura de la superficie del líquido, e incluso permitiendo que sobre el caminen ciertos insectos, que floten pequeñas agujas metálicas, también favoreciendo la forma esférica de las gotas de agua, así como la existencia de los meniscos o curvaturas del líquido cuando se vierte en un recipiente.

Se define la Tensión Superficial γ , como la energía necesaria por unidad de área para expandir la superficie del líquido, o más concretamente, como el trabajo necesario para incrementar, a temperatura constante, la superficie de líquido igual al área de una cara de un cubo que contiene una masa de líquido igual a un mol de vapor. En el caso del agua, la energía necesaria para transferir moléculas a la superficie reflejará la rotura de los enlaces de hidrógeno y corresponderá a su tensión superficial.

La tensión superficial del agua disminuye linealmente al aumentar la temperatura debido a la progresiva rotura de los Puentes de Hidrógeno. Por otro lado, la presencia en el agua de sustancias disueltas o en suspensión puede modificar notablemente su tensión superficial. Así, alcoholes superiores, grasas y especialmente jabones disminuyen bastante esta propiedad. La capacidad de los detergentes y jabones de reducir la tensión superficial y aumentar el poder humectante del agua, es lo que permite retirar la grasas y en general la suciedad adherida a ropas, recipientes, etc., y posibilita su limpieza (Rodríguez & Marín, 1999).

Una molécula de agua forma una gota debido a la tensión superficial, que es la fuerza necesaria para vencer las atracciones intermoleculares y abrirse paso por la superficie de un líquido, mayor será la resistencia que oponga en su superficie. La

fuerza neta interior provoca la contracción de la superficie de la gota y que esta luzca tensa, comportándose como una superficie de piel.

Además del agua, otros líquidos también muestran marcada tensión superficial. El mercurio es un buen ejemplo de un líquido que tiene una elevada tensión superficial y grandes fuerzas de atracción entre las partículas. La tensión superficial depende de la temperatura y disminuye con el incremento de temperatura (Phillips & Strozak, *et al.*, 2000).

Capilaridad

El agua también presenta un fenómeno que recibe el nombre de acción capilar o capilaridad, que es la elevación espontánea de un líquido por un tubo angosto. Esta acción proviene de las fuerzas de cohesión dentro del líquido y de las fuerzas de adhesión entre el líquido y las paredes del recipiente supera la fuerza de cohesión (atracción) dentro del líquido mismo, el líquido ascenderá por las paredes del recipiente (Hein & Arena, 2005).

Densidad

La Densidad del agua (es decir, su *masa por unidad de volumen*) es otra propiedad fuertemente afectada por la acción de los enlaces de hidrógeno existentes en el líquido. Es un hecho conocido que el hielo flota sobre la superficie libre de una masa de agua, con las consiguientes consecuencias prácticas que esto supone. Piénsese que si esto no ocurriese, **las masas de agua naturales se solidificarían desde el fondo hacia la superficie y no al contrario, dificultando extraordinariamente la vida en los cauces hídricos**, que en realidad suelen helarse solo en su superficie y muy difícilmente en toda su profundidad. Además, si el océano en las regiones frías se helase hacia arriba, en verano solo se deshelaría la capa superficial, imposibilitando la circulación general de las grandes masas de agua caliente a lo largo del planeta. Además, la expansión del hielo da lugar a que después de que el agua líquida penetre las rocas y esta se congele, provoque la fractura o meteorización física de ellas, contribuyendo decisivamente a la formación del suelo.

En concreto, la densidad del agua es muy baja si se compara con la de otras sustancias habituales. Además, la densidad del agua exhibe una evolución atípica en el sentido de que aumenta con la temperatura hasta presentar un máximo a 3.98 °C, a partir del cual la densidad disminuye con nuevos aumentos de temperatura.

Cuando el agua líquida a 0 °C se solidifica se transforma en hielo y, si la temperatura permanece constante, la densidad disminuye del orden del 10%, circunstancia compartida por solo algunas sustancias, como, por ejemplo, bismuto, germanio, galio y silicio. Esta disminución de densidad está asociada a un cambio en el número de moléculas de agua ligadas por puentes de hidrógeno (de 3.6 a 4) y a un incremento de la distancia entre moléculas (es decir, de las distancias oxígeno-oxígeno) como se comprueba mediante estudios de difracción de rayos X e infrarrojos. Por otra parte, si continúa descendiendo la temperatura, la densidad continúa disminuyendo gradualmente hasta alcanzarse un mínimo de - 210°C (Rodríguez & Marín, 1999).

Capacidad Calorífica

Esta propiedad se relaciona con la capacidad de una sustancia para almacenar energía calorífica. Se denomina, además, calor específico. El agua tiene una capacidad calorífica elevada, con un valor de 1.0 cal °C⁻¹ a 15°C, cantidad que no varía apenas con la temperatura. Este valor es muy elevado y superior a cualquier otro líquido o sólido, excepto el litio por encima de 100°C o al del hidruro del litio a 50 °C. Además, la capacidad calorífica del hielo es el doble que la del agua líquida, con lo que puede almacenar más valor que el líquido. El calor específico del agua presenta (pese a su poca variación con la temperatura) un mínimo entre 34 °C y 35 °C. Una vez que el agua se solidificara, la capacidad calorífica del hielo disminuye con la temperatura.

El alto calor específico del agua explica que las masas de agua cambien su temperatura más lentamente que las rocas y el suelo de la superficie terrestre actuando como reguladores del flujo de calor entre la litosfera y la atmósfera. Este efecto es fundamental para la regulación del clima en nuestro planeta. De este modo, los océanos actúan como termostatos en los que la energía calorífica es transportada a las regiones frías por corrientes marinas, como por ejemplo la corriente del Golfo. (Rodríguez & Marín, 1999).

Conductividad Térmica

Esta propiedad mide la capacidad de un cuerpo para conducir la energía térmica a través de él. La conductividad térmica del agua aumenta ligeramente con la temperatura (a presión constante), considerado el intervalo comprendido entre su punto de fusión y el de ebullición (0 °C y 100 °C).

La conductividad térmica del hielo a 0 °C es aproximadamente cuatro veces mayor que la del agua líquida, lo que implica una mayor capacidad térmica cerca de 130 °C (Rodríguez & Marín, 1999).

Propiedades Físicas Asociadas a Cambios de Estado

Presión de Vapor. Volatilidad del agua Líquida.

Las moléculas de un líquido, análogamente a las de los gases, se mueven en todas direcciones y con una amplia gama de velocidades. Aquellas moléculas que están situadas en la superficie del líquido y poseen la energía suficiente para vencer la atracción de las demás, escapan al espacio libre situado sobre ellas, con lo cual se dice que el líquido se vaporiza o evapora, experimentando un cambio de fase desde líquido hasta gas. En el caso del agua, el tránsito sería desde agua líquida hasta vapor de agua.

Suponiendo un recipiente parcialmente lleno de agua y cerrado. Las moléculas de agua que pasan a fase vapor se irán acumulando lentamente en la cámara de aire sobre el líquido hasta producir una determinada presión, a la que se denomina presión de vapor del agua. El proceso es reversible y se completa con el tránsito de moléculas de agua gas que han perdido energía y vuelven al líquido mediante el fenómeno de la condensación. Además, cuando la presión de vapor iguala a la presión externa soportada por el agua, toda el agua se evaporará. La presión de vapor exige que las moléculas se muevan con velocidades diferentes, teniendo, por tanto, distinta energía cinética, ya que si todas las moléculas tuvieran igual energía, o bien todas estarían en fase líquida, o bien en fase gaseosa. Por otro lado, aceptando que la distribución de velocidades moleculares en el agua líquida es similar a la del agua gas (por similitud entre líquidos y gases) la fracción de moléculas con energía cinética superior a un determinado valor necesario para vaporizarse se incrementará rápidamente con la temperatura. Esto significa que, evidentemente, la presión de vapor del agua (y la de cualquier otro líquido) se incrementará rápidamente con la temperatura (Rodríguez & Marín, 1999).

Las moléculas en estado de vapor ejercen presión como cualquier otro gas. La presión que ejerce un vapor en equilibrio con su líquido llamada presión de vapor del líquido, puede considerarse como una medida de la tendencia de las moléculas a “escapar” para pasar del estado líquido al vapor. La presión de vapor de un líquido es independiente de la cantidad de líquido y vapor presentes, pero se incrementa a medida que lo hace la temperatura.



Se dice que las sustancias que se evaporan con facilidad son volátiles. Un líquido volátil tiene una presión de vapor relativamente elevada a temperatura ambiente. El éter etílico es un líquido muy volátil, el agua no es tan volátil. Casi todas las sustancias que de ordinario se encuentran en estado sólido no son volátiles (Hein & Arena, 2005).

Punto de fusión. Calor de Fusión

Algunas de las propiedades del agua más conocidas son la temperatura de fusión, vaporización y sublimación, en las que se produce el tránsito de fase entre diferentes estados físicos en que se puede encontrar esta sustancia.

Al extraer calor de un líquido, éste se enfría cada vez más, hasta alcanzar una temperatura a la cual empieza a solidificarse. Se dice que un líquido que pasa al estado sólido se congela o solidifica. Cuando un sólido se calienta en forma continua alcanza una temperatura a la cual empieza a licuarse. Se dice que un sólido se funde cuando pasa al estado líquido. La temperatura a la cual la fase sólida de una sustancia está en equilibrio con su fase líquida se conoce como punto de congelación o punto de fusión (Phillips & Strozak, *et al.*, 2000).

La temperatura de fusión o congelación del agua varía con la presión, si bien no demasiado, a medida que la presión se incrementa la temperatura de fusión es más baja manifestando que es más difícil el tránsito hielo-agua.

El punto de fusión del agua es anormalmente alto en relación con sustancias afines. De nuevo se debe mencionar que esta circunstancia se explica gracias a la fortaleza de los puentes de hidrógeno existentes en el agua que le dotarían de una estructura más rígida en relación al cambio de fase.

Por otro lado, el tránsito hielo-agua supone una absorción de energía por parte del sólido para fundirse, mientras que la congelación implicaría el proceso inverso (Rodríguez & Marín, 1999).

Punto de Ebullición. Calor de Vaporización.

El punto de ebullición de un líquido es aquel en que este se evapora a presión constante, es decir, pasa de fase de vapor, o bien el punto en el que el gas se licúa también a presión constante, y pasa entonces a fase líquida. En el caso del agua, el punto de ebullición a 1 atm de presión es de 100 °C, también muy alto comparado

con el de sustancias afines al agua, nuevamente una característica que propicia el puente de hidrógeno (Rodríguez & Marín, 1999).

La temperatura de ebullición de un líquido está relacionada con su presión de vapor. Cuando la presión interna (o de vapor) de un líquido iguala a la presión externa, el líquido hierve. La temperatura de ebullición de un líquido puro permanece constante, mientras no varíe la presión externa.

El punto de ebullición es la temperatura a la cual la presión de vapor del agua u otro líquido es igual a la presión atmosférica a nivel del mar. Es entonces el punto de ebullición es la temperatura a la cual la presión de vapor de un líquido es igual a la presión externa sobre el líquido (Hein & Arena, 2005).

Recursos Hídricos en México

México con una superficie de casi dos millones de kilómetros cuadrados y poco más de 11 mil kilómetros de litoral, presenta gran variedad de climas y ambientes naturales, misma que afecta las distintas fases del ciclo hidrológico y establece un marcado contraste de escasez y abundancia de agua.

De acuerdo con los resultados del Censo general de Población y vivienda 2010 de INEGI y con base en proyecciones de CONAPO México tiene una población de 112.33 millones de habitantes. De esta población, el 77% habita en el medio urbano y el 23% restante se asienta en 196 350 localidades rurales, de las cuales 148 579 tienen menos de 100 habitantes (INEGI, 2010).

De acuerdo con los análisis de CONAPO, la tasa de crecimiento poblacional ha disminuido de 1.7% en 1995 a 1.4% en el 2000 y se estima que en el año 2030 será solo el 0.4%. Aun con esta disminución, se estima que en el año 2030 México tendrá 22.7 millones de habitantes adicionales y que la población seguirá creciendo hasta alcanzar un máximo de aproximadamente 133 millones en el año 2040, para luego empezar a descender (CONAPO, 2015).

La población del país en 1950 era de 25 millones de habitantes, y respecto al 2000, la población casi se cuadruplicó, y paso de ser predominante rural (57%) a predominante urbana (75%). El crecimiento poblacional y el desarrollo económico han sido mayores en el centro, noroeste y noreste del país, precisamente en las zonas con los problemas más severos de escasez de agua, donde las disponibilidad del agua per cápita alcanza valores cercanos a los 2 000 m³/año, valor internacionalmente considerado como peligrosamente bajo.



El contraste con el desarrollo y la disponibilidad de agua en el país se presenta de la forma siguiente: más de la mitad del territorio nacional localizado al norte y centro solo recibe una tercera parte de la precipitación media anual, pero concentra dos terceras partes de la población nacional y donde se genera el 86% del PIB. En tanto, casi 70% de la precipitación media anual se da en el sureste del país, donde habita el 23% de la población, donde la industria es incipiente, excepto la relacionada con el petróleo.

El sector agrícola, el cual ocupa las mayores cantidades de agua, emplea cerca del 14.2% de la PEA (Población Económicamente Activa) y solo genera el 3% del PIB (CONAGUA, 2011/INEGI, 2013). La evolución de este sector será determinante para avanzar hacia el desarrollo sustentable en armonía con el medio ambiente y los recursos naturales (Sedano, *et al.*, 2004).

El agua es uno más de los recursos naturales que, a diferencia de muchos otros, resulta imprescindible para el desarrollo de la vida humana. Así, las principales y más antiguas civilizaciones que recuerda la historia han nacido a orillas de grandes ríos.

Aire y Agua son, sin duda, los elementos naturales más indispensables para el hombre. El aire se obtiene sin esfuerzo, en todas partes y sin restricción. El agua, sin embargo, solo existe en ciertos sitios y en cantidad variable de unos momentos a otros. Además, el agua no es solo un recurso imprescindible para la vida; constituye también el soporte físico fundamental, o al menos interviene de forma importante e irremplazable, en prácticamente toda la actividad industrial y económica (Balairón, 2000).

El país se encuentra en posición geográfica privilegiada en el planeta, ya que el Trópico de Cáncer atraviesa casi por la mitad su territorio, lo que hace posible la presencia en él de zonas templadas y tropicales. Sus costas están bañadas por el Océano Pacífico, el Golfo de México y el Mar Caribe. Su relieve es producto de una accidentada historia geológica, con cordilleras que lo cruzan de norte a sur - que sirven de corredores de intercambio entre la fauna y la flora templada y la tropical - y de este a oeste por el Eje Neovolcánico; estas cordilleras determinan importantes barreras geográficas que han disparado fenómenos de especiación, es decir, el surgimiento de especies nuevas a partir de las preexistentes, durante un largo proceso de evolución propiciado por el aislamiento geográfico. Estas características le permiten tener, prácticamente, todos los climas que existen en el mundo - excepto los fríos más extremos - y sus consiguientes tipos de ecosistemas y especies biológicas,

muchas de las cuales son endémicas del país; por ello, México es considerado un país megadiverso.

En el norte y en algunas áreas del centro del país (40% del territorio nacional), donde la precipitación es escasa y sujeta a sequías recurrentes, se encuentran las zonas árida y semiárida, que se caracterizan por la presencia de matorrales xerófilos, pastizales y bosques espinosos, en las planicies costeras y sierras del Pacífico, centro del Golfo de México y noreste de Yucatán, donde la precipitación es mediana, se presentan los climas subhúmedos, que comprenden 17% del territorio.

El agua que se precipita, desde su contacto con la superficie terrestre hasta su llegada al mar, su acumulación en acuíferos o su almacenamiento en lagos y presas, va formando los diferentes ecosistemas acuáticos, cuya composición y estructura dependerán de las características propias del cuerpo de agua que se trate y de la región eco geográfica en la que se encuentre.

México cuenta con 11 122 km de litoral, 15 000 km² de lagunas costeras y 29 000 km² de cuerpos de agua interiores que forman una gran variedad de ecosistemas acuáticos (CNA, 2001).

La mayor parte de los recursos hídricos epicontinentales de México se localiza en ríos (68.2%), seguida en importancia por presas (17.8%), acuíferos (11.7%) y lagos y lagunas (2.3%) (Arriaga *et al.*, 2000).

Muchos de estos ecosistemas están física y biológicamente conectados o articulados por el flujo del agua y por el movimiento de las especies, constituyen una pieza para el mantenimiento del ambiente acuático y el bienestar de las comunidades humanas (Carabias & Landa *et al.*, 2005).

Aguas Nacionales

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su artículo 27 establece que la propiedad de las aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponde originalmente a la Nación y solo por excepción, cuando se demuestre que las aguas no tienen tal carácter, se consideran de propiedad privada. Por tanto, las aguas nacionales son bienes del dominio público, son inalienables, imprescriptibles e inembargables.

La explotación, uso y aprovechamiento de aguas nacionales, solo podrá realizarse por los particulares mediante concesiones que otorgue el Ejecutivo Federal, de acuerdo con las reglas y condiciones estipuladas en las leyes.



El marco jurídico que regula la materia de aguas en el país queda representado fundamentalmente por:

- ❖ La constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, artículos 27, 28 y 115.
- ❖ La ley de Aguas Nacionales (LAN), la cual es una ley reglamentaria del artículo 27 constitucional en materia de aguas nacionales.
- ❖ El Reglamento de la Ley de Agua Nacionales.
- ❖ La Ley Federal de Derechos.
- ❖ La Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica.
- ❖ Las Leyes estatales en materia de agua promulgadas en las entidades federativas.
- ❖ La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

La Ley de Aguas Nacionales, da sustento a la evolución del marco institucional y la instrumentación de los elementos de la política hidráulica, en un horizonte de mediano y largo plazos.

La CONAGUA, es un órgano desconcentrado de la Secretaría de medio Ambiente, y Recursos Naturales, y es la autoridad federal responsable de definir la política hidráulica del país y administrar las aguas nacionales (Sedano, *et al.* CNA, 2004).

Precipitación

La precipitación media anual es de 780 mm, equivalente a 1522 km³. Su distribución espacial de territorio no es homogénea, es escasa en el norte del país con láminas inclusive menores a los 50 mm y abundante en el sureste, del Pacífico al sur del Trópico de Cáncer, con láminas inclusive superiores a los 3000 mm. El promedio anual de precipitación en 42 % del territorio es menor a 500 mm. De igual forma, existe una desigual distribución en el tiempo, concentrándose la precipitación en los meses de Junio a Septiembre, con excepción de un área en el noreste del país donde ocurren dos ciclos lluviosos en el año: Verano e Invierno. Además de las variaciones mensuales, existen variaciones anuales con períodos extraordinarios de sequía; la frecuencia promedio con que se presentan es de una cada 10 años con duraciones de uno a tres años. De igual forma se presentan fenómenos

meteorológicos extremos como los ciclones tropicales, las granizadas y nevadas extraordinarias (SEMARNAP, 1996; CNA, 1999).

Escurrimiento

Del agua precipitada el 72% regresa a la atmosfera por evapotranspiración, el resto genera escurrimiento virgen promedio anual de 410 km³. La distribución espacial del escurrimiento sigue un patrón semejante al de la precipitación, éste varía desde cero en el desierto de Altar, Sonora, hasta valores mayores a los 3000 mm anuales en algunas áreas de las planicies costeras del río Papaloapan. De esta forma 50% del volumen se genera en tan solo el 20% de la superficie del país localizada en el sureste, mientras que el 4% del escurrimiento se genera en la parte norte del país en una superficie del orden del 30% del territorio nacional. Con relación a la altura el 4% del escurrimiento se genera en altitudes mayores a los 2000 m, en contraste el 50% del escurrimiento se genera en alturas menores a los 500 metros (SEMARNAP, 1996).

Por su ubicación geográfica México está sujeto a fenómenos hidrometeorológicos extremos, especialmente ciclones y precipitaciones intensas. Cada año se presentan en promedio 24 eventos ciclónicos en los mares cercanos a México, de los cuales entres dos o tres penetran en el territorio y causan severos daños. Los altos volúmenes de escurrimiento en época de lluvias y el drenaje insuficiente, principalmente en la vertiente del golfo de México, provocan severas inundaciones. Los daños por inundación se acentúan por la presencia de asentamientos humanos en zonas propensas a inundaciones como los cauces naturales y zonas bajas y son más severos porque el agua se concentra más rápidamente y en mayor volumen como consecuencia de la pérdida de la cobertura vegetal por la deforestación. Como resultado de esto se tiene: pérdida de vidas humanas, fuertes impactos en la infraestructura de agua potable, vías terrestres, hidroagrícola, etcétera. En el extremo opuesto, cuando la escasez de lluvia se mantiene durante períodos prolongados a sequias que afectan el abasto de agua a las poblaciones, daños a la agricultura, la ganadería y otras actividades económicas. De acuerdo con los registros históricos, estos fenómenos se presentan con mayor intensidad cada 10 años, y su duración es variable. En México, la zona más afectada es la del norte, debido a su ubicación geográfica en la franja desértica del Hemisferio Norte. Los resultados de estudios realizados indican que las pérdidas económicas para el país originadas por los principales desastres ascienden en promedio a los 4500 millones de pesos anuales. Las pérdidas mayores por desastres están asociadas a la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos, a excepción de los sismos del 1985 (CNA, 2001).

Es preciso señalar que debido a la variabilidad espacial y temporal de los escurrimientos no es posible aprovechar totalmente el escurrimiento superficial virgen. Existen zonas del norte en las que prácticamente no existen escurrimientos superficiales, de igual forma puede suceder que en solo un evento de lluvia se precipita toda el agua de la temporada y en otros casos la precipitación se da en zonas donde no existe la infraestructura hidráulica para almacenarla y ésta se escurre sin ser aprovechada (SEMARNAP/CNA, 1996).

Aguas Superficiales

Al escurrimiento que se forma a partir del agua de lluvia, que no se evapora ni penetra los mantos acuíferos, sino que se mantiene y fluye sobre la superficie, se le conoce como agua superficial. La presencia de cuencas superficiales, como ríos o lagos de diversas regiones del mundo, es una muestra de que la precipitación supera las pérdidas por evapotranspiración e infiltración al subsuelo (Korenfeld & Videgaray, *et al.*, 2009).

El agua superficial del país se concentra principalmente en ríos y lagos. Dicho caudal se administra distribuyéndolo en 718 cuencas hidrográficas, agrupadas en 37 regiones hidrológicas que, por su parte, forman parte de las 13 regiones hidrológico-administrativas en que se divide el país.

En los ríos del país escurren aproximadamente 399 km³ de agua anualmente, volumen que incluye las importaciones de otros países y sin considerar las exportaciones. Aproximadamente el 87% del escurrimiento se presenta en 39 ríos, cuyas cuencas ocupan el 58% de la extensión territorial continental del país; en los ríos Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Balsas, Panuco, Santiago y Tonalá, se presenta dos terceras partes del escurrimiento. De este modo, los mayores escurrimientos se localizan en las cuencas del sureste, pero también en las regiones costeras del centro en el Pacífico y Golfo de México. Al igual que la precipitación, los escurrimientos de los ríos se distribuyen irregularmente en el espacio y el tiempo para determinar, en forma natural, zonas de escasez y abundancia, o períodos con problemas de sequías o inundaciones.

Se debe tener en cuenta que debido a la variabilidad temporal y espacial de los escurrimientos, es imposible aprovechar totalmente el escurrimiento superficial, especialmente en los meses en que existe mayor abundancia.

A lo largo del territorio se tienen 11 600 kilómetros de litoral, 1.5 millones de hectáreas de lagunas costeras y 2.9 millones de hectáreas de cuerpos de agua interiores (Sedano, *et al.* CNA, 2004).

Ríos y Arroyos

Según la CONAGUA, en los ríos y arroyo de México fluyeron mil 137 millones de m³ en 2007. Sus cauces constituyeron una compleja red de 633 mil km, entre los que destacan 50 ríos principalmente, por los cuales corrió 87% del escurrimiento superficial y cuyas cuencas cubren 65% de la superficie de territorio nacional (Korenfeld & Videgaray, *et al.*, 2009).

Por el volumen de agua conducido se reconocen 37 ríos principales, de los cuales 12 drenan el Golfo de México (entre ellos el río Bravo, Panuco, Tuxpan, Tonalá, Papaloapan, Coatzacoalcos, Grijalva y Usumacinta), 19 al océano Pacífico y al golfo de California (entre ellos, los ríos Colorado, Yaqui, Fuerte, San Pedro, Culiacán, Santiago, Verde, Balsas, Papagayo, Ometepec, Tehuantepec y Suchiate) y seis son interiores (como los ríos Nazas, Aguanaval, Santa María, Casas Grandes y del Carmen). Existen también cuatro vastas zonas carentes de drenaje superficial permanente: el bolsón de Mapimí, El Salado y las penínsulas de Baja California y Yucatán, que se catalogan así debido a la escasa precipitación pluvial y a la presencia de suelos con baja capacidad de retención de agua (Arriaga *et al.*, 2000).

Por otro lado, México comparte con tres países ocho cuencas: las del Bravo; Colorado y Tijuana con Estados Unidos; las del Grijalva-Usancita, Suchiate, Coitan y Candelaria con Guatemala, y la del Hondo con Guatemala y Belice.

Los ríos Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Balsas, Panuco, Santiago y Tonalá concentran 65% del escurrimiento superficial y constituyen 22% de la superficie del país.

Por la superficie que abarcan sus cuencas destacan los ríos Bravo con 225 mil 242 km² y el Balsas con 117 mil 406 km², y por su longitud sobresalen los ríos Bravo y Grijalva-Usumacinta, que corren a lo largo de 2 mil 18 km y mil 521 respectivamente.

Lagos y Lagunas

Una de las principales fuentes de abastecimiento de agua son los lagos y lagunas, siete de los cuales tienen una capacidad de almacenamiento de 10 mil 410 millones de m³ y sus cuencas se extienden por una superficie de 692 km².

Destacan en México cerca de 70 lagos, cuyas extensiones varían entre 1 000 y más de 10 000 ha, y cubren en conjunto un área de 370 891 ha (66% corresponde a embalses mayores de 10 000 ha [De la Lanza y García, 2002]).

Existen 137 lagunas costeras y 14 000 reservorios, de los cuales 83.5% tienen una superficie menor de 10 ha (Arriaga *et al.*, 2000).

Humedales

Según la Convención relativa a los Humedales (Convención Rarasar), en esta categoría se incluyen los deltas, ríos, arroyos, lagos, lagunas, pantanos, turberas, oasis, cenotes, marismas, esteros, manantiales, manglares, talaes, rias y charcas. Una definición más amplia incluiría además presas, arrecifes someros, sistemas insulares, zonas intermareales y selvas inundables. Estos sistemas constituyen una diversidad de superficies cubiertas de agua con un régimen natural o artificial, permanente o temporal, estancado o corriente, dulce, salobre o salado, incluidas las aguas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda 6 metros México tiene registrados ante la Convención Ramsar 54 humedales con una superficie de 5 115 393 ha, entre los que destacan Ría Lagartos, Cuatrociénegas, La Encrucijada, Marismas Nacionales, Pantanos de Centla, Delta del río Colorado, Dzilam de Bravo, El Palmar, Laguna de Tecocomulco, Lagunas de Montebello, Sian Ka'an, Manglares y Humedales de Laguna de Sontecomapan, Sistema Lagunar Alvarado, La Mancha y El Llano (Ramsar, 2004).

Cuencas

Los espacios terrestres que por sus características físicas y naturales captan el agua de lluvia constituyen las cuencas hidrográficas. En la Ley de Aguas Nacionales (DOF, 29 de Abril 2004), la cuenca se define como una unidad del territorio, diferenciada de otras unidades, en donde el agua ocurre de distintas formas y se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar o algún cuerpo receptor interior.

Las cuencas que drenan el Golfo de México y el Mar Caribe conducen 59.8% del flujo superficial de agua del país; al océano Pacífico se drena 39.2%, mientras que en las cuencas endorreicas se transportan tan sólo el 1% restante. El 3% del volumen total fluye en la parte norte de México, mientras que 50% lo hace por los ríos del sureste. Por otra parte, del volumen medio anual de agua que escurre superficialmente, que es de 399 km³, casi 32.2% lo aportan solo ocho ríos: Bravo, Panuco, Papaloapan, Coatzacoalcos, Grijalva, Usumacinta, Lerma-Santiago y Balsas (Arriaga *et al.*, 2000)

Aguas Subterráneas

En el país se tienen identificados 653 unidades hidrogeológicas o acuíferos. La recarga de los acuíferos se estima del orden de 77.5 km³/año. Aproximadamente el 69% del agua subterránea extraída se destina al riego de 1.6 millones de hectáreas.

El 70% del volumen de agua que se suministra a las ciudades proviene del subsuelo, con lo que se abastecen aproximadamente 75 millones de personas (55 millones de los mayores centros urbanos y 20 millones del medio rural). El agua subterránea se ha convertido en un elemento indispensable en el suministro a los diferentes usuarios, en las zonas áridas constituye la fuente de abastecimiento más importante y a veces única, o en las diferentes ciudades del territorio que han tenido que recurrir a ella para cubrir sus crecientes requerimientos de agua.

En el balance nacional de agua subterránea, la extracción equivale al 33% de la recarga o volumen renovable. Sin embargo, este balance total global no revela la crítica situación que prevalece en las regiones áridas, donde el balance es negativo y se encuentra desgastado el almacenamiento subterráneo; mientras en las porciones más lluviosas del país, de menor desarrollo, fluyen importantes cantidades de agua del subsuelo sin aprovechamiento.

La presión sobre los acuíferos se incrementa debido a que, además de la extracción excesiva, los volúmenes de infiltración se reducen como resultado de la pérdida de zonas de recarga, a consecuencia de la deforestación y los cambios de uso de suelo.

Actualmente, 105 acuíferos se encuentran sobreexplotados, es decir, la extracción de agua es mayor a su recarga. Además, existen 32 acuíferos con problemas de intrusión salina ubicados en los estados de Baja California, Baja California Sur, Colima, Sonora y Veracruz (Sedano, *et al.* CONAGUA, 2011).

Acuíferos

Un acuífero se define como cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectadas entre sí, por las que circulan o en las que se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento (DOF, 29 de Abril 2004).

Los acuíferos más importantes del país se localizan en el Eje Neovolcánico Transversal; sin embargo, también se explotan los acuíferos ubicados en zonas áridas

del país (CNA, 2000). En general, la calidad de su agua es mejor que la del agua superficial.

En el país, las aguas subterráneas se han clasificado en 653 acuíferos que no necesariamente coinciden con la delimitación de las cuencas.

La dificultad de exploración de los acuíferos y su alto costo hacen que se conozca realmente poco sobre cuál es el verdadero volumen de agua subterránea y su distribución (CNA, 2004).

Disponibilidad y Utilidad del Agua

En México, la disponibilidad de agua varía considerablemente de una región a otra y la población que se asienta en cada una de éstas no necesariamente corresponde a su disponibilidad. Un indicador ampliamente utilizado es el que se refiere a la disponibilidad natural media per cápita, medido en $\text{m}^3/\text{hab}/\text{año}$.

El Valle de México tiene una disponibilidad de apenas $85 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$, para darse una idea de la grave situación, en el caso de un habitante de la región Frontera Sur le corresponderían $24\ 674 \text{ m}^3$ al año; en el Valle de México esta disponibilidad ha disminuido, ya que en 1950 era $573 \text{ m}^3/\text{hab}/$, y para el año 2025 se espera que sea únicamente de 73 m^3 por habitante.

Otro indicador de disponibilidad de agua, es el grado de represión del recurso hídrico, el cual de acuerdo con la clasificación de la ONU, en el caso del Valle de México es de 173% y se considera como sujeto a presión alta, valores superior a 40% significa presión alta y la urgencia de una administración cuidadosa de la oferta y la demanda del agua.

Usos Consuntivos y No Consuntivos

Los usos del agua se dividen en consuntivos y no consuntivos. Los consuntivos son aquellos en los que el agua es transportada a su lugar de uso y su totalidad, o parte de ella, no regresa al cuerpo de agua. En los usos consuntivos una porción del agua se evapora o transpira, o es incorporada a los productos o cosechas, utilizada para el consumo humano o del ganado, o retirada de otra forma del ambiente acuático inmediato, por lo que una parte no vuelve a la corriente o a las aguas subterráneas justo después de ser usada. Los usos no consuntivos son aquellos en los que el agua se utiliza en el mismo cuerpo de agua o con un desvío mínimo, por lo que regresa al entorno inmediatamente después de haberse utilizado, aprovechado o explotado, aunque, en ocasiones, regrese con cambios en sus características físicas,

químicas o biológicas. La generación de energía eléctrica es el principal uso no consuntivo, además del recreativo o turístico y la acuicultura (DOF, 29 de Abril 2004).

Clasificación de Usos del Agua

Consuntivos	No consuntivos
Agricultura	Energía Eléctrica (hidroeléctricas)
Domestico	Acuicultura
Pecuario	Actividades Recreativas
Energía Eléctrica (termoeléctricas)	Navegación
Industrial	Transporte

Tabla 2.1 (Semarnap/CNA, 1996)

Del total de agua naturalmente disponible, se estima que en el año 2002 se extrajeron de ríos, lagos y acuíferos del país alrededor de 72.6 km³ para los principales usos. De ellos, 62% procede de los escurrimientos superficiales y 38% de los acuíferos. De ese mismo volumen, el uso agropecuario representa 77% de la extracción (56.1 km³), seguido por el abastecimiento público con el 13% (9.6 km³) y la industria autoabastecida con 10% (7.3 km³).

Estos 72.6 km³ representan 15% del volumen natural disponible, por lo cual, según indicadores de la Organización de las Naciones Unidas, la presión sobre el recurso hídrico es moderada. Cuando esta presión sobrepasa 20% se considera alta, y en las zonas del centro, norte y noreste este indicador alcanza valores de 40%, lo que significa una limitación para el desarrollo económico (CNA, 2004).

Agua para la Vida Diaria

El acceso a los servicios de agua potable y alcantarillado es una necesidad prioritaria en cualquier sociedad del mundo y representa uno de los mejores indicadores del nivel de bienestar y desarrollo de su población. La carencia de estos servicios está directamente asociada con un bajo nivel de vida y la presencia de enfermedades que afectan la salud, así como el entorno social y económico de los habitantes que la padecen.

El artículo 115 constitucional establece que el suministro de los servicios de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y distribución de aguas residuales está a cargo de los municipios. Generalmente, éstos prestan los servicios a través de Organismos Operadores, pero también existen otras opciones que abarcan desde la intervención del gobierno estatal, hasta la concesión a empresas privadas (Sedano, *et al.* CNA, 2004).

El uso público hace referencia al agua distribuida a través de las redes municipales a hogares, comercios, industrias y a los servicios propios de municipio.

La infraestructura instalada tiene capacidad para desinfectar el 95% del agua suministrada a la población, al respecto, existen 653 plantas distribuidas en todo el país generando un caudal potabilizado de 94,647.17 l/s a Diciembre de 2011. (CONAGUA, 2011).

El agua utilizada para el abastecimiento público es de 9.6 km³, es decir 13% del total extraído, y 70% de este volumen proviene del subsuelo.

La cobertura nacional de agua potable en 2002 fue de 89.2%, y de alcantarillado de 77%; respecto a este último, sólo 61.5% de la población está conectado a la red pública, 11.4% tiene fosa séptica y 3.3% tiene otros tipos de descarga de las aguas residuales, que por lo general contaminan los cuerpos de agua. En el medio rural, 70% de la población tiene acceso al agua potable, pero sólo 37.9% dispone de alcantarillado.

Los estados más rezagados en la provisión de servicios de agua potable y alcantarillado son Guerrero, Veracruz, Oaxaca y Chiapas. San Luis Potosí, Puebla, Hidalgo, Campeche, Zacatecas y Yucatán son los más rezagados en cuanto a la red de alcantarillado, pero reflejan cifras más altas de suministro de agua potable.

Un importante problema de los servicios de abastecimiento público de agua es la alta incidencia de fugas, que oscila entre 30 y 50 % (Carabias & Landa, *et al.*, 2005).

Las fugas en la red generan presiones bajas, por lo que es muy común ofrecer un servicio tandeado, permiten la filtración de agua la cual puede contener elementos contaminantes y generar problemas de salud. El mantenimiento correctivo de las fugas es inadecuado y el mantenimiento preventivo es casi inexistente. La falta de recursos financieros provoca la utilización de materiales para la construcción de mala calidad que resultan más económicos; sin embargo, a la larga el costo de estas obras es

mayor al disminuir la vida útil de las obras y aumentar el número de fallas en los sistemas, incrementando los gastos de reparación (Ávila, 1998).

Por lo que se refiere al tratamiento de aguas residuales, del caudal de agua recolectado en centros urbanos se trata 46.5% del total, es decir 93,600. 18 l/s mediante 2 289 plantas de tratamiento, aunque, en realidad, con esta capacidad instalada se podría llegar a tratar hasta 137,082.13 l/s (CONAGUA, 2011).

A pesar de la importancia que tiene el tratamiento de aguas residuales para evitar la contaminación de cuerpos receptores, la inversión en estas obras de infraestructura ha sido incipiente, ya que se otorga prioridad al servicio de agua potable; aun para los inversionistas privados resulta riesgosa la inversión por la dificultad para recuperarla mediante tarifas (Sedano, *et al.* CNA, 2004).

No existe una cultura en torno al uso adecuado del agua. La población en general piensa que el servicio debe ser gratuito y lo debe proporcionar el gobierno; tampoco existe la conciencia del esfuerzo y costo que representa mantener y operar el servicio. De este modo el uso de las instalaciones es incorrecto, causando su deterioro y como consecuencia se eleva el costo de operación. Adicionalmente, más de un cuarto de la población urbana vive por debajo del nivel de pobreza y casi la mitad de ellos en condiciones de miseria. En algunos conglomerados grandes, más de la mitad de la población es pobre, y vive en áreas periféricas. No existen servicios para la gente pobre, en el mejor de los casos, son precarios. Los servicios gubernamentales y las empresas de agua potable, muchas de ellas financieramente débiles, no tienen incentivos para extender el suministro a los sectores de bajos ingresos, donde el costo potencial de recuperación de la inversión es bajo. En consecuencia, muchos pobladores urbanos deben comprar el agua debida, frecuentemente a un costo 35 veces mayor que el valor del agua suministrada por los sistemas públicos de las ciudades (OPS, 1994).

Análisis

La falta de interés, continuidad y visión de los tomadores de decisiones ha generado que los sistemas de abastecimiento y las instituciones encargadas de operarlos presenten severos rezagos. La mentalidad que durante años ha permeado el proceso de planeación ha sido la de buscar nuevas fuentes de abastecimiento para cubrir las demandas, en vez de cuidar y buscar una mayor eficiencia de la infraestructura y los sistemas administrativos con los que se cuenta.



Ante la falta de recursos y la escasa capacidad del gobierno para operar los sistemas eficientemente se ha invitado a la iniciativa privada a participar en el proceso de financiamiento, operación y administración de los sistemas, sin embargo, ante la economía de mercado es de esperarse que la iniciativa privada solo invierta en aquellas situaciones donde la recuperación de la inversión esté asegurada. En el caso de los sectores que no cuentan con capacidad económica el gobierno tendrá que subsidiar el costo de manera que resulte rentable a la iniciativa privada proveer el servicio a estos sectores.

Otro aspecto preponderante es el proceso de concentración de las actividades productivas y de asentamientos humanos en grandes urbes o regiones resultado de una política de planeación centralista. Aun cuando se ha tratado de equilibrar esta situación a través del desarrollo de otras regiones, la falta de continuidad en los programas y de recursos para su funcionamiento ha sido obstáculo para su desarrollo. Por lo tanto es de esperarse que aquellas regiones que ya se encuentran constituidas como polos de atracción (frontera norte y zona centro del país).

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua la estrategia para ampliar el abastecimiento de agua en las principales urbes del país (Valle de México, Guadalajara, Monterrey y Tijuana) dependerá cada vez más de fuentes superficiales. Si la tendencia es hacia un mayor uso del agua superficial como fuente de abastecimiento para las ciudades, el saneamiento de las descargas y la preservación de la calidad de las fuentes de agua resultan impostergables. A la luz de los hechos, resulta evidente que abastecer de agua potable a la población futura supondrá un reto mayúsculo (CNA, 1997).

Agua para la Agricultura

En el país existen aproximadamente 44.5 millones de hectáreas con vocación agrícola, de las cuales, el 29.4% cuenta con un alto potencial productivo, en 14% el potencial es bajo. De esta forma, son los suelos con bajo potencial los que predominan, concentrándose principalmente en el norte del país (Garcés *et al.*, 1997).

Alrededor de 21 millones de hectáreas son empleadas en actividades agrícolas donde sólo el 30% son tierras que cuentan con infraestructura hidroagrícola. Sin embargo, esta superficie contribuye con el 50% del valor de la producción agrícola, el 70% de las exportaciones y 80% del empleo en el sector (Novelo, 1998).

El agua extraída para uso agropecuario (77 % de la extracción total) es en su mayoría utilizada para el riego de 6.3 millones de hectáreas (3.4 millones de

hectáreas se ubican en 85 distritos de riego, y 2.9 millones en 39 492 unidades de riego); solo 6.3% de este volumen se consume en actividades pecuarias, acuacultura y otros usos y aprovechamientos. Aproximadamente el 69% del agua extraída de los acuíferos se utiliza en la agricultura, por lo que el agua subterránea es de gran importancia para la producción agrícola (CNA, 2004).

De acuerdo con la superficie regada, es decir la que cuentan con infraestructura hidroagrícola, México ocupa el séptimo lugar a nivel mundial con 4462 presas de almacenamiento, cerca de 3000 km en acueductos y 3392 plantas de bombeo dan servicio a distritos y unidades de riego (CONAGUA, 2011).

En la región central del país, donde la precipitación promedio varía de 600 a 900 mm, existe una mezcla de agricultura de riego y temporal. En el norte, donde el promedio de precipitación es de 200 a 500 mm, la agricultura sólo es posible con riego. Se estima que en sólo 1 % del país se puede practicar la agricultura sin riesgo por la falta de agua.

Anualmente, en el país, se extraen aproximadamente 60.487 km³ de agua para uso agrícola, de los cuales el 72% proviene de aprovechamientos superficiales y el restante 28% de aprovechamientos subterráneos (Paz, 1999).

Sin embargo, el riego que depende del agua subterránea se enfrenta a problemas crecientes debido a la sobreexplotación de los acuíferos. Los costos de extracción de agua se han venido incrementando, ya que los pozos son cada vez más profundos y se requieren de motores de mayor potencia y consumos crecientes de energía eléctrica, cuyo costo también ha aumentado.

Las carencias y deficiencias en la tecnología e infraestructura de riego hacen que la eficiencia sea únicamente del 46%, es decir, que 54% del agua asignada para riego regresa al ciclo hidrológico sin ser aprovechada en la agricultura.

De otra forma, este 54% de agua no usada en las actividades económicas a las que estaba destinada, pero que se llega a extraer de los cuerpos de agua subterráneos o superficiales, representa 42% del agua extraída total nacional, es decir, un volumen de aproximadamente 30 145 millones de m³, cantidad que es mas de tres veces la que se necesita para el abastecimiento publico de todo el país. Sin embargo, parte de esta agua regresa a los acuíferos y cuerpos superficiales sin ser utilizada en los cultivos (Carabias & Landa, *et al*, 2005).

Análisis

Las inadecuadas políticas en el manejo de la agricultura han tenido como consecuencia serios impactos económicos, sociales y ambientales. La constante política de subsidio y la falta de interés en el mantenimiento de los sistemas agrícolas, cimentados ambos en una relativa abundancia de recursos financieros y de espacio derivado en sistemas ineficientes con serios rezagos tecnológicos y de operación de sistemas, los cuales se ha visto acentuados a partir de las recurrentes crisis económicas. Asimismo, la creciente demanda de agua ocasionará la competencia entre diferentes usos a futuro. Es de esperar que el sector agrícola ceda ante las demandas de consumo doméstico que por ley tiene prioridad sobre cualquier otro uso, y las demandas industriales. Esta situación contrasta con las necesidades a futuro.

El estado ha abierto la posibilidad para que la iniciativa privada o las asociaciones de usuarios participen en el financiamiento de la infraestructura hidroagrícola. Sin embargo, es de esperarse que esta inversión esté orientada a aquellas regiones en las que el Estado dé la infraestructura agrícola, la calidad de los suelos y los sistemas organizados de usuarios que permitan recuperar la inversión. Ante la baja rentabilidad de los cultivos tradicionales, las especies cultivadas están cambiando hacia aquellas que ofrecen una mayor rentabilidad y que estén preferentemente enfocados a la exportación dada la continua contracción del mercado interno. Esta situación puede suponer un aumento en el déficit de alimentos al preferirse los mercados externos. Con este escenario el gobierno no tendrá más opción que subsidiar la producción para el mercado interno y proceder a las importaciones subsidiando los costos de venta. En ambos casos el gobierno deberá erogar grandes sumas de dinero.

El escaso o nulo financiamiento y la escasa organización de las pequeñas unidades de producción ha obligado a los pequeños productores a vender su tierras a grandes consorcios o propietarios privados que cuentan con la suficiente capacidad financiera para invertir, quedándoles como opciones vender su fuerza de trabajo como jornaleros o emigrar a otras regiones en busca de mejores oportunidades para elevar su calidad de vida con la consecuente problemática social (Ramos, 1999).

Existe una fuerte promoción para un uso mayor del agua residual en la agricultura. Sin embargo, se carece de la infraestructura para tratar el agua y de capacidad institucional para vigilar su correcta aplicación, dando por descontado la conciencia social de los usuarios, tal vez reducida a un mínimo. Las consecuencias de un uso

inadecuado pueden ser graves a largo plazo: problemas de salud pública, contaminación de suelos, contaminación de cursos de aguas superficiales y de aguas subterráneas. Las afectaciones tanto a la calidad como a la cantidad de agua serán obstáculos para el desarrollo de la población.

La creciente industrialización y urbanización, así como el ascenso en el requerimiento de mejores niveles de vida, incrementará la demanda de alimentos en los próximos años aun a tasas superiores a la del crecimiento de la población. Ante esta situación, surge como contrapartida la creciente crisis del agua. Esta relación obligará a cambios radicales en la forma de manejo del recurso hídrico a futuro, de no ser así no solo se estará enfrentando una crisis por la escasez del recurso hídrico, también se estará generando una crisis paralela: la falta de alimentos (Aguirre, 1998).

Agua en la Industria

El uso industrial se refiere al agua empleada por las industrias que se abastecen directamente de los cuerpos de aguas superficiales o subterráneas, y hacen su descarga a cuerpos receptores. No incluye termoeléctricas ni industrias que se abastecen de las redes de agua potable y vierten sus desechos en las redes de alcantarillado municipales. Se estima que la extracción total para este uso es de 4 083 km³ anuales, que representa el 5% de la extracción total a escala nacional. De acuerdo con su origen, el 61% son aguas subterráneas y el 39% aguas superficiales. Se estima que el 35% del volumen total de agua se utiliza como materia prima o como medio de producción en distintos procesos, por lo que su calidad es un factor importante para este uso, de ahí la preferencia por utilizar el agua subterránea ya que se considera de mejor calidad que el agua superficial (CNA, 2001).

Si bien la industria autoabastecida sólo consume 10% del agua total (7.3 km³ anuales), la contaminación que genera en demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅ [es la cantidad de oxígeno requerida por microorganismos aerobios para degradar la materia orgánica en un período de cinco días]) es tres veces mayor que la que producen 100 millones de habitantes. En 2002 los giros industriales con mayores descargas contaminantes sumaban un volumen total de 170.6 m³/s. la actividad con mayor volumen de descarga en la acuicultura, con 67.7 m³/s (39.6%), seguida por la industria azucarera 45.9 m³/s (27%), la petrolera 11.4 m³/s (6.6%), los servicios 10.3 m³/s (6%) y la química 6.9 m³/s (4%) (CNA, 2004).

A su vez, la industria azucarera es la que produce la mayor materia orgánica contaminante y la petrolera y química las que producen los contaminantes de mayor

impacto ambiental. El sector industrial compite por el uso del agua con otros sectores productivos, particularmente con el agrícola, y en algunas regiones esto se convierte en un factor de conflicto social y político (Carabias & Landa, *et al*, 2005).

Los volúmenes de extracción no tienen una relación directa con la distribución espacial de las actividades industriales. En los estados fronterizos con los Estados Unidos se localiza el 58% de los parques industriales del país; sin embargo, sólo se extrae el 18% del agua para uso industrial ya que en su mayoría se trata de industria seca.

Los volúmenes de agua que demanda la industria dependen de cuatro factores: que se va a producir, la tecnología con la que se va a producir; el proceso seleccionado y la eficiencia con la que se produce. Casi el 80% del consumo del agua de este sector lo realizan sólo seis ramas industriales: azucarera, química, petróleo, celulosa y papel, textil y bebidas. Del total del consumo industrial, el 50% se utiliza para enfriamiento, el 35% en procesos, el 5% en calderas y 10% en servicios (Ortiz, 1997).

Dado que los mayores consumos de agua del sector industrial en México provienen de volúmenes extraídos por las propias empresas, ya sea de fuentes superficiales o subterráneas nacionales, su aprovechamiento está sujeto al régimen de concesiones que otorga la CNA y al pago de derechos fiscales federales. Si bien aún no es cobrado el 100% del potencial recaudatorio que tienen estos derechos aplicables a la industria, por deficiencias en la fiscalización, se puede deducir que existe un subsidio cruzado de la industria a los otros usos gravados por la ley, por ejemplo el urbano, pero especialmente el agrícola, exento de pago de derechos (Sedano, *et al*. CNA, 2004).

Análisis

La cantidad de agua usada en la industria depende de una mezcla de bienes y servicios demandados por la sociedad y del proceso seleccionado para generar esos bienes y servicios. Es de esperarse que a futuro las demandas de agua para fines industriales se incrementen por dos razones principales: el aumento de la población y de los niveles de vida, con lo que una mayor cantidad de bienes y servicios se demandaran, y la búsqueda de actividades más rentables en el sector industrial; para producir una tonelada de trigo se requieren 1,000 toneladas de agua, con el mismo volumen de agua se puede elaborar productos industriales con un valor aproximado de 14000 dólares (Kölher, 1999).

El consumo de agua en la industria es sumamente heterogéneo teniéndose desde aquella industria denominada “seca” hasta aquella que demanda grandes volúmenes de agua. En términos porcentuales el uso industrial tan sólo representa un 30% del uso doméstico y el 7% del uso agrícola, por lo que, en comparación con estos usos, el industrial no significa un gran consumo. Sin embargo, por cuestiones mercadológicas, la industria tiende a ubicarse cercana a los centros de consumo, principalmente los centros urbanos, esta situación genera competencia entre el uso industrial y el uso doméstico por el agua. Generalmente la industria cuenta con sistemas de abastecimiento propios (pozos profundos, principalmente) los que son operados por ellos mismos y tienden a ser muchos más eficientes que las redes de distribución para abasto público. Esta situación puede dar la sensación de que se privilegia a la industria dotándola de mejores servicios, cuando lo cierto es que la población no cuenta con servicios eficientes (Ávila, 1998).

El resultado puede ser malestar en la población y fuertes tensiones sociales llegando a perturbar la paz social como ha sucedido en Monterrey y Morelia (Bennett, 1998).

En las últimas décadas, y por razones de mercado y de atracción de capitales, se ha privilegiado el desarrollo de parques industriales en regiones donde, por las condiciones naturales, el agua es escasa. En los estados del norte del país se tiene un crecimiento del 8% anual de la mano de obra, cuatro veces superior al promedio nacional como consecuencia de las políticas de promoción del desarrollo industrial (Secofi, 1995). Esta industria, principalmente maquiladora, no demanda grandes volúmenes de agua; sin embargo, está generando una creciente corriente migratoria derivada de la búsqueda de mejores condiciones de vida de la población; se estima que actualmente viven en la zona fronteriza 11 millones de habitantes y para el año 2020 serán aproximadamente 25 millones, lo que representa un crecimiento de más de 100%. La población en esta zona ha crecido de tal forma que ha rebasado cualquier intento de planeación teniéndose una fuerte demanda por el servicio de abastecimiento y drenaje combinado con la escasa capacidad y recursos de los municipios para dotarlos. De esta forma la ausencia de una adecuada planeación industrial está dando como resultado un agravamiento de los conflictos por la posesión del recurso y, a futuro, pondrá en entredicho la capacidad de estas regiones para seguir desarrollándose. De continuar esta tendencia el impacto en esta zona será de una magnitud difícil de manejar.

En muchos de los casos las soluciones técnicas para un manejo eficiente del agua existen. Sin embargo, la situación económica limita a las empresas el incorporar estas

tecnologías, principalmente a la micro, pequeña y mediana empresas, ya que generalmente la inversión inicial es alta, prefiriendo en la mayoría de los casos dedicar sus recursos a mantener la producción o pagar los intereses o deudas contraídas con la banca, y de esta forma asegurar su permanencia en el mercado. Además, está la falta de incentivos fiscales que realmente hagan atractivo invertir en la mejora de los procesos. En este sentido la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua establece que la industria deberá pagar de 4 pesos a 10 pesos por m³ de agua extraída según la zona de disponibilidad donde se encuentre el aprovechamiento (art. 223, frac. A, Ley Federal de Derechos en Materia de Agua), mientras que el uso agrícola que es el mayor consumidor se encuentra exento de pago (art. 224, frac. I). Por otra parte, destaca que el grueso del aparato productivo sostiene que el programa de desregulación emprendido por el gobierno no ha tenido un impacto favorable hacia la planta industrial (Becerril, 1999).

La división que vive la industria mexicana es cada año más creciente: por un lado el segmento exportador, competitivo y tecnológicamente avanzado y globalizado, y por el otro un segmento de capital local orientado al mercado interno tecnológicamente heterogéneo y dependiente del nivel de consumo interno. Mientras que el primer grupo ha permitido que las exportaciones representen más de 25% del PIB, el segundo sigue siendo el principal soporte del empleo. La situación financiera del país y de la industria retrasará los programas de protección al medio ambiente: no se cumplieron las metas establecidas en el Programa Nacional Hidráulico 1995-2000, y tampoco las del Programa Nacional Hidráulico 2001-2006. Esta situación solo pone en evidencia la falta de concordancia de las políticas ambientales con el entorno económico del país. La falta de una planeación integral resulta evidente.

El alto grado de incertidumbre sobre el comportamiento de la economía a futuro será una de las grandes limitantes para que la industria invierta en modernizar la planta productiva o instalar aquellos dispositivos que permitan un manejo del agua eficiente.

A futuro será necesario que el Estado establezca los instrumentos para que la industria pueda cumplir con los requerimientos en materia de protección ambiental y de uso eficiente del agua, a través de una planeación integral estableciendo metas reales para el corto, mediano y largo plazos. Esta planeación tendrá que ser en concordancia con los principales elementos que determinan el uso del agua y no como se ha hecho hasta ahora, partiendo de hipótesis excesivamente optimistas y de supuestos con alto grado de incertidumbre.

La actual estrategia del Estado es descansar cada vez más en la inversión privada para promover los distintos sectores de la economía; de esta forma las estructuras encargadas de la toma de decisiones se han modificado y el capital privado ha ido ganando terreno. Será necesario entonces un Estado fortalecido con suficiente capacidad para hacer cumplir la normatividad ambiental, de otra forma serán los grandes consorcios, bajo la amenaza de la no inversión, quienes determinen qué y cómo van a cumplir, quedando en entredicho la capacidad del Estado para normar (Ibarra, 1999).

Agua para Generación de Energía Eléctrica

México es uno de los cuatro países mejor electrificados del continente americano, junto con Canadá, Estados Unidos y Brasil. El agua utilizada en generación de energía excepto hidroelectricidad, por lo que contempla centrales de vapor duales, carboeléctricas, de ciclo combinado, de turbogas y combustión interna. De acuerdo a lo reportado con la Secretaría de Energía en el año 2009 la CFE y Luz y Fuerza del Centro generaron 207 TWh (1TWh= 1000 GWh), lo que represento el 88.7% de la energía eléctrica producida en el país teniendo una capacidad instalada en las plantas correspondientes de 40,303 MW o el 78% del total del país. En contraste el uso de agua en centrales Hidroeléctricas en 2009 emplearon un volumen de agua de 136.1 miles de millones de metros cúbicos, lo que permitió generar 26.4 TWh de energía eléctrica, que corresponde al 11.3% de la generación del país. La capacidad instalada en las centrales hidroeléctricas es de 11,383 MW correspondiente al 22.0% de la instalada en el país. (CONAGUA, 2011; SENER, 2010).

La utilización de agua para la generación de electricidad se emplea de dos maneras: en los procesos de enfriamiento de las centrales termoeléctricas y en presas de almacenamiento o de derivación para centrales hidroeléctricas. Durante un largo período que llega hasta la década de los setenta prevalecieron, dentro de la composición de las centrales generadoras, plantas hidráulicas que generaban el 60% de la producción total; sin embargo, debido al elevado monto de las inversiones iniciales para las plantas hidroeléctricas, las centrales termoeléctricas fueron ganando terreno y actualmente las primeras sólo generan 19% de la producción total (Sedano, *et al.*, 2004).

Las centrales hidroeléctricas utilizan la energía potencial del agua para transformarla en energía eléctrica, por lo que hacen uso de las características topográficas e hidrológicas de ciertas regiones, ya que requieren de un almacenamiento de agua que permita acumular la energía; de ahí que su distribución espacial coincida con las

zonas serranas: Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental y Sierra Madre del Sur de Nuestro país. Las centrales termoeléctricas se ubican de acuerdo con los centros de consumo, en particular en México, en el Altiplano central y zona norte, áreas en donde se han desarrollado los principales complejos industriales y donde paradójicamente se tienen escasos recursos naturales, entre ellos el agua (Chávez, 1998).

En el caso del agua utilizada en la hidroeléctrica, los problemas de abastecimiento más frecuentes se presentan sólo cuando otros usos, como el riego, requieren agua en los momentos en que las demandas de energía son mayores (horas-pico), o cuando por defectos de escasez, de temporal o de sequía disminuyen los niveles de las presas.

Aunque las cifras del uso del agua en termoeléctricas revisten poca importancia en comparación con los usos industriales totales, la instalación de centrales de este tipo genera puntualmente conflictos en la competencia por el agua. Este es el caso, por ejemplo, de las grandes centrales de Villa de Reyes en San Luis Potosí, Río Escondido y Carbón II en Coahuila y de las de la región de La Laguna (Sedano, *et al.* CNA, 2004).

Es innegable que el desarrollo de la sociedad se encuentra fuertemente ligado a una base energética, así como de su capacidad para generarla. Sin embargo, la producción, transformación, almacenamiento y consumo de energía son, sin lugar a dudas, algunos de los principales factores que han degradado al ambiente. Actualmente la generación de energía eléctrica se encuentra en un proceso de recomposición hacia esquemas que permitan cubrir demandas de los usuarios, ser más eficientes financieramente y ser menos lesivas al medio ambiente. Sin embargo, para lograr lo anterior se tendrá que trabajar fuertemente sobre algunos aspectos tanto en las centrales termoeléctricas, como en las hidroeléctricas (CFE, 2001).

Centrales Termoeléctricas

La década de los sesenta fue, en todo el mundo, un período de petróleo abundante y barato que se caracterizó por una creciente penetración de los hidrocarburos como insumo para la generación de energía eléctrica. Durante esos años, la Comisión Federal de Electricidad le dio preferencia a las plantas termoeléctricas, en especial a las que usan combustóleo o gas natural como combustible. En esta época se redujo el número de proyectos hidroeléctricos, aunque el tamaño de cada uno era mayor, y los proyectos termoeléctricos crecieron considerablemente, aumentando el tamaño de

las unidades generadoras. Asimismo, aumentó la importancia relativa de la generación termoeléctrica, que pasó de 48% de la generación total en 1960 a 70% en 2000.

Durante 1997 se utilizaron 19.736 millones de m³ de gas, 8.853 millones de toneladas de carbón y 0.343 millones de m³ de diésel, principalmente. En 1990 las emisiones totales de bióxido de carbono fueron de 444.489 millones de toneladas, donde la fuente principal fue el sector de generación de energía eléctrica con una participación del 66.8% estimaciones de la propia CFE consideran que por cada punto porcentual, con relación al volumen de generación de energía eléctrica alcanzado en 1997 (161 386 GWh), se emiten a la atmosfera 18, 687 toneladas de dióxido de azufre, 3451 toneladas de óxidos de nitrógeno, 795 699 toneladas de bióxido de nitrógeno, 33 toneladas de hidrocarburos y 1 273 toneladas de partículas. El uso indiscriminado de combustibles fósiles puede poner en entredicho el desarrollo de la termoelectricidad. De acuerdo con estimaciones de Pemex, para 1997 la producción de petróleo crudo fue de 3 022 millones de barriles con reservas probadas por 47 822 millones de barriles. Relacionando las reservas con la producción de petróleo se considera que existe un horizonte de producción de 39 años en petróleo y gas natural (INEGI, 1998a).

Asimismo, la disposición de aguas residuales provenientes de las termoeléctricas puede ser un generador de problemas al ambiente. La temperatura del agua residual puede resultar en abatimiento de las concentraciones de oxígeno disuelto y perjudicar las especies acuáticas por la poca tolerancia a las altas temperaturas y la falta de continuos ciclos de reúso y de las purgas de los equipos de enfriamiento puede modificar las condiciones fisicoquímicas de los ecosistemas acuáticos, principalmente los de agua dulce; en el caso de la disposición en el suelo se corre el riesgo de salinizar los suelos y disminuir su potencial productivo (INEGI, 1998c).

Centrales Hidroeléctricas

Los impactos generados por las hidroeléctricas, en general, son los mismos que se encuentran asociados a la construcción de presas: altas inversiones iniciales, tiempos de construcción prolongados, reacomodos involuntarios, modificaciones en la calidad del agua y regímenes hidroeléctricos, pérdida de tierras y espacios, problemas de salud en las poblaciones vecinas, disminución de la seguridad por el ataque de elementos estructurales que hacen algunos elementos contenidos en las aguas residuales, pérdida de biodiversidad y de elementos arqueológicos y culturales por inundación, entre otros (Goodland, 1996).

Actualmente existe una aparente fuerte oposición hacia la construcción de grandes presas a nivel mundial encabezada principalmente por organizaciones no gubernamentales (ONG). Esta oposición tiene como origen el “negro” pasado de la planeación de las grandes presas, en el cual sólo eran considerados aspectos técnicos sobre una estructura de decisiones vertical, generando una gran controversia sobre algunos proyectos. Sin embargo, hoy día diversos autores (Fosius, 1993; Goodland, 1996; Russo, 1994; Seabra, 1993) coinciden en señalar a la hidroelectricidad como el paso hacia las energías renovables. El reto en este caso es hacer a la hidroelectricidad aceptable a los ojos de la opinión pública y esto sólo podrá hacerse cuando las consideraciones sociales y ambientales sean tomadas tan en serio como las consideraciones técnicas y la sociedad en general se involucre en este proceso.

Dentro de los beneficios que la hidroelectricidad puede brindar, se encuentran los siguientes: es una energía renovable, alta eficiencia en convertir la energía mecánica en energía eléctrica, en promedio 85% con relación al 50 o 55% de las termoeléctricas, rápida respuesta a las variaciones en la demanda de energía, especialmente en las horas pico; la tecnología para la generación es sencilla ampliamente conocida y fácil de operar; económicamente competitiva y ambientalmente limpia; regulación del flujo de los ríos; control y protección de la tierra y poblaciones aguas abajo de las presas; abastecimiento de agua a las poblaciones; riego y desarrollo de cultivos; creación de nuevas vías de comunicación; desarrollo de la economía local, regional o nacional; desarrollo del turismo local; para propósitos de planeación y de la evaluación del impacto ambiental, uno puede anticipar cuál será el costo de las hidroeléctricas, mientras que en el caso de las termoeléctricas, éstas siempre estarán sujetas al mercado de los hidrocarburos (Forsius, 1993).

Centrales Nucleoeléctricas

Los problemas ambientales, resultado del uso de combustibles fósiles y principalmente de la producción de CO₂ y su posible repercusión en un cambio climático global, se ha presentado por la industria nuclear como un argumento para promover la generación nucleoelectrica; sin embargo, no parece probable que la virtual moratoria nuclear que existe actualmente en muchos países desaparezca mientras no se resuelvan dos problemas tecnológicos fundamentales: el de la seguridad mediante el desarrollo de una nueva generación de reactores intrínsecamente seguros, y el de la disposición final de desechos de alto nivel radiactivo de muy larga vida (CFE, 1992).

Análisis

Actualmente las expectativas de crecimiento en la demanda de electricidad son de por lo menos 6% y con un máximo de 10% anual para los próximos seis años. Para responder a este resto, es necesario instalar en los próximos seis años una capacidad de generación adicional de aproximadamente 13 000 MW, equivalente a más de la tercera parte de la capacidad disponible. Los sistemas de transmisión y distribución requieren también de fuertes inversiones para garantizar el abasto continuo, suficiente y de calidad de energía eléctrica. El total de estas inversiones implican erogaciones del orden de 250 000 millones de pesos en dicho período; este monto es aproximadamente una cuarta parte del total del presupuesto de egresos de la Federación para 1999, y superó el total de recursos que destino el gobierno a educación y seguridad social durante ese año (Secretaría de Energía, 1999).

De acuerdo con la CFE existe un potencial hidroeléctrico equivalente a una generación anual de 123 107 GWh. Las presas para generación de energía eléctrica, como cualquier gran proyecto de infraestructura, asociadas a beneficios y costos sociales, económicos y ambientales. En el caso de un país como México, en el que la disponibilidad de agua y el desarrollo de actividades productivas geográficamente no coinciden, la alternativa puede ser la construcción de presas siempre que sea necesario como paso hacia el uso de energías renovables. De lo contrario, el desarrollo económico del país y el mejoramiento de la calidad de vida de la población no podrá llevarse a cabo. Igualmente, se requieren cambios de fondo en la ideología de los directivos cargo de la generación de energía eléctrica del país, de otra manera, será imposible obtener los beneficios que resultan de la operación de la infraestructura hidráulica, principalmente las hidroeléctricas (Secretaría de Energía, 1999).



Futuro del Agua en México

La obsesión por desentrañar el futuro ha sido compañera de la humanidad por miles de años. El deseo de adivinar, imaginar, prever y sobre todo controlar los acontecimientos del mañana ha ocupado un lugar privilegiado en el quehacer de religiosos, filósofos, científicos y políticos, y también ha permeado los anhelos y la imaginación de los pueblos. Profecías, premoniciones, predicciones, pronósticos, planeación y prospectiva constituyen una muestra del abanico de actividades humanas desplegadas en torno al futuro.

Pocos componentes del mundo natural han generado tantas preocupaciones y expresiones de orden predictivo como el agua. Este interés no es casual, ya que en



todas las civilizaciones del pasado y las sociedades de nuestros días ha requerido un conocimiento lo más preciso posible sobre el comportamiento del agua, tanto de sus excesos como de su ausencia, para poder subsistir y expandirse.

Pero la tarea de imaginar el porvenir es muy riesgosa e incierta. Con mucha frecuencia los ejercicios futuroológicos más rigurosos, ya no se diga los que provienen de las tareas esotéricas, han llevado a serias equivocaciones, sobre todo cuando se ha intentado predecir la fecha y el lugar de los eventos. A finales del siglo XIX se pensaba que la ciudad de París jamás rebasaría los 2 millones de habitantes. Hasta hace unos años se decía que para el año 2000 la Ciudad de México alcanzaría los 25 millones de habitantes y que sería la más poblada del planeta, lo que nunca sucedió. En la década de los setenta del siglo pasado se pensaba que el consumo de agua a nivel mundial aumentaría, predicción que han desmentido fehacientemente los propios hechos. ¿No se dijo también desde los años cincuenta que en unos años se acabaría el agua en la Ciudad de México?

Por eso, y no obstante los impresionantes avances que se han registrado en la ciencia del agua, las bases de datos sobre los recursos hídricos y los modelos de simulación computacional, debemos ser cuidadosos con las conjeturas acerca del futuro y no convertir lo que pueden ser hipótesis y proyecciones cuantitativas en leyes exactas y predicciones infalibles.

Pero además de la falibilidad de los ejercicios predictivos, el futuro siempre es plural, es decir, existen futuros alternativos, y éstos dependen, no enteramente pero si en gran medida, de la intervención humana, la cual puede tomar cursos muy diversos. Aquí es donde se involucran las visiones, los valores y los deseos acerca del futuro (Perló, 2001).

Opciones y Acciones en Materia de Agua

Desde hace miles de años el hombre ha luchado por tener dominio sobre el agua, por combatir sus efectos destructivos y por utilizarla en su beneficio. En distintos momentos y contextos históricos ha canalizado importantes esfuerzos, recursos e ingenio para desarrollar sistemas y tecnologías que solucionen los problemas del agua. Muchas veces el auge y también la desaparición de civilizaciones enteras ha estado ligada a su capacidad o incapacidad para controlar los recursos hidráulicos.

En el siglo XX, quizá más que en ningún otro, se alcanzaron niveles impresionantes en el manejo del agua. Millones de kilómetros de acueductos, sistemas de

distribución, cañerías y colectores circundan el planeta y hacen posible conducir portentosos caudales hacia miles de millones de personas y actividades productivas en todos los rincones del mundo. Cientos de miles de presas de todos los tamaños permiten almacenar grandes volúmenes que serían utilizados cuando sea necesario; sistemas de potabilización y de tratamiento de aguas residuales y el desarrollo de prodigiosas tecnologías pueden desalinizar los mares y devolverle su potabilidad al agua más contaminada. Los avances en las ciencias en este terreno son muy prometedores. Todo esto ha permitido alcanzar enormes beneficios en materia de salud, higiene y bienestar entre miles de millones de habitantes del planeta.

Los problemas que se enfrentan también son de considerable magnitud y complejidad. Constituyen retos para el ingenio y la capacidad humana de resolver las dificultades. Los avances científicos y tecnológicos que se han experimentado abren enormes posibilidades para solucionar con mayor éxito los problemas. Indudablemente, hoy se tienen más información y conciencia sobre la gravedad de los problemas que la población misma ha generado (Korenfeld & Videgaray, *et al.*, 2009).

¿Cuáles son las opciones más prometedoras y que parecen marcar la ruta futura del mundo en materia de agua?

Desalinización

La desalinización se refiere a la amplia gama de procesos técnicos diseñados para remover las sales que contiene el agua. Este proceso ocurre y es una parte esencial del ciclo hidrológico. Existen plantas desalinizadoras desde 1929, pero es indudable que el mayor crecimiento se ha permitido en los últimos cuarenta años. En particular, este proceso ha jugado un papel importante como fuente de agua en países del Medio Oriente, el Golfo Pérsico, África del Norte y algunas islas en las cuales la carencia de agua fresca no puede ser cubierta con los métodos de abastecimiento tradicionales o de transferencias de algún otro lugar.

Fue a comienzos de los años sesenta, en Kuwait, cuando comenzó a operar una planta desalinizadora de grandes proporciones.

En términos comparativos, la desalinización sigue siendo una fuente de agua cara. No obstante, de manera creciente, inversiones privadas han desarrollado la tecnología y han expandido sus experiencias operativas y el precio ha seguido disminuyendo.

Si bien la administración de la demanda y las opciones de eficiencia en el uso del agua son todavía más atractivas desde el punto de vista de su costo, la

desalinización puede convertirse en una alternativa principal en aquellos casos en los cuales ya se han hecho los esfuerzos más importantes en el aspecto de la eficiencia y en los que las limitaciones absolutas son muy severas.

En los sesenta se comenzaron a utilizar técnicas de membrana que intentaban reproducir el proceso biológico de ósmosis. Con la introducción de la electrodiálisis se logró reducir los costos de la desalinización de las aguas salobres, pero la tecnología que más se ha empleado en los últimos años es la ósmosis inversa.

Actualmente se aplican procesos de desalinización en 120 países y para 1998 estaban en funcionamiento o se habían contratado 12 451 unidades desalinizadoras. Estas plantas tienen una capacidad total de aproximadamente 22 700 000 m³ al día, de los cuales 13 300 000 corresponden a la desalinización del agua de mar y 9 400 000 a la de otras cualidades. Las principales tecnologías empleadas son la destilación y la ósmosis inversa.

Más de la mitad de la capacidad instalada se ubica en unas cuantas naciones. Cerca de 25% de la capacidad total se halla en Arabia Saudita, 16% en los Estados Unidos, 10% en los Emiratos Árabes Unidos y 7% en Kuwait; a éstos les siguen en menor proporción Japón, España, Libia, Italia e Irán.

No obstante, todos los progresos tecnológicos, la reducción de los costos y el aumento de la capacidad instalada, es claro que desde un punto de vista global las plantas desalinizadoras sólo alcanzarán a producir una porción muy pequeña del agua utilizada en el mundo. Mientras que la apropiación global de agua se estima en 3 900 km³, la capacidad desalinizadora total sólo llega a 8 km³ al año, es decir, una dosmilésima parte del total. O para expresarlo en otros términos: el volumen total de agua producida por medio de la desalinización en un año, a finales de los noventa, equivalía al consumo de agua que se hacía a nivel mundial en 14 horas.

El principal factor que ha limitado la desalinización es de carácter económico. A pesar de la reducción de costos, dicho método sigue siendo para la mayor parte de países más caro que otros sistemas de abastecimiento. Los costos de la desalinización permanecen altos en gran medida por el precio de la energía y los de capital, así como por los mantenimientos que la compleja infraestructura de esta naturaleza requiere.

La experiencia internacional ha demostrado que el agua desalinizada puede entregarse a los usuarios a precios que varían entre 1 y 4 dólares por metro cubico, cantidad

que está por arriba de lo que pagan los consumidores urbanos de muchos países y muy por encima de lo que pagan los granjeros del oeste americano, de uno a cinco centavos de dólar por metro cúbico.

En muchos países con escasos recursos hídricos, pero ricos en petróleo, la desalinización es ya una opción vital que alcanza el 100% de toda el agua potable disponible, pero los costos de estos procesos permanecen elevados. Sin duda, los precios tenderán a bajar en los próximos años, pero hoy día la desalinización está lejos de ser una solución global para resolver el problema del abasto de agua.

Tratamiento y Uso de Aguas Residuales

Además de la desalinización, el reúso del agua mediante su tratamiento ha abierto enormes posibilidades para un manejo eficiente y sustentable del líquido. En muchos lugares del planeta sus afluentes son empleados exitosamente para diversos propósitos en la industria, los servicios, la irrigación agrícola, la inyección de acuíferos y aun para el abastecimiento de agua potable.

A partir de la década de los cuarenta el reúso y tratamiento comenzó a emplearse en la producción de acero en muchos lugares del mundo. A finales de los cincuenta la ciudad de Santee, en el sur de California, llevó a cabo un ingenioso proyecto para tratar las aguas residuales que diez años más tarde resultó en tres lagos bellamente diseñados, un nuevo campo de golf y dos albercas municipales.

Las aguas residuales tratadas pueden utilizarse prácticamente para cualquier propósito, pero en la actualidad resulta más ventajoso su empleo, desde el punto de vista económico, para grandes consumidores ubicados cerca de las plantas de tratamiento, tales como parques, campos deportivos, industrias con grandes sistemas de enfriamiento de agua, clubes de golf y determinado tipo de granjas agrícolas. Otros usos importantes son la recarga de acuíferos y la devolución de aguas a ríos y lagos.

Uno de los destinos que más potencial tiene para las aguas tratadas son los usos industriales. Su expansión en los países más desarrollados ha sido acelerada. Hay una amplia gama de usos a través de la manufactura que pueden aprovechar el agua tratada, pero los más importantes son los métodos de enfriamiento y procesamiento de materiales. Los proyectos de construcción de plantas que emplean diversos procedimientos se han multiplicado en diversos países.

Otro destino que está adquiriendo enorme importancia es la recarga de acuíferos, incluso en varios países se lleva a cabo la inyección de aguas residuales tratadas en

acuíferos sobreexplotados. Este método puede detener o desacelerar el abatimiento de estos depósitos subterráneos, proteger los acuíferos costeros ante la intrusión del agua salada y almacenar el líquido para su empleo futuro.

Una de las grandes preocupaciones que genera la recarga artificial es el riesgo de contaminación de los acuíferos. El agua extraída de los mismos debe estar libre de contaminantes químicos, biológicos y radiológicos, o por lo menos la remoción de los mismos debe ser posible a un costo razonable. En muchos países no se han desarrollado normas legales que regulen la recarga de acuíferos con aguas tratadas.

Por último, la utilización de agua tratada para uso humano se extiende cada día más. Con las tecnologías de tratamiento actualmente disponibles, prácticamente se puede producir la calidad de agua que se desee. El público usuario rechaza el líquido que proviene de alguna fuente de abastecimiento que no sea fresca, pero es indudable que en la mayor parte del mundo los ríos, lagos y reservorios que proporcionan agua para consumo humano contienen afluentes que ha recibido algún tipo de tratamiento. Londres, por ejemplo, obtiene el 20% de sus aguas para beber de un afluente del Támesis que recibe aportes de agua tratada.

La integración futura de sistemas de tratamiento al abasto de agua para consumo humano requerirá de una cuidadosa supervisión sanitaria, de un análisis económico minucioso y de un manejo adecuado de las percepciones del público. Hoy día se encuentra limitada a un pequeño grupo de casos, pero es indudable que en la medida en que el acceso a nuevas fuentes de abastecimiento se vaya limitando, el agua tratada será un componente cada vez más significativo del consumo humano.

Resumiendo sobre el tema del uso de las aguas tratadas, se puede decir que los grandes caudales de agua utilizada ya no pueden considerarse como un producto de desecho que se vierte al drenaje, a otros cuerpos de agua o al mar, sin recibir uso posterior alguno. Es más, aunque fuera exclusivamente por razones sanitarias y ambientales, sería necesario darles tratamiento. Pero las ventajas económicas, sociales y ecológicas observadas a lo largo de los años en muchos países, han demostrado que se trata de una opción de enorme importancia para el funcionamiento futuro de los sistemas de agua potable y saneamiento. Ciertamente, se trata de métodos que requieren de un manejo técnico y administrativo muy sofisticado, lo que sin duda los vuelve un tanto inaccesibles para países con bajos niveles de desarrollo económico y tecnológico, pero dada la propia complejidad de los patrones de uso y consumo, la degradación y contaminación a la que se ha sometido a los recursos hídricos y la

creciente escasez de fuentes de abasto, el tratamiento y reúso del agua ya ha dejado de ser una opción para convertirse en una necesidad (Perló, 2001).

De acuerdo con la problemática identificada y el análisis se proponen una serie de lineamientos que sería bueno considerar para lograr un consenso favorable que contribuya al desarrollo sustentable del recurso hídrico:

- ❁ Manejo eficiente del agua es zonas urbanas.
- ❁ Reducción de fugas.
- ❁ Manejo eficiente del agua subterránea.
- ❁ Intensificar el reúso y recarga de acuíferos.
- ❁ Control, aprovechamiento sustentable y saneamiento de aguas superficiales.
- ❁ Fortalecimiento de la autoridad en materia de agua.
- ❁ Promoción de una Cultura del Agua.

(Gordoa & Sedano, 2004).

El Reto del Agua

El vistazo a la situación del agua en el mundo mostraría los grandes logros obtenidos, especialmente en el siglo XX, pero también los graves rezagos y riesgos que amenazan convertirse en peligrosos para todo el planeta.

Si se desean satisfacer las necesidades de la población y de las actividades productivas, van a requerirse enormes esfuerzos y recursos. Actualmente, la inversión total anual en servicios hidráulicos -excluyendo las inversiones directas de la industria- es de 70 a 80 mil millones de dólares. Los organismos internacionales del agua consideran que para satisfacer las necesidades de los próximos años la cantidad debe elevarse a unos 180 mil millones de dólares, es decir, se necesitan 100 mil millones adicionales.

Pero no son únicamente grandes inversiones de dinero lo que se requiere. Ni siquiera se puede decir que la solución se encuentre en los espectaculares avances científicos y tecnológicos alcanzados en décadas recientes y que prometen continuar en el futuro próximo. Se necesita, primordialmente, una nueva visión sobre el agua y sus problemas. Se requiere un enfoque integrado que tome en consideración, simultáneamente, factores ecológicos, económicos, sociales, políticos y legales.



Precisar de nuevos esquemas de participación de los distintos sectores de la sociedad en el acceso a los recursos del agua y también en la responsabilidad que todos deben asumir en su cuidado y preservación. Urge una distribución más justa y equitativa de los recursos hídricos para los países, regiones y grupos sociales que enfrentan la escasez y una ineficiente calidad.

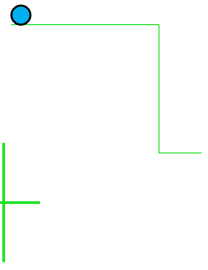
Sin dejar de reconocer y de respetar la soberanía de las naciones, los estados y municipios, tienen que buscar una solución y una política común a escala planetaria (Korenfeld & Videgaray, *et al.*, 2009).

Capítulo III

Contaminación. La Tierra y las Alteraciones que causa el Hombre en los Procesos Naturales.



Fuente: ecolisima.com, Agosto 2014



“La locura es seguir haciendo lo mismo y esperar resultado diferentes”.

— *Albert Einstein*



Premio Nobel de Física 1921 (1879-1955).

Contaminación

“Había una vez un pueblo en el corazón de Estados Unidos donde toda la vida estaba en armonía con su entorno. El pueblo se alzaba en medio de un tablero de ajedrez de granjas prósperas, con campos cultivados y laderas con huertos en las que, en primavera, se arremolinaban nubes blancas de flores sobre los verdes sembradíos. En otoño, robles, arces y abedules prendían llamaradas de colores que flameaban y brincaban sobre un fondo de pinos. Los zorros ladraban en las praderas y los ciervos cruzaban en silencio los campos, medio ocultos en la neblina de las mañanas otoñales. El lugar era famoso por la abundancia de sus aves, y cuando las bandadas de aves migratorias se reunían en primavera y otoño la gente viajaba desde grandes distancias para observarlas.”

Con estas palabras abre la científica y escritora Rachel Carson el libro *Silent Spring* (“Primavera callada”), publicado en 1962. En el primer capítulo “A fable for tomorrow” (“Una fábula para el mañana”) cuenta que un pueblo rociado desde el aire con un talco blanco (plaguicida) que hace que las aves, los mamíferos, los peces y los seres humanos enfermen y mueran. Sin los cantos de las aves, se presentó una “primavera callada”. El libro continúa con la descripción detallada del uso extendido e indiscriminado de insecticidas en Estados Unidos. Sus blancos inmediatos eran la industria de los plaguicidas y el Departamento de Agricultura, que promovía y regulaba la aplicación de esas sustancias. Aún antes de que se publicara el libro, las compañías químicas trataron en vano de desacreditarla. Después de la publicación de la obra, tanto ésta como Carson fueron difamadas por la industrias química y agrícola. Se encontraron científicos que escribieron reseñas desfavorables, la autora fue objeto de ataques verbales y los industriales imprimieron libros y se recopilaron en el expediente de “hechos” para contrarrestar el impacto de *Silent Spring*. Pese a todo, este libro impulsó a la acción al público y a la comunidad científica en muchos frentes ambientales. Rachel Carson había tocado una fibra sensible. Su obra tiene el mérito de haber estimulado el crecimiento de organismos ambientales y casi todos los comentaristas le acreditan también el nacimiento de la Environmental Protection Agency (Oficina estadounidense de Protección al Ambiente), la principal dependencia encargada de las políticas ecológicas estadounidenses (Nebel & Wright, 1999).

¿Qué es la Contaminación?

Una planta industrial emite un flujo constante de contaminantes al aire y el viento se los lleva lejos. De no ser por ésto último, no habría campos de flores en los alrededores. Pero ¿Dónde es “lejos”? ¿El pueblo, estado o país próximos, o la capa

superior de la atmósfera? Lo lamentable es que al enfrentar los complicados problemas de los desechos peligrosos, las aguas residuales, la lluvia ácida, el calentamiento mundial y la pérdida de la capa de ozono, se aprende que no hay “lejos”. ¿Se debe aceptar que la economía no es posible sin la contaminación o que dondequiera que haya gente se arrojan desechos naturales al entorno?

Profundizando en las principales formas de contaminación. Se puede ver que ya sea que se hable de contaminación del aire, del agua, por productos químicos tóxicos o por excrementos humanos y animales, hay formas responsables de manejar el problema. Es posible hacer que la gente y las actividades económicas no abrumen con desechos la tierra, el aire y el agua. Sin embargo, ocuparse cumplidamente de los desechos es un asunto tardado y muchas veces costoso, y sucede en el contexto de un sistema humano social y político que tardaría en notarse el daño que causa la contaminación y, por lo tanto, negarse a emprender acciones onerosas.

Para el hombre, el agua es de vital importancia para su consumo y su progreso, ya que la requiere en cantidades y calidades específicas para su uso personal, en el riego agrícola, para su uso industrial y en una innumerable lista. Pero ésta puede contaminarse de diversas maneras con sustancias químicas orgánicas e inorgánicas. Se entiende por contaminante a toda sustancia o materia (sus combinaciones y derivaciones), química o biológica (humos, polvos, cenizas, bacterias, residuos, desperdicios, etc.), que al incorporarse al agua (incluso al aire y a la Tierra), alteran o modifican sus características originales.

Desafortunadamente, es el mismo hombre quien ha abusado de las aguas del planeta, utilizándolas como vehículo de sus desechos, de tal forma que sus actividades han ido degradando paulatinamente el medio ambiente acuático (González, 1998).

Se puede entender por contaminación como la adición por el hombre de materiales o energía calorífica en cantidades que causan alteraciones indeseables del agua, aire o suelo. Cualquiera de estos materiales es llamado contaminante.

La contaminación es un cambio indeseable en las características físicas, químicas y biológicas del aire, del agua y del suelo, que puede afectar negativamente al hombre y a las especies animales y vegetales.

Desde el punto de vista ecológico, se puede hablar de dos tipos de contaminación: una provocada por elementos biodegradables, y otra producida por materiales no biodegradables.

Se consideran contaminantes biodegradables aquellos residuos que pueden ser descompuestos por la acción natural de organismos vivos, como lombrices, hongos y bacterias, principalmente. Este fenómeno permite que los elementos que forman tales residuos queden disponibles para su nueva incorporación a la naturaleza de una manera útil. Sin embargo, el problema con este tipo de contaminantes se presenta cuando su cantidad excede a su capacidad natural de descomposición.

Entre los materiales biodegradables están todos los tipos que se derivan de fuentes orgánicas; es decir, los que proceden de organismos vivos; y como ejemplo se encuentran el papel, el cartón, las telas de algodón, los restos vegetales y animales.

Los contaminantes no biodegradables son aquellos que no pueden ser degradados naturalmente; o bien, si esto es posible, sufren una descomposición demasiado lenta. Este factor los hace más peligrosos que los anteriores, ya que su acumulación en la naturaleza es progresiva. Los metales, el vidrio y los artículos de plástico son algunos ejemplos de dichos contaminantes.

Todo lo existente en la naturaleza puede ser alterado o destruido por la acción de diversos contaminantes (Adame & Salín, 1993).

¿Cómo se Produce?

La contaminación resulta de muy variados actos, desde derrames inadvertidos y accidentales hasta descargas tóxicas con intenciones delictivas. Cualquiera que sea la causa, la contaminación es un subproducto de las actividades económicas y sociales: cultivos, construcción de hogares cómodos, suministro de energía y transporte, manufactura de artículos, aprovechamiento de la energía atómica y las funciones biológicas básicas (excreciones). Los problemas de la contaminación se han vuelto más opresivos con los años porque tanto el crecimiento demográfico como la expansión han aumentado el consumo de materiales y energía acrecentando las cantidades de desechos que van al ambiente. Asimismo, muchos materiales muy utilizados, como las latas de aluminio, los envases de plástico e innumerables productos químicos orgánicos sintéticos, no son biodegradables, es decir, resisten el embate y la corrupción de los saprofitos y los descomponedores de detritos, y se acumulan en el medio.

Es importante observar la extensión y la diversidad de la contaminación. Cualquier parte del ambiente es susceptible a ser afectada y casi todo es contaminante. El único criterio es que la adición del contaminante causa alteraciones indeseables. El efecto de estas alteraciones podría ser en una buena medida estético (por ejemplo, el

aire enrarecido que oculta un paisaje lejano o la basura deslucen los acotamientos de las carreteras), o daña todo un ecosistema (la extinción de un pez o la tala de un bosque), o incide en la salud humana (desechos tóxicos que contaminan el suministro de agua, o el aire sucio que causa enfermedades). Asimismo, los efectos van de los muy localizados (la contaminación de un solo pozo) a los mundiales. Se acostumbra pensar en la contaminación como la introducción en el ambiente de materiales artificiales, pero también causa alteraciones indeseables la adición de demasiados compuestos naturales, como los fertilizantes que van a parar a los arroyos y los ríos, así como el dióxido de carbono que pasa a la atmósfera.

Por lo tanto la consigna “no contamines” es una burda simplificación. La misma naturaleza de la existencia humana entraña la producción de residuos. El trabajo para remediar los problemas de contaminación presentes y futuros es paralelo al concepto de desarrollo sostenible. Consiste en adaptar los medios para satisfacer las necesidades actuales de modo que se manejen los desechos en formas que no causen ni pongan en riesgo a las generaciones venideras. En cada caso la estrategia general debe ser:

- ❖ Identificar el material o los materiales que causan la contaminación (la alteración indeseable).
- ❖ Identificar el origen de tales contaminantes y los causantes de las emisiones.
- ❖ Establecer y poner en práctica de medidas para evitar que esos contaminantes ingresen al ambiente.
- ❖ Establecer y poner en práctica medios alternativos de satisfacer las necesidades, medios que no produzcan residuos contaminantes (prevención de la contaminación).

En esencia, se considera que la estrategia para enfrentar la contaminación consiste en reconocer el primer principio fundamental de la sostenibilidad: los ecosistemas se libran de los desechos y reponen los nutrientes reciclando todos los elementos de modo que evitan tanto la contaminación como el agotamiento de los recursos. En contraste con este principio, se ha dicho que los seres humanos han creado un sistema basado en el flujo unidireccional de los recursos se emplean para fabricar productos que terminan en el basurero, pero el concepto se aplica de manera similar en términos de los minerales nutrientes básicos que sustentan la vida, como nitrógeno, fósforo y potasio.

El sistema humano moderno ha sido muy poco capaz de imitar el ciclo natural de los nutrimentos. En cambio, se retiran del suelo, haciéndolos pasar por las cadenas alimentarias humanas y se desechan en las corrientes de agua, de las que casi no regresan. Además, grandes cantidades de nutrientes aplicados a los campos de cultivo, los prados y los huertos en forma de fertilizantes no entran en la cadena alimentaria, sino que se deslavan o lixivian hacia los cursos de agua (Nebel & Wright, 1999).

Contaminación del Agua

Uno de los problemas más angustiantes de estos tiempos es la contaminación y el mal aprovechamiento del agua, ese elemento que estuvo presente en el surgimiento de la vida en el planeta y, por supuesto, en su evolución hasta la aparición del ser humano.

Mientras fue nómada, el ser humano no podía apartarse demasiado, en su constante peregrinar, de la fuente de la vida, el agua. Cuando por fin se hizo sedentario, buscó generalmente lugares cercanos a ríos, lagos y mares para asentarse. Cuando esto sucedió, el agua no fue ya solo una fuente natural de vida sino, además pasó a ser objeto de trabajo, medio de transporte, almacén de alimentos, fuente de materias para elaborar toda clase de cestería, etc. El agua fue también la vigilante de higiene y, asimismo, la inseparable compañera de juegos de los niños. Todo eso y más, ha sido y será el agua.

Sin embargo, en estos tiempos, sobre todo en las grandes ciudades del planeta, resulta cada día más difícil contar con agua pura y en cantidad suficiente (Hernández, 1999).

El agua en su forma líquida es el material que hace posible la vida en la Tierra. Todos los organismos vivientes están compuestos por células que contienen al menos 60% de agua. Además, sus actividades metabólicas se realizan dentro de una solución acuosa. Los organismos pueden existir solo donde tengan acceso a suministros adecuados de agua. La capacidad del agua para actuar como solvente y de almacenar calor son consecuencias directas de su naturaleza polar. Estas capacidades la hacen muy valiosa para las actividades industriales y sociales, ya que disuelve y transporta sustancias que van desde los nutrientes hasta los desperdicios industriales y domésticos. Un vistazo a cualquier alcantarilla urbana revelará rápidamente la importancia del agua para disolver y transportar residuos. Además, debido a que el agua se calienta y se enfría con más lentitud que la mayoría de las



sustancias, es muy utilizada para el enfriamiento de las plantas de generación de energía eléctrica y para otros propósitos industriales (refiérase capítulo II). Su capacidad para retener el calor también modifica las condiciones climáticas locales en áreas cercanas a grandes cuerpos de agua. Estas áreas no tienen los grandes cambios de temperaturas que caracterizan otras áreas.

Para la mayoría de los humanos así como para algunos usos industriales y comerciales, la calidad del agua es tan importante como su cantidad. El agua debe estar libre de sales disueltas, de desechos animales o de plantas, y de contaminación por bacterias a fin de ser adecuada para el consumo humano. Los océanos, que cubren casi 70% de la superficie de la Tierra, contienen más del 97% del agua presente en el planeta. Sin embargo, el agua salada no sirve para consumo ni para muchos propósitos industriales. El agua dulce está libre de la sal que se encuentra en los océanos pero, de la cantidad que se encuentra sobre la Tierra, solo una pequeña fracción está disponible para usarse. El agua dulce sin contaminar y que es adecuada para beber se conoce como agua potable. Las primeras rutas de migración humana y el establecimiento de sitios fueron determinados en gran medida por la disponibilidad de agua potable. En un tiempo, las fuentes de agua dulce limpias eran consideradas como inagotables. Hoy en día, a pesar de los avances en perforación, irrigación y purificación, la ubicación, calidad, cantidad, propiedad y control de las aguas potables siguen representando significativos problemas.

A pesar de que en el siglo XXI, la población del mundo se triplico y el uso del agua se elevó seis veces, solo hasta hace poco se empezó a entender que probablemente se agoten las fuentes útiles de agua en algunas áreas del mundo. Algunas partes del mundo gozan de abundantes fuentes de agua dulce, mientras que en otras el vital líquido es muy escaso. Además, la demanda de agua dulce está creciendo para necesidades industriales, agrícolas y personales.

La escasez de agua potable en todo el mundo se puede atribuir directamente al abuso humano en forma de contaminación. La contaminación del agua ha afectado de manera negativa los suministros de agua en todo el mundo. En muchos de los países en vías de desarrollo, la gente no tiene acceso a agua potable segura. Según la información de la Organización Mundial de la Salud (OMS), cerca del 25% de la población humana no tiene acceso a agua potable segura. Hasta las regiones económicamente avanzadas del mundo, la calidad del agua es un problema importante. De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), cada año ocurren de 5 a 10 millones de muertes por

enfermedades relacionadas con el agua; por ejemplo, cólera, malaria, dengue, fiebre, disentería. Las Naciones Unidas también reportan que estas enfermedades se incrementaron en la década pasada y que sin grandes inversiones económicas en suministros seguros de agua potable, la cifra continuará aumentando.

Por desgracia, la perspectiva del abastecimiento de agua potable en el mundo no es muy promisoría. De acuerdo con estudios de las naciones Unidas y de la Comisión Conjunta Internacional (una organización creada por Estados Unidos y Canadá que estudia los cuerpos acuíferos que comparten las dos naciones), en la actualidad, muchas secciones del mundo están experimentando una escasez de agua dulce, además se pronostica que el problema se intensificará. Un análisis efectuado por la ONU en 2002 dice que para 2025, uno de cada tres personas en todo el mundo estará amenazada por la escasez de agua dulce. En el Tercer Foro Mundial del Agua de las Naciones Unidas se afirmó que actualmente 450 millones de personas en 29 países carecen de agua. En el reporte también se asegura que el Medio Oriente, India, Pakistán y China enfrentarán serios problemas de falta de agua. En resumen, el agua podría volverse tan importante como el petróleo, es decir, una fuente fundamental de conflicto mundial. La escasez, la competencia y las luchas crecientes referentes al agua en el primer cuarto de siglo XXI podrían cambiar dramáticamente la forma en que se valora y usa el agua, así como la manera en que se moviliza y administran los recursos acuíferos. Además, los cambios en la cantidad de lluvia cada año producirán sequías periódicas en algunas áreas, e inundaciones devastadoras en otras. Sin embargo, el agua de lluvia es necesaria para regenerar el agua dulce y, por lo tanto, es un eslabón importante en el ciclo del agua (Enger & Smith, 2006).



A continuación tres datos que enmarcan mejor el problema:

1. Solo el 1% del agua existente en el planeta puede ser aprovechado hasta ahora por los seres vivos. El 97% se encuentra en los océanos y el 2% restante está congelada. Y esto, más que de la escasez, habla de la potencialidad que tiene a futuro el recurso agua.
2. Los recursos hidráulicos se encuentran en la atmósfera, en la superficie territorial o en el subsuelo. En estos tres tipos de recipientes naturales, el agua se halla almacenada y disponible para su uso por parte de los seres vivos.
3. En el país existe suficiente volumen de agua para satisfacer las necesidades de una población creciente. No obstante, el agua se encuentra desigualmente



distribuida: hay muy poca en las entidades del norte y hay mucha en la región sureste. Por otra parte el agua sólo se encuentra determinada altura sobre el nivel del mar; y mientras que el 85% del agua disponible se encuentra a una altura menor a los 500 metros sobre el nivel del mar (msnm), el 70% de la población mexicana habita en lugares más altos que 500 msnm.

Preguntándose ahora en qué consiste el problema actual del agua se diría, con base en lo anterior, que en su escasez y en su contaminación, es decir, que en realidad se tiene tanto un problema de cantidad disponible como de calidad adecuada.

La escasez del agua consiste en la imposibilidad de disponer de la cantidad suficiente para satisfacer necesidades de muy diverso tipo. Y el agua, aun estando disponible en cantidad suficiente, puede presentar alteraciones en su composición fisicoquímica, esto es, en su alcalinidad, temperatura, oxígeno disuelto, color, olor, sabor, nutrientes (nitrógeno y fósforo); o presentar sustancias extrañas, tales como materia sedimentable, tóxicos, bacterias, aceites y grasas, sólidos disueltos, turbiedad, etcétera.

Para entender la insuficiencia del agua se puede hacer un análisis considerando en primer lugar, la inadecuada distribución de este líquido, lo que resulta más problemático en las ciudades, ya que en éstas es muy irregular el acceso a tomas de agua potable. Y en segundo, el desperdicio del agua en los hogares, en la agricultura y, sobre todo, en la industria. Resulta que esta agua se convierte en agua residual, sin casi ninguna posibilidad de volver a aprovecharla. Además, se deja que el agua de lluvia vaya al subsuelo, solo para extraerla después mediante procedimientos de aprovechamiento muy costosos (Hernández, 1999).

Un aspecto importante de la salud pública es la supervisión del abastecimiento de agua y de otras masas con las que tienen contacto los seres humanos para evitar su contaminación con aguas negras. Vale la pena entender cómo se realiza.

Es en extremo difícil, demorado y costoso hacer pruebas de todos los agentes patógenos presentes; por lo tanto, se ha ideado un método indirecto denominado determinación de coliformes fecales, que se basa en el hecho de que las poblaciones enormes de la bacteria llamada *Escherichia coli* se alojan en la parte inferior del tracto intestinal de seres humanos y otros animales, así que grandes cantidades son excretadas en las heces. Por lo menos en las regiones templadas, la *Escheria coli* no sobrevive mucho tiempo en el medio exterior. Así, se supone que si se encuentra en las masas naturales indica contaminación reciente y quizá persistente con aguas residuales. En la mayor parte de las situaciones, la *Escheria coli* no es en sí un

agente patógeno, sino lo que se conoce como organismo indicador: su presencia señala que el agua está contaminada con desechos fecales y que tal vez haya microorganismo patógenos que se transmiten en el agua. Por lo contrario, se toma la ausencia de la *Escheria coli* como prueba de que al agua está libre de tales microorganismos patógenos.



Fig. 3.1 Fuente: lagazzettadf.com. Contaminación del Agua. 3 octubre, 2013

En la prueba de coliformes fecales se cuenta el número de bacterias de una muestra de agua. Los resultados indican el grado relativo de contaminación y el riesgo de que haya microorganismos patógenos. El agua con 200 NMP (numero más probable) *Escheria coli* por cien mililitros aún no se considera segura para nadar, pero más allá de ese nivel, la corriente se marca como contaminada y hay que evitar nadar y efectuar cualquier otro contacto directo.

La utilidad de la prueba de coliformes fecales parece restringirse a los climas templados. En los tropicales, la *Escheria coli* persiste todo el tiempo en las corrientes de agua, de modo que está presente aunque no haya contaminación de aguas negras. Por el contrario, es posible que ciertos microorganismos patógenos transmitidos por el agua se muestren en ausencia de la *Escheria coli*. Por ende, en las regiones tropicales la prueba es susceptible de dar resultados falsos, tanto negativos como positivos (Nebel & Wright, 1999).

No aparece haber otra alternativa que realizar pruebas específicas y más definitivas. Desde luego, queda el hecho de que las aguas residuales son una fuente importante

de microorganismos patógenos, y que siempre conviene tratarlas para evitar epidemias.

El agua se considera contaminada cuando su composición o su estado natural son afectados. Se calcula que las reservas de agua dulce del planeta son 24 millones de km³. Con el aumento de la población y el surgimiento de las actividad industrial, la contaminación de ríos, lagos y aguas subterráneas crece (Romero & Salín, 1997).

Tipos de Contaminación del Agua

La contaminación del agua se presenta cuando algo ingresa a ésta y cambia el ecosistema natural, o interfiere con el uso que los diferentes segmentos de la población dan al agua. En una sociedad industrializada tal vez sea importante mantener completamente sin contaminar el agua y todos los drenajes, corrientes, ríos y lagos. No obstante, es posible evaluar el estado de un cuerpo de agua y realizar los diferentes pasos para preservar y mejorar su calidad mediante la eliminación de las fuentes de contaminación. Algunos contaminantes afectan de manera seria la calidad y los posibles usos del agua se dividen en varias categorías amplias.

Además, la materia orgánica disuelta es un problema importante de contaminación del agua debido a que se descompone en ella. Cuando los microorganismos están presentes de manera natural en el agua alteran la materia orgánica y, al hacerlo, consumen el oxígeno que está disuelto en el agua. Si se consume demasiado oxígeno disuelto en el agua, los organismos acuáticos mueren. La cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para descomponer cierta cantidad de materia orgánica es denominada demanda bioquímica de oxígeno (DBO). La medición de DBO de un cuerpo de agua es una forma establecer que tan contaminado está. Cuando se agrega demasiada materia orgánica al agua, todo el oxígeno disponible será utilizado. Entonces, las bacterias anaerobias (las que no requieren oxígeno) comenzarán a descomponer los desperdicios. La respiración anaerobia produce químicos de olor fétido y gusto desagradable y, por lo general, interfieren con el bienestar humano.

Un problema muy importante en todo el mundo son los organismos causantes de enfermedades. Las aguas sin tratar con desperdicios humanos o de animales domésticos o que son tratadas de manera inadecuada representan las fuentes más frecuentes de desarrollo de microorganismos.

Algunos nutrientes también son un problema de contaminación. Por ejemplo, los nutrientes adicionales en forma de compuestos nitrogenados y fosforados provenientes

de desechos animales, detergentes, aguas residuales y fertilizantes incrementan la tasa de crecimiento de las plantas acuáticas y algas. Sin embargo, los fosfatos y los nitratos por lo general están presentes en cantidades muy limitadas en el agua dulce sin contaminar y, por lo tanto, son un factor limitante en el crecimiento de plantas acuáticas y algas. (Un factor limitante es un material necesario que se encuentra en pocas cantidades, en consecuencia, un organismo no puede alcanzar su completo potencial de crecimiento). De esta manera, cuando los fosfatos o nitratos se agregan al agua superficial, actúan como fertilizantes y promueven el crecimiento de las poblaciones de algas indeseables. El excesivo crecimiento de las algas y las plantas acuáticas debido a la adición de nutrientes se denomina eutrofización. Las algas y las plantas acuáticas más grandes pueden interferir con el uso del agua al ensuciar los propulsores de los botes, tapar las tuberías de toma de agua, cambiar el sabor y el olor del agua, y provocar la acumulación de materia orgánica en el fondo. Cuando esta materia orgánica se descompone, los niveles de oxígeno disuelto disminuyen, por lo tanto los peces y otras especies acuáticas mueren.

Las partículas físicas también afectan de manera adversa la calidad del agua, pues pueden cubrir sitios de desove, actuar como abrasivos que lastimen a los organismos y transportar material tóxico.

En teoría se debería pensar en eliminar toda la contaminación, pero cualquier uso humano va a tener al menos algún impacto negativo mínimo. Hasta las actividades como la natación y el canotaje agregan partículas y químicos al agua. De manera que, la determinación de la calidad aceptable del agua también implica consideraciones económicas. La eliminación de las últimas pocas partes por millón de algunos materiales del agua quizá no mejoren de manera significativa su calidad y no sea económicamente justificable. Con mayor razón cuando se trata de materia orgánica la cual es biodegradable. No obstante, los desechos y toxinas radioactivas que pueden estar acumuladas en el tejido viviente son una cuestión diferente. Muchas veces están justificados los intentos serios para eliminar este tipo de materiales debido al daño potencial que representan los humanos y otros organismos.

Contaminación Puntual y No puntual

Las fuentes de contaminación están clasificadas como fuentes puntuales y fuentes no puntuales. Cuando una fuente de contaminación se puede identificar fácilmente debido a que tiene una fuente y un lugar definidos cuando ingresa al agua, se dice que proviene de una fuente puntual. Las tuberías municipales e industriales de descarga son buenos ejemplos de fuentes puntuales. Los contaminantes difusos, como los que

proviene de la tierra agrícola y de las superficies urbanas pavimentadas, de la lluvia ácida y de los escurrimientos, se dice que provienen de fuentes no puntuales y son mucho más difíciles de identificar y controlar. Los intentos iniciales para controlar la contaminación del agua estaban enfocados en las fuentes puntuales, dado que éstas eran fácilmente identificables; además, la presión económica y publicidad adversa se podían imputar a las compañías que continuaban contaminando desde estas fuentes (Enger & Smith, 2006).

Contaminación Natural

Desde que la vida apareció sobre la faz de la tierra el agua siempre ha contenido desechos naturales los cuales provienen de explosiones volcánicas, huracanes e incendios, además de los productos del metabolismo de los organismos acuáticos, en materia orgánica muerta que es arrastrada de la tierra a los arroyos, ríos, lagos y mares (Adame & Salín, 1997).

Contaminación Agrícola del Agua

Las actividades agrícolas son la principal causa de los problemas de contaminación del agua. El uso excesivo de fertilizantes provoca la eutrofización en muchos hábitats acuáticos, debido a que la precipitación transporta nutrientes disueltos (compuestos de nitrógeno y fósforo) hacia corrientes y lagos. Además de que el agua subterránea se puede contaminar con fertilizantes y plaguicidas. La exposición de la tierra a la erosión provoca grandes cantidades de sedimento que es agregado a la corriente de agua. En tanto, los escurrimientos de los comederos de animales transporta nutrientes, materia orgánica y bacterias. El agua que se utiliza para enjuagar la tierra irrigada y liberarla del exceso de residuos en el suelo, transporta una carga de sal tan elevada que degrada los cuerpos acuíferos. Además, el uso de compuestos químicos agrícolas produce la contaminación de sedimentos y organismos acuáticos. Pero, uno de los mayores problemas de contaminación de agua es el escurrimiento agrícola de grandes extensiones de campos abiertos.

Los agricultores pueden reducir los escurrimientos de varias maneras. Uno es dejar una zona de tierra con vegetación permanente y sin perturbar, denominada espacio de conservación, cerca de drenajes o bancos de corriente. Esto retarda el escurrimiento superficial debido a que el suelo cubierto con vegetación tiende a detener el movimiento del agua y permite que el sedimento sea depositado en la superficie de la tierra y no en las corrientes. Su implementación puede ser costosa debido a que los agricultores quizá necesiten prescindir de tierra buena y valiosa para el cultivo. Otra

forma de retardar los escurrimientos es mantener el suelo cubierto con un cultivo por tanto tiempo como sea posible. El control cuidadoso de la cantidad y el tiempo oportuno de la aplicación del fertilizante también pueden reducir la cantidad de nutrientes perdidos en las corrientes. Esto es lógico desde el punto de vista económico debido a que cualquier fertilizante que se escurra o deslave del suelo no estará al alcance de las plantas de cultivo y originará menos productividad (Enger & Smith, 2006).

Contaminación por Aguas Negras

Esta variedad de contaminación es causada por los desechos domésticos parcialmente purificados o no transformados.

Las aguas negras contienen desechos sólidos y líquidos de procedencia humana, además de aquellos que comúnmente se eliminan a través de los desagües y coladeras de las viviendas, como los detergentes. Por consiguiente, estos contaminantes están constituidos por aguas de baños, fregaderos, lavaderos y, en general, por drenaje.

Cuando las aguas contaminadas con detergentes son vertidas en arroyos y ríos, se causa la aniquilación de larvas de insectos que sirven de alimento para los peces - aun cuando el detergente aparezca en mínimas cantidades, los cuales, al carecer de su fuente alimenticia, enfrentan una terrible mortandad. De igual forma, el detergente es capaz de matar al camarón y al cangrejo de río.

Cuando las aguas negras no son bien purificadas pueden provocar serias epidemias en el hombre. La hepatitis, la poliomielitis, la fiebre tifoidea, la amibiasis y la disentería, son infecciones que se pueden adquirir por beber agua contaminada o tratada inadecuadamente (Adame & Salín, 1997).

Contaminación Industrial

Las fábricas y complejos industriales con frecuencia desechan una parte o la totalidad de sus desperdicios en los sistemas de aguas residuales del municipio. Según el tipo de industria implicada, estos desperdicios contienen materia orgánica, productos de petróleo, metales, ácidos, metales tóxicos, organismos, nutrientes y partículas. La materia orgánica y el petróleo se añaden a la DBO del agua, mientras que los metales, ácidos y materiales tóxicos específicos necesitan un tratamiento especial según su naturaleza y concentración.

En estos casos, se requerirá que la industria realice un tratamiento previo del desperdicio antes de enviarlo a la planta municipal de tratamiento de aguas residuales. Si esto no se realizara, las plantas de tratamiento deben ser diseñadas pensando en clientes industriales. En la mayoría de los casos, las ciudades prefieren que las industrias se hagan cargo de sus propios desechos. Esto permite que las industrias segreguen y controlen los desechos tóxicos y diseñen instalaciones de aguas residuales que satisfagan sus propias necesidades.

Dado que las industrias son fuentes puntuales, ha sido relativamente sencillo identificarlas como fuentes de contaminación, se han regulado de manera estricta, y han cumplido las órdenes de limpiar sus emisiones. La mayoría de las compañías, cuando remodelan las instalaciones, incluyen las plantas de tratamiento de aguas residuales como parte necesaria de un complejo industrial. Sin embargo, algunas instalaciones más antiguas continúan contaminando. Estas compañías descargan ácidos, partículas, agua caliente y gases nocivos al agua. Si bien la contaminación industrial del agua ha sido regulada de manera sustancial en los países desarrollados, en gran parte del mundo en vías de desarrollo este no es el caso, por lo que muchos lagos, corrientes y cuencas se encuentran severamente contaminados con metales pesados, otros materiales tóxicos, materia orgánica, y desperdicios humanos y animales.

Una fuente especial de contaminación industrial del agua es la explotación minera. Por su especial naturaleza, la explotación perturba la superficie de la tierra e incrementa la posibilidad de que el sedimento y otros materiales contaminen las aguas superficiales. La extracción hidráulica se practica en algunos países, e implica la aspersion de laderas con chorros de agua para desprender minerales valiosos. Muchas veces, se utilizan químicos para separar los metales valiosos de los minerales, y el desecho de este proceso también se libera en las corrientes. El agua que se drena de las minas de carbón abandonadas o en actividad con frecuencia es muy ácida. También está el caso de la pirita, un mineral que contiene azufre y es asociado con muchos depósitos de carbón. Cuando se expone a las condiciones climáticas, el azufre reacciona con el oxígeno y el agua produciendo ácido sulfúrico. Además, finas partículas de polvo de carbón se encuentran suspendidas en el agua, lo cual la hace menos valiosa química y físicamente como hábitat. Los iones disueltos de hierro, azufre, zinc, y cobre también están presentes en el drenaje de minas. El control implica la contención del drenaje de minas y su tratamiento antes de que se libere al agua superficial (Enger & Smith, 2006).

La contaminación producida por el derrame de desechos provenientes de fábricas e industrias es un problema de gran magnitud, pues hay tanta variedad de contaminantes industriales como diferentes industrias. Sin embargo, se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- a) Material flotante. Comprende espuma aceite y sólidos ligeros.
- b) Sólidos sedimentables. Partículas que se hunden; por ejemplo fragmentos de vidrio y metal, polvo de acerías y hollín.
- c) Material coloidal. Partículas muy pequeñas mezcladas en un medio líquido y con pocas posibilidades de separarse.
- d) Sólidos disueltos. Los más comunes son sales minerales, como los carbonatos.
- e) Sustancias tóxicas. Forman este grupo los elementos que envenenan a los organismos vivos y alteran el ambiente en el que viven al punto de causar, en un corto plazo, la muerte. Por ejemplo cianuro, ácido fénico, arsénico, berilio, cromo, mercurio, hidrocarburos, plomo, selenio, elementos radiactivos y venenos contra plagas.
- f) Cieno. Es una concentración de sólidos que por su abundancia y cualidades dan al agua aspecto y consistencia pastosa (Adame & Salín, 1997).

La mayor contaminación se debe a las aguas residuales provenientes de la industria. Las ramas más contaminantes son: azúcar, química, papel y celulosa, petróleo, bebidas, textiles, siderurgia, electricidad y alimentos.

Es entonces en el proceso productivo de estas ramas donde debe ponerse la mayor atención al respecto al uso y distribución del agua (Hernández, 1999).

Contaminación por Derrames Petroleros

Otra fuente de contaminación del agua que produce resultados catastróficos, son los derrames de petróleo.

En Julio de 1980 en México, se presentó una de los derrames petroleros más impresionantes. El Ixtoc, pozo petrolero ubicado en el Golfo de México frente al estado de Campeche, explotó y derramó al mar una enorme cantidad de toneladas de petróleo que se extendió en una área estimada de 1 600 km² y provocó una alta mortandad de flora y fauna marinas (Adame & Salín, 1997).

La contaminación marina por petróleo proviene de muchas fuentes. Por ejemplo, algunos accidentes como las detonaciones de las excavaciones petroleras o los percances sufridos por los tanques petroleros. En 1989, el accidente del Exxon Valdez, que encalló en Prince William Sound, Alaska, liberó más de 42 millones de litros de petróleo y afectó alrededor de 1500 km de la línea costera de Alaska. El evento tuvo un gran efecto sobre las poblaciones de animales y algas del estrecho. En 1992, las poblaciones de nutrias de río, las aves marinas y las águilas calvas, ya habían recuperado las cantidades que tenían antes del derrame. Los impactos para muchas especies en el largo plazo sobre la reproducción y susceptibilidad a enfermedades siguen estudiándose. Esto refleja la tremenda capacidad de los ecosistemas naturales para responder y recuperarse (dentro de sus posibilidades) de los eventos desastrosos.

A pesar de los accidentes como el Exxon Valdez son eventos espectaculares, mucho más petróleo se libera como resultado de descargas pequeñas e irregulares de otras fuentes menos visibles. Cerca de dos tercios de toda la contaminación marina por petróleo provocado por lo humanos proviene de tres fuentes:

1. Esguimientos de las calles
2. Desecho inadecuado de aceite lubricante de máquinas o cárteres automotrices
3. Descargas internacionales de petróleo que ocurren durante el manejo de tanques.

Con respecto a esto último, la contaminación ocurre cuando se limpian los tanques o el agua contaminada de los lastres se descarga. Los tanques de petróleo usan agua marina como lastre para estabilizarse después de que han descargado su contenido. Esta agua contaminada de petróleo se descarga de nuevo en el océano cuando el tanque se vuelve a llenar. Además de la contaminación petrolera humana, el petróleo se trasmite naturalmente en el agua de los depósitos subyacentes en muchos lugares.

Debido a que se ha incrementado la cantidad de pozos y de tanques petroleros en mar abierto, el potencial de contaminación del petróleo también ha crecido. Por ello, se han probado muchos métodos para controlar este tipo de contaminación. Algunos de los más promisorios son el reciclaje, el reprocesamiento del petróleo de la grasa que se usan en las estaciones de servicio automotriz y en las industrias, así como el cumplimiento de las regulaciones más estrictas en las excavaciones a mar abierto, la

refinación y el transporte de petróleo. Además, como resultado de los derrames petroleros de los tanques transportadores, en 1992 se hizo un acuerdo internacional que requiere que todos los nuevos tanques de petróleo se construyan con dos cabinas, una dentro de la otra. La probabilidad de que tales contenedores se rompan y derramen su contenido es mucho menor.



Fig. 3.2 Fuente: mexico.cnn.com 03 de Enero de 2013. Derrame British Petroleum.

Debido a la gran cantidad de desechos que actualmente se arrojan a los ríos, lagos y lagunas, la mayoría de las fuentes de agua que el hombre y otros seres vivos requieren para satisfacer sus necesidades se están agotando, pues los organismos que naturalmente se encargan de purificarla resultan dramáticamente insuficientes para mantenerla limpia.

La contaminación del agua ha provocado, en algunos lugares, graves intoxicaciones humanas por consumo de mariscos contaminados. Además, ha condenado a la extinción a algunas especies acuáticas, como almejas y ostras, y a varias especies de peces.

Con el objetivo de reutilizar las aguas contaminadas por la acción humana, se han creado plantas purificadoras de aguas negras. Sin embargo, es mayor la cantidad de agua que se contamina que la que puede ser purificada con estos sistemas.

Por todo esto es indispensable hacer un uso adecuado del agua. Evitar llegar al extremo de no disponer de ella. Aprovecharla conscientemente, asignando a una misma cantidad de agua varios usos (Enger & Smith, 2006).

Tratamiento de Aguas Residuales

La calidad del agua se define con base en un conjunto de parámetros, en los que se incluyen parámetros físicos, químicos, biológicos. Entre los parámetros físicos se pueden considerar están los sólidos totales en suspensión, la temperatura, el color, el olor y la conductividad. Los parámetros químicos son la materia orgánica desintegrable o no desintegrable, la materia inorgánica y los gases disueltos. En los parámetros biológicos se consideran a los microorganismos que viven en el agua.

Debido que el agua debe limpiarse antes de que se libere, la mayoría de las compañías y municipios en el mundo desarrollado mantienen instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, el porcentaje de aguas residuales que se trata en todo el mundo es muy variable. Por lo general, el tratamiento de aguas residuales se clasifica como *primario, secundario y terciario*.

El tratamiento primario de aguas residuales es principalmente un proceso físico que elimina las partículas más grandes mediante la filtración del agua a través de grandes tamices, y después permite que las pequeñas partículas se sedimenten en estanques o lagunas. El agua es sustraída de la parte superior de la plataforma de sedimentación y se libera al medio ambiente o se dirige a una etapa subsiguiente de tratamiento. Si el agua es liberada en el medio ambiente, no tiene arena o sedimento alguno; sin embargo, sigue portando una pesada carga de materia orgánica, sales disueltas, bacterias y otros microorganismos. Éstos utilizan la materia orgánica como alimento, y durante el tiempo que cuenten con oxígeno suficiente, continuarán creciendo y reproduciéndose. Si el cuerpo de agua receptora es lo suficientemente grande y los organismos tienen el tiempo necesario, la materia orgánica se degradará. En áreas muy concurridas, donde varios municipios toman agua y la regresan a un lago o corriente que está a unos cuantos kilómetros, el tratamiento primario de agua no es adecuado ya que resultan afectadas algunas porciones importantes del cuerpo receptor de agua.

El tratamiento secundario de aguas residuales es un proceso biológico que por lo general sigue al tratamiento primario. Implica el manejo de aguas residuales hasta que el material orgánico ha sido degradado por bacterias y otros microorganismos. Las instalaciones de tratamiento secundario están diseñadas para promover el crecimiento de los microorganismos. Para alentar esta acción, el agua residual se mezcla con grandes cantidades de agua altamente oxigenada o es aireada directamente, como en un sistema de filtrado por goteo o un sistema de lodos activados. En un sistema de

filtrado por goteo, el agua residual es rociada sobre la superficie de una roca u otro sustrato para incrementar la cantidad de oxígeno disuelto. La roca también proporciona una pantalla para que se adhieran las bacterias y otros microbios, de manera que estén expuestos de manera simultánea al material orgánico, al agua y al oxígeno. Estos microorganismos se alimentan de la materia orgánica disuelta y de las partículas pequeñas suspendidas, que después se incorporan en sus cuerpos como parte de su estructura celular. Los cuerpos de los microorganismos son más grandes que la materia orgánica disuelta y suspendida, de manera que este proceso concentra los desperdicios orgánicos en partículas que son lo suficientemente grandes para sedimentarse. Esta mezcla de organismos y otras partículas de materia se denominan lodos de aguas residuales. El lodo que se sedimenta consiste en microorganismos vivientes y muertos y sus productos de desperdicios.

En las plantas de tratamiento de aguas residuales de lodos activados, el agua residual se mantiene en estanques donde se bombea aire continuamente. Tiempo después, los lodos se mueven para sedimentar en los tanques en los que se puede separar el agua. Para asegurarse de que el agua residual entrante tiene la cantidad adecuada de organismos, una parte de los lodos se regresan a los tanques de aireación, donde se mezclan con el agua residual entrante. Ambos procesos producen un lodo que se sedimenta separándose del agua.

Los lodos restantes son concentrados y muchas veces secados antes de su disposición final. La disposición final de los lodos es un problema importante en los grandes centros poblacionales. La mayoría de estos se transportan a rellenos sanitarios y lagunas, y una parte se convierte en composta para regresarla a la tierra como fertilizante. Algunos municipios incineran sus lodos. En otras áreas, si los lodos de aguas residuales están libres de metales pesados y otros contaminantes que pudieran afectar el crecimiento de plantas o la calidad y seguridad de los productos comestibles, se aplica directamente sobre la tierra agrícola como fertilizante y acondicionador del suelo.

En Norteamérica y en gran parte del mundo desarrollado, el agua residual recibe tanto el tratamiento primario de aguas residuales como el secundario. Si bien el agua ha sido limpiada de partículas y materia orgánica disuelta, sigue teniendo microorganismos que pueden ser dañinos. Por lo tanto, el agua descargada de estas plantas de tratamiento residual debe desinfectarse. El método menos costoso de desinfección es la cloración. Sin embargo, mucha gente piensa que el uso del cloro debe discontinuarse, dado que la cloración es responsable de la creación de

compuestos orgánicos dañinos. Por ello, se han estudiado otros métodos para matar microorganismos. El ozono también elimina microorganismos y ha sustituido al cloro en algunas instalaciones. También son útiles la luz ultravioleta y la energía ultrasónica. Vancouver y Washington, por ejemplo, están utilizando el tratamiento de la luz ultravioleta desde 1998 como tratamiento final antes de regresar el agua al río Columbia. Sin embargo, el cloro es barato y muy efectivo, de manera que continúa siendo el principal método de desinfección.

Cada vez son más las grandes plantas de tratamiento de aguas residuales que utilizan procesos adicionales denominados tratamientos terciarios. El tratamiento terciario de aguas residuales implica una variedad de técnicas para eliminar los contaminantes disueltos que subsisten después de los tratamientos primarios y secundarios. Este tratamiento del agua residual municipal muchas veces se utiliza para eliminar el fósforo y el nitrógeno que podría incrementar el crecimiento de plantas acuáticas. Algunos municipios están utilizando los humedales naturales o artificiales para servir como sistemas terciarios de tratamiento de aguas residuales. En otros casos, el efluente de la instalación de tratamiento de aguas residuales se usa para irrigar los campos de golf, la vegetación de los caminos o la tierra de cultivo. Esta vegetación absorbe el exceso de nutrientes e impide que ingresen a las corrientes y lagos donde podrían representar un problema de contaminación. El tratamiento terciario de las corrientes de aguas residuales especializadas e industriales es muy costoso, ya que requiere tratamientos químicos específicos para que el agua elimine materiales problemáticos. Muchas industrias mantienen sus propias instalaciones de aguas residuales y diseñan procesos terciarios especiales que se adecuan a la naturaleza particular de sus productos de desecho.

Al escasear el agua en mucha partes del mundo, la gente está percibiendo el agua residual como una fuente para otros fines. El agua proveniente de las plantas de aguas residuales se puede utilizar para el riego, propósitos industriales, enfriamiento y muchas otras actividades. Por último, se plantea la posibilidad de tener un sistema de circuito cerrado para el agua doméstica, en el cual la salida de la planta de agua residual se convierta en la entrada para el suministro de agua potable (Enger & Smith, 2006).

Bosques y Deforestación

En muchas partes del mundo los bosques están seriamente amenazados. Durante la década de los noventa se perdieron en promedio casi 15 millones de hectáreas

boscosas por año, especialmente en las zonas tropicales (FAO, 2001). A esta pérdida se suma la de los numerosos y valiosos servicios que proporcionan las cubiertas boscosas, tales como la regulación de los flujos hidrológicos y la captura de carbono, además de la biodiversidad que albergan (Myers, 1997).

Durante los últimos años se ha vivido una extensa experimentación con mecanismos basados en el mercado para poder abordar estos problemas. Muchos consideran que esto puede proporcionar incentivos poderosos y medios eficientes para conservar los bosques y los bienes públicos que ellos proveen y también ofrecen nuevas fuentes de ingreso para apoyar a los habitantes de las zonas rurales. Una encuesta encontró casi 300 ejemplos de tales mecanismos en todo el mundo, y la lista aumenta constantemente (Landell-Mills & Porras, 2002).

A pesar del creciente interés mundial en los enfoques basados en el mercado para la conservación de los bosques, existe relativamente poca información disponible acerca de cómo han surgido y cómo funcionan en la práctica (Baskin, 1997).

Deforestación

Las causas de la deforestación son muchas y complejas entre las que destacan el predominio de los subsidios a la agricultura y las políticas de comercio de la madera, los cuales fomentan el cambio de uso de suelo forestal y la explotación no sustentable de los bosques. No obstante es verdad que aun sin políticas públicas que generen incentivos perversos, habría una oferta insuficiente de servicios ambientales forestales en el mercado debido, en la mayoría de los casos, a su naturaleza de externalidades o bienes públicos (Cornes & Sandler, 1996).

Considerando el caso de campesinos que enfrentan la decisión de talar árboles naturales en una zona limítrofe (entre tierras forestales y tierras con otro uso de suelo) para aprovechar la tierra con fines agrícolas. Al tomar la decisión, ciertamente consideraran los beneficios que esperan obtener de una mayor producción agrícola, ya sea para la venta o el consumo familiar. También tomarán en cuenta el costo de las herramientas indispensables para desmontar la tierra, los fertilizantes y otros insumos requeridos para producir el cultivo, más la mano de obra necesaria para desmontar el bosque y preparar las tierras agrícolas. Pero ¿qué hay de los otros beneficios que brinda el bosque y que se perderían o reducirían si se le desmonta? Si el campesino recolecta leña y otros productos no maderables, o pastorea el ganado en el bosque tendrá que tomar en cuenta la pérdida de estos servicios. Por otro lado, es probable que no considere beneficios como el de la protección hidrológica. Por ejemplo, la

reducción del bosque podría aumentar las inundaciones y la sedimentación cuenca abajo, pero el granjero que desmonta el área no será quien asuma estos costos sino que tendrán que hacerlo quienes vivan cuenca abajo. Comúnmente, los usuarios locales de la tierra no tomarán en cuenta estos costos a la hora de tomar sus decisiones. El resultado es que, desde la perspectiva de los campesinos que optan por el desmonte de la tierra, el valor del bosque parece ser considerablemente más bajo de lo que en realidad es. Puesto que los beneficios del desmonte se valoran completamente y los beneficios de mantener las áreas boscosas no, es más probable que se desmonte más bosque del que sería óptimo (socialmente) cortar. Una cuantificación completa de todos los beneficios no necesariamente daría como resultado la preservación de todo el bosque, pero ciertamente resultaría en una menor tasa de deforestación de la que actualmente existe (Southgate, 1998).



Fig. 3.3 Fuente: dforceblog.com. Campo deforestado para cultivo de Maíz. Abril 2010

Servicios Ambientales de los Bosques

Los propietarios y usuarios de los bosques saben siempre que éstos les brindan una amplia variedad de beneficios ambientales, además de bienes inestimables como la madera, las fibras, las plantas comestibles y medicinales y los animales de caza. Los servicios ambientales más conocidos de los bosques son la protección de las cuencas hidrológicas, la recreación y la belleza del paisaje. Su pérdida es una de las razones principales por las que la deforestación es causa de preocupación. Muchos de estos valiosos servicios no se intercambian en el mercado y, por lo tanto, no son tomados

en cuenta cuando se toman decisiones relacionadas con la administración de los bosques (Landell-Mills & Porras, 2002).

Adoptando una definición muy amplia del término “bosque”, que incluye cualquier uso de suelo con una cubierta arbórea sustancial. Por, supuesto no todos los bosques tienen el mismo valor. Su estructura, composición y ubicación específicas juegan un papel fundamental en la determinación de los servicios que pueden ofrecer y a quienes se los pueden otorgar. Las plantaciones de monocultivo no albergan, obviamente, mucha biodiversidad; sin embargo, pueden incidir en los flujos hidrológicos y capturar carbono. En lugar de limitar la discusión a un subconjunto de bosques, se considera más útil preguntarse qué servicios puede proporcionar cualquier tipo de bosques en particular. Incluso dentro de los bosques naturales hay una variación considerable entre los tipos y niveles de servicios que los bosques les proporcionan a los consumidores.

Los bosques proporcionan una amplia variedad de beneficios en este caso se exponen tres categorías principales de beneficios:

- ❖ Protección de la cuenca hidrológica. Los bosques pueden desempeñar un papel importante en la regulación de los flujos hídricos y en la reducción de la sedimentación. Los cambios en la cobertura forestal pueden afectar la cantidad y calidad de los flujos de agua en la parte baja de la cuenca, además de su dinámica temporal.
- ❖ Conservación de la Biodiversidad. Los bosques albergan un porcentaje importante de la biodiversidad del mundo. La pérdida de éstos es una de las principales causas de la disminución de las especies.
- ❖ Captura de carbono. Los bosques en pie almacenan enormes cantidades de carbono, y aquellos en crecimiento capturan carbono en la atmósfera.

Existen muchas maneras de clasificar los beneficios que brindan los bosques y otros ecosistemas naturales. Uno de los marcos de referencia más difundidos distingue entre los diferentes beneficios en términos de si éstos contribuyen directa o indirectamente al bienestar humano y si involucran o no el consumo de los recursos naturales.

Los servicios ambientales forestales, tales como la protección de las cuencas hidrológicas, se clasifican como valores de uso indirecto en vista del papel que juegan en apoyar y proteger la actividad económica y la propiedad. Además de estos valores

se considera que la biodiversidad tiene el valor de opción debido a su papel futuro, aunque incierto, como fuente de información genética para la industria bioquímica (Barbier & Aylard, 1996). La biodiversidad también puede tener un valor de no uso en tanto que las personas valoren el hecho de saber que una especie o un ecosistema estén siendo preservados, aun cuando no se espere verlos o usarlos alguna vez.

Sea cual fuera el instrumento para clasificar estos beneficios, la mayoría de los autores destacan los servicios ambientales más importantes para conservar los bosques o para administrarlos con más esmero. De hecho, el grado en que se mantienen los servicios ambientales forestales es uno de los criterios principales para distinguir entre los regímenes de la administración más sustentables y los menos sustentables (Higman *et al.*, 1999).

Los servicios ambientales forestales parecen ser regalos de la naturaleza que para mantenerlos no requieren más que proteger al bosque mismo. No obstante, la conservación o la mejora de los servicios ambientales muchas veces exigen que se sacrifiquen otros valores y usos de suelo competitivos, como la explotación de maderas preciosas o la conversión de tierras boscosas en tierras agrícolas. Esto plantea la cuestión de si el sacrificio vale la pena. La respuesta depende de la importancia relativa de los servicios ambientales en comparación con los usos y beneficios del bosque de un solo sitio. Es importante hacer notar que puede darse el caso de que los diferentes servicios ambientales sean siempre compatibles, lo que conduce a decisiones difíciles acerca de cuáles servicios tienen más importancia (Lippke & Bishop, 1999).

Haciendo una descripción más detallada de los tres servicios ambientales forestales se tiene:

Servicios de Protección de las Cuencas Hidrológicas

Se asocia cada vez más a los bosques con una diversidad de servicios ambientales prestados en las cuencas hidrológicas, los cuales incluyen:

- ❁ La regulación del ciclo hidrológico del agua, es decir, el mantenimiento del caudal durante la temporada de secas y el control de inundaciones;
- ❁ La conservación de la calidad del agua, es decir, la reducción al mínimo de la carga de sedimentos, la carga de nutrientes (por ejemplo, de fósforo y nitrógeno), la carga de sustancias químicas y de salinidad;

- ❁ El control de la erosión del suelo y la sedimentación; la reducción de la salinidad del suelo o la regulación de los niveles freáticos; y
- ❁ El mantenimiento de los hábitats acuáticos (por ejemplo, la reducción de la temperatura del agua mediante la sombra sobre ríos y corrientes, el aseguramiento de restos adecuados de madera y hábitat para las especies acuáticas). (Calder, 1999).

El control de la erosión es otro beneficio para la cuenca hidrológica que se atribuya al bosque. Se plantea que la filtración de agua pluvial es mayor en los bosques naturales y mixtos, lo que permite la reducción del escurrimiento y la erosión, especialmente en las pendientes más empinadas. La presencia de árboles también puede ayudar a reducir el impacto de la lluvia en el suelo y, por ende, el nivel de desalojamiento de partículas (Douglas *et al.*, 1992).

Se afirma también que los bosques ayudan a prevenir la sedimentación de los cuerpos de agua de la parte baja de la cuenca y, por lo tanto, preservan o prolongan el valor de infraestructura acuática: los canales de riego, los puertos y las vías marítimas, las represas para las hidroeléctricas y las plantas de tratamiento de agua. De hecho, la proporción de descarga de sedimentos depende de una serie de factores del sitio, incluyendo el tamaño de la cuenca de captación, la geología y la topología locales, la estabilidad de los márgenes de los ríos y el estado del uso de suelo y de los caminos (Chomitz & Kumari, 1998).

Cuando los investigadores se toman la molestia de reunir información detallada de los vínculos entre los bosques y los servicios de la cuenca, los resultados a menudo son sorprendentes. Por ejemplo, un estudio de la cuenca de Arenal, Costa Rica, (Aylward *et al.*, 1998) llegaron a la conclusión de que los impactos de la conservación de los bosques era muy positiva en la producción de las plantas hidroeléctricas. Aunque el incremento de la sedimentación a consecuencia de la conversión del bosque reduce ligeramente la capacidad de la represa Arenal del almacenar agua para la generación de energía eléctrica (y para la agricultura de riego), Asimismo, Niskanen (1998) concluye que la reforestación impone un costo significativo al reducir la disponibilidad de agua para la agricultura de riego. Dichas investigaciones destacan la necesidad de mediciones cuidadosas de las funciones hídricas antes de implantar medidas de protección de la cuenca.

Servicios de la Biodiversidad

Al igual que los demás servicios ambientales y de hecho igual que la mayoría de los recursos naturales, la medida y el valor de la biodiversidad dependen del sitio en el que se encuentra. Sin embargo, al contrario de la protección de las cuencas, los beneficios o “consumidores” de la biodiversidad a menudo están muy dispersos. Existe evidencia de que la demanda de la biodiversidad se concentra en los países relativamente prósperos, donde no solo hay más conciencia y preocupación públicas por la conservación de la naturaleza sino también más capacidad para pagar por ella (Pearce *et al.*, 1999).

Además del valor puro de existencia, otra justificación frecuentemente citada como recurso para salvar los ecosistemas naturales, es el potencial o “valor de opción” que representa el material genético natural o los compuestos que ocurren naturalmente (los metabolitos orgánicos) para la investigación farmacéutica y la aplicación de nuevos fármacos. A fin de cuentas, toda la industria biotecnológica, todavía en pañales, depende de la existencia de la vasta biblioteca natural de información genética y química aún por explotar (Pearce & Puroshothaman, 1992).

Otros valores de la biodiversidad incluyen la aplicación de sustancias químicas nuevas en la agricultura o en la industria, además de la información genética silvestre que es un almacén de información de la genética vegetal y de la selección.

Los intentos de estimar el valor futuro de la biodiversidad son especulativos, debido principalmente a la incertidumbre de los ingresos y preferencias en el futuro, además de los cambios tecnológicos. Los procesos químicos, industriales y agrícolas modernos, permiten que las empresas y los granjeros produzcan material adicional (en la granja, el laboratorio o la fábrica) sin tener que recurrir a la vida silvestre. Estas son buenas noticias en el sentido de que hay menos riesgo de sobreexplotar los recursos silvestres, aunque también limita el valor que se pueda atribuir a la biodiversidad en estado natural (Evenson, 1990).

Sumideros de Carbono Forestal

El cambio climático (el calentamiento global) hace pocos años se descartaba como algo poco probable, pero hoy en día se le reconoce cada vez más como algo real y peligroso. Este fenómeno es en parte el resultado del efecto invernadero, que deviene de la acumulación de gases con efecto invernadero (GHC por sus siglas en Inglés) en la atmósfera (incluyendo el bióxido de carbono (CO₂), al metano (CH₄) y otros compuestos). El panel Intergubernamental sobre cambio Climático (IPCC), un grupo

internacional de científicos especializados en el clima para dar asesoría a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), estima que el aumento del 30% en los niveles atmosféricos de GHC durante el siglo XX hizo que las temperaturas mundiales aumentaran 0.6°C. Lo que más contribuyó a ello fue el combustible fósil, que representa el 75% de los GHG, seguido por la degradación forestal y la deforestación que representa un 20% adicional. El IPCC pronostica que de seguir la tendencia actual, las temperaturas aumentarán entre los 1.4 y 5.8°C durante los próximos cien años (IPCC, 2000).

El IPCC calculó varios impactos potenciales derivados de los altos rangos de las temperaturas estimadas, incluyendo los niveles más elevados, eventos climatológicos más severos, erosión de las costas, aumento de la salinidad, pérdida de los arrecifes de coral protectores, más desertificación, ecosistemas forestales dañados y la manifestación más frecuente de enfermedades. Los pobres son particularmente vulnerables a los cambios climatológicos. No solo dependen más del clima para ganarse la vida (por ejemplo, con la agricultura), sino también residen en zonas tropicales que son las que probablemente padecen más por el aumento en las temperaturas y por los cambios del nivel del mar. Además, por lo general los pobres carecen de la capacidad financiera y técnica para ajustarse a los impactos del calentamiento global (Cline, 1992).

Además de ser más baratos que los métodos alternativos para reducir el calentamiento global, la captación de carbono tiene el potencial de agregar un valor significativo a las empresas forestales. Los beneficios económicos del almacenaje de carbono generalmente se definen en términos de costos y daños evitados. Este método toma en cuenta las estimaciones de los daños marginales causados al liberar CO₂ a la atmósfera. Fankhauser (1995) revisa las investigaciones previas y lleva a cabo su propio análisis para proponer una cifra "central" o de referencia de US\$20 por tonelada. Este estudio refina los trabajos previos al modelar los impactos del cambio climático en diferentes regiones del mundo.

Con estas estimaciones, son diversos los estudios de casos prácticos que calculan el valor del almacenaje de carbono en los bosques en varios entornos. Con el factor del valor unitario del beneficio, el investigador solo tiene que determinar la cantidad de carbono almacenada o liberada en varios escenarios de uso de suelo alternativos de una región en particular.

Se cree que los servicios ambientales están entre los beneficios más importantes que brindan los bosques. Normalmente se menciona la protección de cuencas hidrológicas, la conservación de la biodiversidad y la captación de carbono como justificación de la conservación forestal o como criterios e indicadores clave de la administración forestal sostenible. En muchos casos se afirma que dichos servicios ambientales tienen más valor que la madera y otros productos provenientes del bosque.

Recientemente ha mejorado considerablemente la interpretación científica del papel que los bosques realizan en estos servicios ambientales. Cada vez queda más claro que la naturaleza y la magnitud de los servicios ambientales dependen en gran medida del sitio, y que su valor económico varía con el número y las actividades de los habitantes de las poblaciones cercanas y lejanas a los ecosistemas. Los costos y riesgos de asegurar los servicios ambientales mediante la silvicultura también se entienden mucho mejor, lo mismo que los conflictos y la complementariedad entre los diferentes servicios ambientales y los demás usos de las tierras boscosas. Es un hecho que en muchas partes del mundo, los valiosos servicios ambientales que se podrían obtener a un costo relativamente bajo, se desperdician debido a políticas forestales inadecuadas o ineficaces (Bishop & Landell-Mills, 2003).

Deterioro de los Bosques

El conjunto de recursos explotados en México para fines agrícolas (agua, suelo, vegetación) ha traído a la larga saldos negativos para los sistemas naturales. El deterioro ambiental como producto del desarrollo agrícola en general, tanto en las unidades con tecnología moderna como en aquellas donde se asienta la población campesina más pobre, es un fenómeno extendido a nivel nacional.

Por un lado, las modalidades de una agricultura tecnificada característica del norte y noreste del país y algunas regiones del centro son demandantes crecientes de insumos altamente contaminantes, como los agroquímicos, que incluyen fertilizantes, herbicidas e insecticidas, de los cuales al mantener en uso permanente y continuo generan altos niveles de afectación al medio ambiente, degradando agua y suelo; además, la aplicación de estos sistemas productivos implica cuantiosos gastos de energía ya que su uso se basa en el consumo intensivo de combustibles fósiles, situación que se vuelve más perjudicial si se agrega el hecho de que este tipo de agricultura está fundamentada en la práctica de monocultivos extensivos que proporcionan mayores ganancias al agricultor, sobre todo los destinados a la exportación.

La creciente demanda de alimentos y granos básicos producto del aumento constante de la población mexicana (que rebasa ya los 112 millones en el año 2010 según el Censo de Población 2010), ha conducido irremediablemente a abrir nuevas tierras al cultivo a costa del deterioro de los ecosistemas más frágiles como son las selvas húmedas de México, ha originado también la sobreexplotación de los mantos freáticos de las zonas áridas y semiáridas. La deforestación de bosques de pino y encino en las zonas templadas son claros ejemplos de deterioro ecológico producto de las prácticas agrícolas, en muchos casos de sobrevivencia del campesinado pobre, que se suma a otros tipos de agricultura de capital intensivo en las zonas de riego donde impera la lógica de la ganancia, rigiendo así patrones productivos específicos.

Ganadería

La ganadería es una actividad fuertemente depredadora del ambiente natural al afectar los ecosistemas tropicales, templados y a los de zonas áridas. Lejos de ser una actividad económica integral y congruente con la variación natural del territorio nacional, implica de una u otra forma y a diferentes escalas la deforestación de bosques, originando un cambio drástico al abrir amplias zonas de pastizales y promover la desaparición de fauna silvestre endémica. Por su parte, la práctica extensiva ganadera origina la compactación de suelo y reduce la permeabilidad por el sobrepastoreo que desplaza y desequilibra el balance ecológico original del terreno.

Estas relaciones contradictorias entre la producción ganadera y el entorno natural en que se desarrolla han ido en aumento a lo largo del tiempo. En 1950 por ejemplo, la superficie ganadera era de 50 millones de hectáreas y pasó a cerca de 110 millones en 1995, casi las dos terceras partes del territorio nacional. De los estados de la República, 16 dedican más del 50% de su territorio a actividades ganaderas, aunque entidades como Veracruz, Oaxaca, Tabasco y Guerrero fluctúan entre 60 y 80%, superficies que se inscriben dentro de los ecosistemas tropicales (SEMARNAP, 1996).

La mayor riqueza de especies está ubicada en el trópico húmedo, donde Chiapas y Veracruz sobresalen por una flota calculada en 8 000 especies cada uno. Gran parte del territorio de estas entidades ha sido convertido a áreas ganaderas, desplazando a la agricultura y a los bosques tropicales a una velocidad de 6% anual. Esta velocidad con que ha aumentado la ganadería a costa de los ecosistemas tropicales genera incalculables daños ecológicos, incluso fomentados por los propios organismos gubernamentales como el Banrural al otorgar créditos para la explotación de selvas superficiales que pueden albergar más de 260 especies de plantas por hectárea.

Dentro de la zona templada, donde se localiza el bosque de pino y encino, el 21% de su superficie se ha convertido a la actividad ganadera. La pérdida del bosque templado y la quema del sotobosque para producir cenizas que finalmente son utilizadas como fertilizante para fomentar el crecimiento de hierbas y pastos como forrajes para el ganado, originan la pérdida de la cubierta arbórea original y conduce inevitablemente a procesos erosivos del suelo, toda vez que en esa zona predominan relieves abruptos y montañosos (Rzedowski & Barrera, 1995).

La producción ganadera en el norte árido y semiárido es muy importante. Aquí es común el sistema extensivo de pastoreo sobre pastos semidesérticos, en cuya región, por la composición de flora y fauna, abundan los endemismos. En esta zona el sobrepastoreo es de tres a cuatro veces superior a las normas técnicas que se han determinado para este tipo de suelo y pasto, por lo que esta alta densidad conduce a una intensa compactación del suelo y contribuye a ampliar la desertificación y la extensión de especies endémicas.

Resulta evidente que la práctica ganadera como actividad económica es más redituable que la agricultura y donde ésta última complementa a la primera, es promovida y permitida bajo riesgos ecológicos críticos por el sector oficial. Las políticas que ignoran en su aplicación el funcionamiento de los ecosistemas y la riqueza natural biológica que posee nuestro país provocarán cambios irreversibles en la economía de los ecosistemas (Toledo, 1998).

Explotación Forestal

De acuerdo con datos publicados por la antes SEMARNAP ahora SEMARNAT, México ocupa el cuarto lugar mundial en diversidad de especies forestales, independientemente de que a causa de la deforestación, incendios forestales, tala inmoderada y plagas pierde anualmente más de 500 000 hectáreas en las que las selvas son las más afectadas.

En México la superficie continental es de 194,317,118.10 ha y la cobertura vegetal forestal abarca aproximadamente 138 millones de hectáreas (71%) y el 29% restante corresponde a usos de suelo agrícola, pecuario, zonas urbanas y acuícola. (SEMARNAT, 2010)

De esta superficie arbolada, actualmente se cuenta con menos de 800 000 hectáreas de selvas húmedas o bosques tropicales perennifolios (los ecosistemas terrestres de mayor diversidad y productividad biológica), dispersas en la región Lacandona, en los

Chimalapas y en algunos manchones aislados e inaccesibles en Veracruz y otras regiones de Oaxaca.

El volumen del potencial productivo a nivel nacional asciende a 2 803.5 millones de m³ de los cuales 78.5% se localiza en 10 estados. Las existencias de bosques tanto coníferas como de latifoliadas de clima templado y frío se calculan en 1 831 millones de m³. De este volumen total, Durango ocupa el primer lugar con 410.8 millones de m³ (22.4%), Chihuahua con 266.1 millones (14.5 %), Jalisco con 176.1 millones (9.6%), Michoacán con 157.3 millones (8.6 %) y Guerrero, quinto lugar, con 152.2 millones (8.3%).

En cuanto a las selvas tanto altas y medianas como bajas asciende a 972.5 millones de m³ de madera, de las cuales el 65.2% corresponde a las selvas altas y medianas y el 24.2 % a selvas bajas. El 10% está compuesto por tres tipos de selvas con cierto grado de perturbación (INEGI, 2007/Rzedowsky, 1986).

Adicionalmente se estima que el incremento en volumen de madera es de 24.9 millones de m³ anualmente en bosques de coníferas, al mismo tiempo que 109.2 millones de hectáreas (73.4% del total forestal) tienen potencial de producción de carácter maderable y no maderable.

Considerando las cifras anteriores México posee todavía una importante superficie forestal a nivel regional con una vocación natural para la actividad forestal; sin embargo los incendios, la tala inmoderada, la deforestación para abrir nuevas tierras para actividades agrícolas y ganaderas que significa cambios en el uso de suelo, el más uso de especies y presencia de plagas naturales e inducidas por factores antropogénicos, están contribuyendo a reducir la superficie forestal de todo tipo de bosques, lo cual disminuye el potencial productivo de los mismos, empobreciendo y vulnerando los procesos internos de las economías locales y regionales relacionadas u derivadas de la explotación forestal.

La deforestación persiste en la actualidad a ritmos muy elevados, ubicando al país entre los primeros del planeta en este rubro. Las tasas actuales de deforestación son superiores a las 500 000 hectáreas por año, con mucha mayor incidencia en la zonas de alta densidad campesina, como el sureste mexicano.

Los incendios forestales tanto de pastizales como de áreas boscosas son una de las causas principales en la pérdida forestal comercial a gran escala, casi exclusivamente sobre bosques de pino y encino para la producción de papel y celulosa, de madera

aserrada, manufactura de muebles cuyas industrias poco se preocupan por reforestar los bosques talados de los que se extraen jugosas ganancias. Este mismo problema se presenta inevitablemente en la zona del trópico húmedo, donde la explotación de los bosques se limita a extraer las dos únicas especies con un alto valor en el mercado, el cedro y la caoba, con sus irremediables consecuencias ambientales en los ecosistemas selváticos.

En condiciones de sobrevivencia, la población local de zonas áridas explotan selectivamente especies propias de la región como la candelilla, la lechuguilla, la palma loca, la jojoba, el mezquite para la extracción de aceite, cera, fibra, leña, etc., hasta llegar en algunos casos a su desaparición local.

La deforestación obedece a diferentes causas según la región y el tipo de bosques, sin embargo la expansión de la frontera agrícola y pecuaria ha sido el factor principal del incremento en la disminución del área forestal nacional. Según INEGI, entre 1970 y 1990 los terrenos agrícolas se incrementan un 39%, los de la ganadería en 15% y el área forestal se redujo un 13%. Los datos señalan a Yucatán, Quintana Roo y Chiapas como los estados donde se experimentó una expansión agrícola más acelerada, mientras que la ganadería creció más en Quintana Roo y Campeche. Cabe señalar que la ganadería es responsable de casi 60% de la superficie deforestada en selvas y 28% en bosques, mientras que la agricultura deforesta entre 10 y 14% a las selvas y un 17% a bosques, los incendios afectan al 50% de los bosques y entre un 7% y 22% a selvas.

Las plagas y enfermedades constituyen otro factor natural y antropogénico que en las áreas forestales tienen una influencia mayor, sobre todo en aquellas donde los incendios provocados, el sobrepastoreo, la tala clandestina y cambios en el uso de suelo son recurrentes.

Particularmente graves y complejos son los problemas que afectan la actividad forestal en México: los actores sociales, el modelo de desarrollo adoptado, la crisis social que vive el campo, las contradicciones existentes en la tenencia de la tierra, los conceptos individualistas y egoístas que dominan en la industria del sector para explotar el recurso, la política neoliberal del gobierno mexicano hacia el campo mexicano, etc., forman parte de una complicada red que cierra toda posibilidad de conducir los destinos del uso de los recursos forestales por el camino del desarrollo sustentable.

Sin embargo, a pesar de ello y siguiendo patrones productivos alternativos, existen numerosas comunidades indígenas en Quintana Roo, Chiapas, Guerrero, Oaxaca,

Durango, Jalisco, Colima y Campeche que cuentan con amplia experiencia en la administración comunitaria de ejidos forestales, fruto de una larga lucha por recuperar el control de la tierra y la producción forestal alternativa.

Las experiencias y conocimientos asimilados a lo largo del tiempo en torno al manejo comunitario del bosque y las prácticas productivas integrales del aprovechamiento incluso de otras especies, deberían ser revalorizados e incorporados al acervo de conocimientos científicos modernos que se tienen actualmente en las zonas forestales y aplicarse conjuntamente como parte de una política forestal territorial regional que tome en consideración los intereses comunitarios locales y los recursos que les pertenecen a dichas comunidades (Challenger, 1998).

Deforestación e Incendios

Los incendios forestales son un grave problema para el país, ya que además de la pérdida de la riqueza natural y económica se consumen grandes cantidades de bosques causando severos daños a la reserva biótica debido a que se activa un proceso de cambios del suelo que se expresa en distintos grados de aridez, dependiendo del tipo de suelo y de la intensidad del incendio. De no aplicarse un plan sostenido de reforestación en las zonas siniestradas, la deforestación será un proceso tendencial cuyos resultados en el mediano plazo serán de verdadero desastre natural.

El fuego es el instrumento más peligroso a través del cual se conduce el proceso de deforestación. Por su parte, los elementos atmosféricos son los factores más cambiantes en un incendio forestal; los principales elementos son: la temperatura ambiental, la humedad relativa, la dirección y la velocidad del viento, y la lluvia. Se considera incendio forestal el fuego con una ocurrencia y propagación no controlada que afecta selvas, bosques o vegetación de zonas áridas o semiáridas. Existen tres tipos de incendio: superficiales, de copa o corona y subterráneos. Se estima que el 93 % de los incendios reportados a nivel nacional son de tipos superficial.

En México los incendios son en su mayoría provocados intencionalmente y una proporción muy alta de estas áreas afectadas se destina a la agricultura o ganadería, propiciando la degradación ecológica del lugar y procesos intensivos de erosión. De acuerdo con datos oficiales, los incendios registrados han dado cuenta cada año de una superficie de entre 100 000 y 300 000 hectáreas. Sin embargo, en 1998 considerado el de mayor daño ecológico, el periodo de siniestros arrojó una superficie afectada superior a los 800 000 hectáreas.

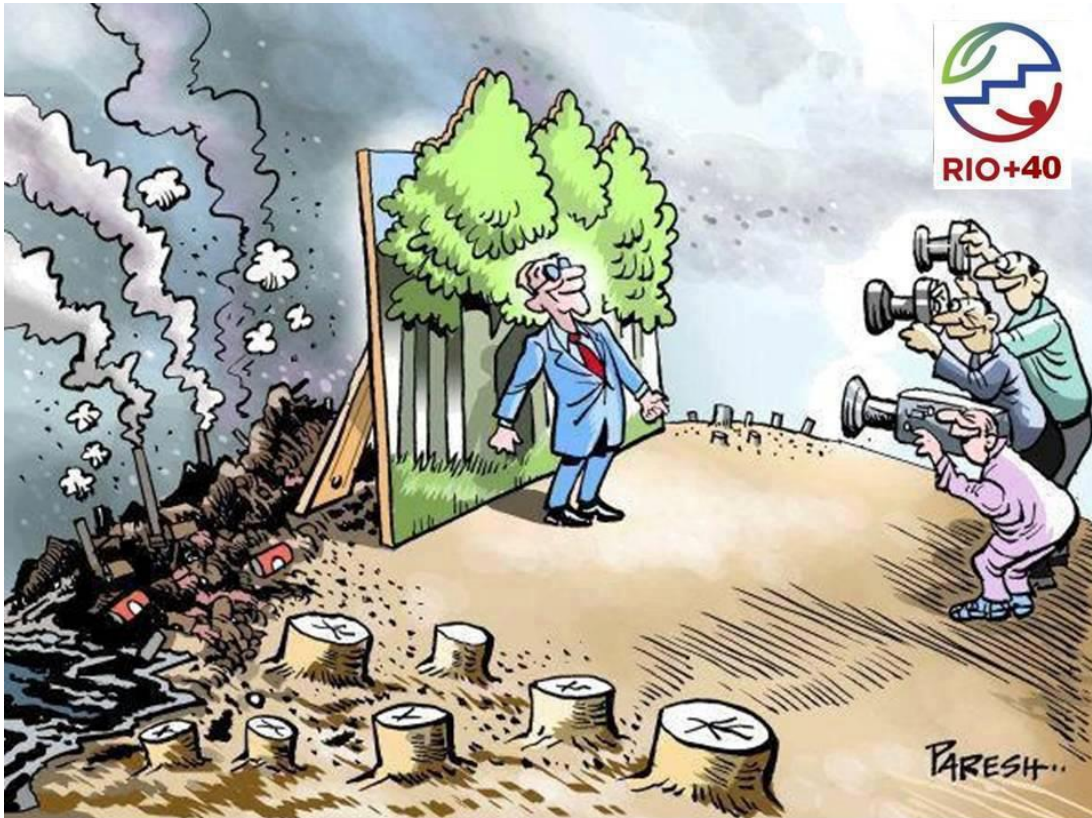


Fig. 3.4 Fuente: fotosoimágenes.com. Caricatura de Contaminación y Deforestación. Agosto 2014

Por su parte, los descuidos humanos son otra causa de que se inicien los bosques, pero las condiciones atmosféricas propician su rápida propagación y con ello una mayor dificultad para su control y su extinción. Las fuertes ráfagas de viento diseminan el fuego rápidamente y llevan el humo generado por el incendio a otros estados, sumando a todo lo anterior los efectos ambientales negativos, pues a la pérdida de organismos se incluye la contaminación atmosférica por el incremento de humo, CO_2 y demás gases que arroja la combustión de la madera. Se estima que el 97% de los incendios forestales que han ocurrido en el país son de origen humano, intencional o no. De estos el 47% son producto de las quemadas agrícolas, mismas que ocurren sin cuidado y se escapan hacia las zonas forestales (*El Financiero*, 27 de Mayo de 1998).

En México de 1970 al 2012, han ocurrido un promedio anual de 7,508 incendios forestales con una superficie promedio anual de 238,892 ha. Estos promedios aumentan en el periodo 2007-2012, cuyo promedio anual de número de incendios es de 8,434 con una superficie promedio anual de 348,000 ha.

A escala mundial se observa una tendencia del aumento del peligro y el riesgo de incendios forestales. Dicha tendencia se asocia a factores, tales como la mayor interacción entre las poblaciones humanas y los ecosistemas forestales a causa del

avance de la frontera agrícola; la urbanización, la deforestación y fragmentación de los hábitats forestales y el cambio climático global, que implica un aumento de las condiciones favorables para la propagación de incendios. (DOF, 2014).

Los Bosques y El cambio Climático

Se sabe que los bosques juegan un papel importante en la regulación del clima global. Las plantas verdes toman el bióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera en el proceso de la fotosíntesis y lo utilizan para elaborar azúcares y otros compuestos orgánicos necesarios para su crecimiento y metabolismo. Las plantas de madera de larga vida almacenarán el carbono en la madera y en otros tejidos hasta su muerte, cuando empiezan a descomponerse. Después, pueden liberar el carbono de su madera a la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), o de metano (CH_4), éste puede integrarse al suelo como materia orgánica.

La captura forestal de carbono se basa en dos cuestiones principales: la absorción activa de la nueva vegetación y las emisiones evitadas de la vegetación existente. La primera perspectiva incluye a las actividades que implican la plantación de árboles nuevos (como la forestación, la reforestación o la agrosilvicultura) o el aumentar las tasas de crecimiento de la cubierta forestal existente (como mejores prácticas de silvicultura). También incluye el sustituir el combustible fósil por una biomasa producida de manera sostenible con el fin de reducir las emisiones de carbono que provienen de la producción de energía. La segunda perspectiva considera la prevención o reducción de la deforestación y el cambio de uso de suelo o la reducción del daño a los bosques existentes. Ésta puede incluir la conservación directa de los bosques o de métodos indirectos, como el aumentar la eficacia productiva de los sistemas de agricultura de corte y quema o el mejorar la eficacia del uso final de los recursos de leña; ambos reducirían la presión sobre los bosques existentes. Otros ejemplos de acciones para disminuir la existencia de carbono son: las prácticas mejoradas de explotación forestal y la prevención de incendios forestales.

En principio, debe ser más fácil la creación de mercados para los servicios de captación de carbono en los bosques que para los servicios de protección de cuencas hidrológicas o de la conservación de la biodiversidad. Una razón es que el valor del carbono capturado es el mismo en todas partes. Una tonelada de carbono capturada en un lugar contribuye de igual forma a la reducción del cambio climático que una tonelada capturada en cualquier otro lugar. También, es más fácil medir la captación de carbono en una biomasa vegetal que vincular los cambios de uso de suelo con las funciones hídricas o de la diversidad biológica. Esto significa que es más fácil

contabilizar los aumentos o reducciones del almacenaje de carbono y, por tanto, resulta más fácil su supervisión y comercialización. Por último, las estimaciones de los costos de captación de carbono mediante la silvicultura sugieren que ésta es mucho más barata que la mayoría de los demás métodos para abordar el cambio climático, particularmente el de la reducción de las emisiones de la quema de combustible fósil (Bishop & Landell-Mills, 2003).

¿Calentamiento Global o Cambio Climático?

A principios del siglo XX, los investigadores que trabajaban en el tema de la transición del clima utilizaban la expresión “cambio climático” para describir las variaciones pasadas, presentes o futuras, tanto naturales como inducidas por el hombre, a escalas global, regional y local. Un poco más tarde, cuando los científicos comenzaron a tomar conciencia del riesgo global de los gases de efecto invernadero de producción humana, necesitaron un término adecuado para describirlo. Esperaron y trabajaron, y a mediados de los años setenta se publicó un artículo en la revista *Science* donde se hacía alusión a la ahora común expresión global warming (calentamiento global) (Palmedo, 1975). A partir de esta ocasión, este término comenzó a popularizarse en el medio científico y en ocasiones se utilizaban indistintamente calentamiento global y cambio climático, lo que no siempre era correcto.

A finales del siglo pasado, los gobiernos del mundo industrializado empezaron a interesarse públicamente en el fenómeno del calentamiento del planeta, al tiempo que en 1988 se creó el Panel sobre Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) para canalizar los trabajos provenientes de miles de científicos que buscaban consensos internacionales. El IPCC produjo su primer reporte en 1990, en el que se alertaba al mundo sobre el calentamiento global como detonante del cambio climático, estableciéndose de esta manera el orden de prelación de ambos términos, es decir, el sobrecalentamiento de la Tierra es causa del cambio del clima. Así pues, la consecuencia última de este proceso global es el cambio climático, que se manifiesta a través de diversos impactos.

Por otra parte, el término calentamiento global no implica que el globo terráqueo este calentando uniformemente o que en todo el planeta estén aumentando las temperaturas, pues hay cambios diferenciados por regiones en las variables climáticas, como la propia temperatura, humedad relativa, precipitaciones, circulación de vientos o corrientes marinas. El cambio climático significa variabilidad de parámetros

meteorológicos inducida por forzamientos externos o internos del planeta (por ejemplo, intensidad solar o inestabilidad atmosférica, en orden respectivo).



Fig. 3.5 Fuente: laciudadviva.org Noviembre 2013

La superficie terrestre y los mares absorben radiación solar que es distribuida por las circulaciones atmosféricas y oceánicas. Al cambio de energía neta del sistema tierra-océano-atmósfera se le denomina forzamiento radiativo, que puede ser positivo o negativo. El positivo calienta la superficie de la Tierra, la superficie del mar y la atmósfera inferior; en tanto que el negativo las enfría. Es decir, el cambio climático significa calor ocasional en algunas regiones y frío en otras, aun cuando genéricamente se hable de calentamiento global (López, 2009).

Calentamiento Global

Día de año nuevo del 2101. De algún modo la Humanidad se las ha ingeniado para sobrevivir a los efectos del calentamiento mundial -el aumento de las temperaturas, la subida del nivel del mar y la mayor intensidad de sequías y tormentas-, y ha logrado estabilizar el clima de la Tierra. La concentración de gases de efecto invernadero alcanzó su nivel máximo hace varias décadas y se espera que siga disminuyendo durante el siglo XXII. Poco a poco, la temperatura mundial está volviendo a los niveles de antes del calentamiento. La naturaleza se está recuperando lentamente. Los principales rasgos del contrato social se han mantenido. Y la humanidad en conjunto goza de una mejor alimentación y salud y de mayor prosperidad que hace un siglo. ¿Qué hicimos en el siglo XXI -sobre todo durante el 2009 y los años posteriores- para

rescatar a nuestro planeta de las fauces de la catástrofe del cambio climático? (Pachauri, 2009).

Cada vez más personas han leído a escuchado algo relacionado con el cambio climático, generalmente a través de los medios de comunicación masiva. No obstante, según algunas encuestas, la mayoría de esos ciudadanos quisieran disponer de mayor información para entender cabalmente de qué se trata ese fenómeno, cómo puede afectarlos e incluso, cómo contribuir a atemperarlo. Esta incertidumbre puede ser indicativo de la desinformación sobre el tema que enfrenta la población.

El calentamiento global que está cambiando el clima es provocado por un pequeño grupo de gases que se acumulan constantemente en la atmósfera y funcionan como un cobertor que arropa el globo terrestre, lo cual permite que penetre la radiación solar, pero impide que una parte del calor que refleja la Tierra escape al espacio. Dichos gases acumulados se quedan entre la parte alta de la atmósfera y la superficie terrestre para incrementar lentamente la temperatura del planeta, produciendo así el llamado efecto invernadero.

Esta manifestación natural ha estado presente en la Tierra por millones de años y no había causado consecuencias negativas, sino todo lo contrario, pues el ambiente cálido que produce el efecto invernadero ha propiciado la existencia de la vida en el planeta. El problema ahora es que el volumen de gases que produce ese efecto ha venido incrementándose inmoderadamente, sobre todo por la liberación de dióxido de carbono y otros gases originados en la quema de combustibles fósiles (carbón, gas, derivados de petróleo), deforestación, tiraderos de basura, incendios forestales, escape de gases en pozos petroleros y minas, etc., lo que está incitando el efecto invernadero aumentado por las actividades humanas.

Tanto el calentamiento del planeta que se ha manifestado con un incremento de temperatura media global de 0.74°C en los últimos años como su consecuencia, que es el cambio climático, son un tema dual que reúne varias ciencias en su análisis y lo rodean muchas incertidumbres y especulaciones. Existe una corriente de opinión denominada “escépticos”, quienes afirman que ese calentamiento global marginal es irrelevante, pues en cualquier país ocurren variaciones en la temperatura media, similares a ese aumento o mayores. Pero los impactos del sobrecalentamiento del planeta en el clima y en las condiciones atmosféricas son mucho más que un simple aumento de calor, pues el sobrecalentamiento vulnera los ecosistemas y los procesos

abióticos interrelacionados y en equilibrio. Por otra parte, puede producir efectos multiplicados que se expresan como eventos climáticos extremos.

Solo por mencionar algunos ejemplos de evidencias en México se cita el caso de una zona del noreste del estado de Tamaulipas que se está desertizando aceleradamente después de haber sido una región productora de cereales, donde no llueve desde hace cinco años y los habitantes han tenido que emigrar casi en su totalidad al escasear el agua incluso para beber. En el municipio de Guasave, Sinaloa, la playa turística “Las Glorias” confronta problemas por la invasión marina, presuntamente derivada del aumento del nivel oceánico; ante ello, una destacada investigadora local ha estado haciendo seguimiento de la creciente desertización de la parte alta de esa importante zona agrícola.

El IPCC, explica que este tipo de manifestaciones climáticas es consecuencia de la cada vez mayor concentración atmosférica de gases de efecto invernadero (GEI), algunos de los cuales se lanzaron a la atmósfera hace un siglo o más, cuando la concentración atmosférica de gases era mucho menor que hoy, de lo que se deduce y reitera el IPCC que las manifestaciones de cambios del clima y los eventos meteorológicos extremos serán más frecuentes y severos conforme pase el presente siglo XXI.

En torno a todo esto, la mayor controversia científica de hoy en día ya no es si el planeta se está sobrecalentando, sino la cuantía de ese cambio y los impactos que podrá ocasionar en el futuro, así como la preocupación para disminuir las emanaciones de GEI e iniciar desde ahora el acondicionamiento del hábitat para los hijos y nietos de estos hijos.

Relacionado con este desafío que tiene planteada la humanidad, hace más de 15 años se estableció un tratado internacional, al que se sumaron paulatinamente la mayoría de los países del mundo, denominado Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, para tratar de atenuar el aumento global de la temperatura y sus impactos en el clima. Más recientemente se aprobó una importante adición al tratado mencionado, a la cual se le conoce como protocolo de Kyoto, documento que contiene medidas obligatorias para los países desarrollados que lo firmaron y los compromete a reducir la emanación de gases de efecto invernadero durante el periodo 2008-2012.

México firmo la Convención Marco en 1992 y la ratificó el año siguiente con la aprobación del Senado de la República, asimismo firmó el Protocolo de Kyoto en

1998 y lo ratificó en el año 2000. En cuanto a acciones internas, en Abril de 2005 se creó la Comisión Intersecretarial e Cambio Climático, que es un organismo federal integrado por siete secretarías y presidido por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Instituto Nacional de Ecología realiza y coordina estudios sobre cambio climático, generando conocimiento e información para la sociedad y para cumplir con compromisos internacionales (López, 2009).

Factores que propician el Cambio Climático

El clima siempre está cambiando, la diferencia es que en los últimos tiempos están ocurriendo cambios por razones no naturales y es la raza humana quien los está propiciando. La atmósfera que rodea al planeta Tierra ha regulado la temperatura por más de 4 mil millones de años; durante los últimos 10 mil años el control del clima ha situado la temperatura media global alrededor de 15°C.

El control climático natural es un mecanismo delicado y complejo, en el centro del cual está un gas incoloro, inodoro e integrado por un átomo de carbono y dos de oxígeno (CO₂), se trata del bióxido o dióxido de carbono, también denominado anhídrido carbónico o gas carbónico. El CO₂ es esencial para mantener el balance que requiere la vida sobre la Tierra, pero también es un subproducto o desperdicio de la combustión del carbón, de los derivados del petróleo y, en menor medida, del gas natural, incluso de la respiración y de las plantas que lo utilizan para su proceso de fotosíntesis. En pocas palabras, ese átomo de carbono está por todas partes y el aumento de su concentración en la atmósfera, derivado de actividades humanas, está propiciando el calentamiento artificial del planeta, lo cual conduce al cambio del clima con todas las consecuencias que eso implica.

Se afirma que aproximadamente 56% de todo el CO₂ que la humanidad ha emitido a lo largo de la historia al quemar combustibles fósiles aún está presente en la atmósfera, pues su permanencia es de muchos decenios o siglos, por lo que la concentración de este gas es causa directa o indirecta de 80% del calentamiento global. De aquí que el CO₂ sea el gas de efecto invernadero más importante de los seis incluidos en el protocolo de Kyoto. Por la importancia que reviste el carbono en el efecto invernadero y por ende en el calentamiento global.

Ciclo del Carbono

El carbono es un elemento imprescindible para la existencia de la vida en la Tierra. El ciclo del carbono es de interés para el calentamiento global por su relación con el dióxido de carbono a través de los procesos de fotosíntesis, emisiones por la quema

de combustibles fósiles, respiración, erupciones volcánicas y liberación por descongelación del permahielo (hielo “permanente”).

El ciclo del carbono está constituido por la circulación de carbono en la biosfera, mediante procesos biológicos y geofísicos. El carbono que existe en el planeta Tierra, en forma de dióxido de carbono, se fija o absorbe por la fotosíntesis de las plantas, fitoplancton y otros organismos que lo regresan a la atmósfera en forma de oxígeno e hidratos de carbono, principalmente mediante la respiración de plantas, humanos, animales y microorganismos. Es de interés para el estudio del calentamiento global comentar que en la biosfera ocurre la descomposición de materia orgánica, que además de dióxido de carbono subproduce metano, otro importante gas de efecto invernadero. Se estima que hay 750 mil millones de toneladas (750 Gt, gigatoneladas) de dióxido de carbono en la atmósfera terrestre, una quinta parte del cual es transformado anualmente por plantas y microorganismos.

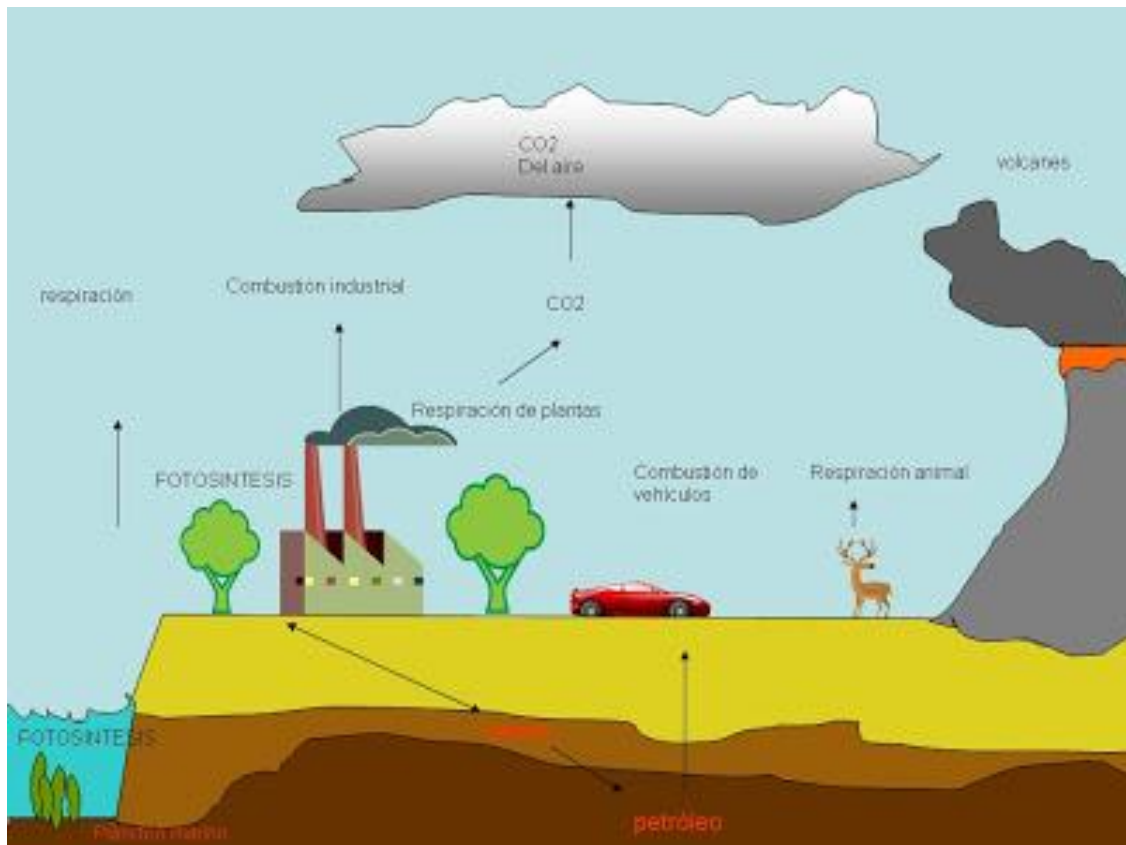


Fig. 3.6 Fuente: mjgonzalez8a.blogspot.mx Ciclo del Carbono Junio 2009.

Por otra parte, los procesos abióticos (no biológicos) incluyen la quema de material orgánico, así como la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas), que es la principal preocupación por la exacerbación del efecto invernadero, fenómeno que induce un sobrecalentamiento global. Los combustibles fosilizados se formaron a partir

de plantas y animales en épocas remotas y hoy, al quemarse, desprenden el carbono que absorbieron cuando estuvieron vivos.

Otro proceso abiótico es el movimiento de las placas tectónicas, que contribuye con el llamado carbono profundo, que opera a escala de millones de años y se manifiesta en forma de erupciones volcánicas que emanan unilateralmente dióxido de carbono. Existen más procesos abióticos que también aportan carbono a la atmósfera, como la oxidación química de metano y la liberación por fusión del permahielo (Cowie, 2007).

Combustibles Fósiles y Dióxido de Carbono

Hace unos 600 millones de años, los niveles de oxígeno empezaron a elevarse en forma suficiente para permitir la sobrevivencia de animales mucho más grandes que las originales criaturas marinas. Esos habitantes primitivos del planeta vivieron cuando ocurrieron cuatro de las más grandes eras de hielo que congelaron por millones de años latitudes ahora ubicadas en el ecuador. Pero a partir de hace unos 540 millones de años, los animales empezaron a crear esqueletos de carbonato mediante la absorción de CO_2 contenido en el agua, ese proceso incrementó paulatinamente la concentración de carbono en la atmósfera. Otro cambio importante para la regulación de la atmósfera fue el llamado período Carbonífero, ocurrido hace 360-290 millones de años, cuando por primera vez la Tierra se cubrió de masa forestal que absorbió CO_2 en su proceso de fotosíntesis, originando los depósitos del carbón, petróleo y gas que se queman hoy día en motores, industrias y plantas generadoras de electricidad, por lo que se libera ahora el carbono que absorbieron esos entes vivientes hace millones de años.

En tiempos geológicos más recientes, a partir de hace 55 millones de años, los arrecifes de coral que se esparcieron por todos los mares iniciaron la absorción de enormes cantidades de CO_2 de la atmósfera. La evolución de los pastos y hierbas permitió su proliferación por todos lados hace unos siete millones de años y, aunque contenían mucho menos carbono que los árboles, producían menos vapor de agua y absorbían menos radiación solar, también aportaron su cuota para regular el clima de la época. Aun cuando los impactos exactos sobre los climas pasados de los vegetales y de los animales no son del todo conocidos, es importante su estudio, pues su interrelación con la atmósfera en el pasado puede proporcionar entendimiento de los que sucederá con los climas del futuro (López, 2009).

El Efecto Invernadero

La superficie del planeta Tierra recibe constantemente radiación solar de onda corta, la cual es distribuida mediante circulaciones oceánicas y atmosféricas como parte de un proceso de compensación de las diferencias térmicas que ocurren en las diversas zonas terrestres. Una parte de esa radiación, transformada en energía de onda larga (calor) también llamada infrarroja, es remitida naturalmente hacia el espacio de manera que se mantiene el balance entre energía entrante y saliente del planeta.

Este equilibrio puede ser alterado por la variación de energía recibida del Sol y por la desigual distribución sobre la Tierra, o bien por interferencia de la energía de onda corta remitida al espacio. Según los científicos del IPCC, esto último está siendo ocasionado por la cada vez mayor concentración de gases de efecto invernadero (GEI) emanados por fuentes de origen humano (quema de combustibles fósiles, deforestación, incendios forestales, tiraderos de basura, entre otras fuentes). La acumulación de GEI en la atmósfera interfiere la ruta de la energía calórica que trata de escapar al espacio, propiciando un proceso cíclico que incrementa paulatinamente el calentamiento del planeta.

El efecto invernadero no solo adquiere importancia por su participación en el calentamiento global hoy en día tan difundido, sino que es parte inminente del sistema climático del planeta Tierra al ser la consecuencia de que exista la atmósfera donde precisamente se manifiesta el clima. Este fenómeno es, por consiguiente, indispensable para la existencia de la vida.

El efecto invernadero natural está siendo incrementado por actividades que realiza la especie humana, al punto de amenazar el equilibrio climático debido a la creciente emisión de gases que se acumulan en lo alto de la atmósfera para hacer lo posible ese efecto invernadero. Este es la causa más directa del calentamiento global en curso, según lo reiterado el IPCC.

Todo cuerpo emite una radiación para dispersar su energía, pero esta radiación tendrá una longitud de onda diferente según su temperatura. El Sol, en razón del calor extremo en su superficie (6000°C) irradia un largo espectro de ondas. El cristal es transparente a esta radiación solar que lo atraviesa; por el contrario, la energía (o radiación) absorbida por cualquier cuerpo frío, como una casa a un carro recalentados al Sol, es emitido bajo la forma de rayos infrarrojos. El cristal es opaco a esta radiación infrarroja que trata de escapar de su encierro y al no lograrlo provoca un

ciclo repetitivo que aumenta la temperatura en el interior. A la escala del planeta, la atmósfera hace las veces del cristal.

El efecto invernadero natural ha desempeñado una función determinante en la aparición de la vida sobre la Tierra. Sin él, la temperatura media del planeta sería de -18°C ; sin embargo, es de 15°C . Según la explicación previa del fenómeno, el efecto invernadero natural es un hecho físico considerado indiscutible por su veracidad. La temperatura del espacio interestelar en la vecindad de la Tierra es de manera aproximada de -250°C . En tanto que la temperatura media de la superficie terrestre es, como ya se anotó, de 15°C , esa diferencia de 265°C es producto de la radiación solar. El efecto invernadero ayuda a regular esas diferencias de temperatura del planeta Tierra.

La atmósfera está compuesta por nitrógeno, oxígeno y argón en 99.9% de la masa gaseosa, siendo el restante 0.1% un grupo minoritario de gases entre los que se encuentran los llamados gases de efecto invernadero (GEI) o gases termoactivos. Este grupo minoritario de gases es el responsable del efecto invernadero.

Para explicar dicho fenómeno se considera que el Sol irradia permanentemente energía hacia la Tierra. Esta radiación de onda corta penetra la atmósfera terrestre a través del aire de las alturas, en ausencia de nubes el aire es muy transparente, excepto para la radiación de onda muy corta llamada ultravioleta, y es opaco a la radiación de onda larga o infrarroja (Barros, 2004).

Una parte de los rayos provenientes del Sol es absorbida por la superficie terrestre, que evidentemente se calienta y como consecuencia emite radiación terrestre de onda larga que no puede traspasar el aire de las alturas debido a la opacidad (los responsables de esta opacidad son principalmente el dióxido de carbono y el vapor de agua), así que la radiación rechazada es absorbida por la atmósfera y las nubes. El ciclo se repite y, al ocurrir, las capas de la atmósfera y las nubes se van calentando paulatinamente al tiempo que remiten radiación térmica hacia abajo y hacia arriba.

Este fenómeno natural propicia que la atmósfera superficial sea cálida y, conforme asciende, la atmósfera se va enfriando (porque la atmósfera se calienta por la radiación terrestre y no por el Sol), lo cual es tanto paradójico porque al ascender se está más cerca del Sol y, por tanto, debería sentirse más calor.

En síntesis, el efecto invernadero natural es el calentamiento que produce la radiación atrapada entre la superficie terrestre y la barrera que forman los gases de efecto

invernadero, sobre todo en las capas atmosféricas bajas, dando lugar a una temperatura ambiental más alta que la que habría en ausencia de dicho fenómeno.

Pero el efecto invernadero que preocupa, porque está contribuyendo al calentamiento global inmoderado, es el incremento térmico debido a la presencia adicional de CO_2 emanado por chimeneas, escapes, incendios forestales y otras fuentes no naturales, ayudado por el resto de GEI naturales y artificiales (metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos y hexafluoruro de azufre, de acuerdo con el Protocolo de Kyoto). Es decir, el asunto por resolver es el efecto invernadero aumentado como consecuencia de las actividades humanas que no han tomado en cuenta las llamadas externalidades o impactos asociados a dichas actividades (Garduño, 1994).

Gases del Efecto Invernadero (GEI)

Reafirmando que la atmósfera terrestre es una masa de gases un tanto homogénea compuesta de nitrógeno, oxígeno, argón y un grupo minoritario de gases entre los que se ubican los que propician el fenómeno de invernadero, sin embargo, los más importantes (además del vapor de agua) son seis que reconoce la Convención Marco sobre Cambio Climático a través del Protocolo de Kyoto.

En los últimos 10 000 años, los gases de efecto invernadero habían permanecido relativamente estables en cuanto a su concentración atmosférica, hasta que en la segunda mitad del siglo XVIII inicio la Revolución Industrial, que supuso la introducción de las máquinas y la producción industrial en serie que ha utilizado combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural) como energía motora.

La combustión de hidrocarburos fósiles inició una era de subproducción de gases precedentes que continúa implacablemente en aumento. De eso gases destaca el dióxido de carbono (CO_2), también llamado anhídrido carbónico, que por su proporción de concentración y duración en la atmósfera es el gas de efecto invernadero más importante.

Pero aun cuando el CO_2 se genera industrialmente o artificialmente, este y otros GEI existen naturalmente en la atmósfera, tal es el escaso del metano (CH_4), oxido nitroso (N_2O), vapor de agua (H_2O) y ozono (O_3). Otros como los clorofluorocarbonos y los fluorados son gases antropogénicos.

La permanencia de los GEI en la atmósfera, llamada tiempo de vida, y su eficiencia o potencial de calentamiento es variable para cada uno de ellos. Los gases de vida corta como el metano no tienen tiempo de distribuirse homogéneamente en la

atmósfera, ni de ascender a las alturas del “techo invernadero”. Algunos otros, tales como el clorofluorocarbono (cuyo uso está prohibido) llamado freón (CFC-115), utilizando en el negocio del frío son sumamente estables, lo que propicia que su disociación acontezca con radiación de onda muy corta para lo que debe ascender a miles de metros, con tardanza de hasta miles de años. Para conocer un poco de las características propias de los GEI, véase algo particularizado para cada uno de ellos.

Dióxido de Carbono

Este gas inodoro, incoloro e invisible es el GEI que más se menciona y estudia, debido al mayor aporte de calentamiento global por su abundancia en la atmósfera, además de su larga permanencia o tiempo de vida, que es de 50-200 años. La concentración de CO₂ en la atmósfera esta en equilibrio con la del océano y este lo depone enviándolo al fondo transformando en carbonato.

La mayoría de los seres vivos producen CO₂ al respirar, los volcanes activos exhalan grandes cantidades de este gas, en tanto que los vegetales lo utilizan en el proceso de la fotosíntesis, liberándolo cuando la masa vegetal se descompone o es incinerada.

La concentración atmosférica de CO₂ está condicionada por los cambios estacionales, sobre todo los del hemisferio Norte, pues en esta parte del mundo es donde se ubican los mayores espacios de tierra firme y, por tanto, de vegetación.

Previamente al inicio de la Revolución Industrial, las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera estaban relativamente estables en 280 ppm, es decir, 280 moléculas de cada millón que había en el aire eran CO₂. Hoy día se registran 380 ppm y continúan creciendo; 31% que implica este incremento, 18% ha ocurrido en los últimos 40 años. Según el IPCC, tan alta concentración no se presentó en los últimos 420 000 años y es probable que tampoco haya ocurrido en los últimos 20 millones de años.

Según diferentes escenarios, los científicos del clima predicen que las concentraciones atmosféricas del gas en cuestión podrían crecer hasta 490-1260 ppm este siglo. Las tres cuartas partes de esta concentración las aportaría el CO₂ por la combustión de petróleo, carbón y gas, y otra cuarta parte provendría de la quema de bosques y selvas para utilizar la tierra, así como leña que utilizan más de 2 mil millones de personas pobres en el mundo. En México, 28 millones de personas cocinan diariamente con leña, hábito se estima que se mantendrá en el mediano plazo.

Las emisiones mundiales de dióxido de carbono se incrementaron a razón de más de 1% al año, lo cual se suma a las grandes concentraciones que ya tiene la atmósfera. Ese gas es absorbido parcialmente por la biosfera, los mares y los suelos, quedando aproximadamente la mitad de la atmósfera.

Metano (CH₄)

El denominado gas de pantano en realidad es producido por fuentes antropogénicas en cantidades mayores al doble de las naturales. Es 21-23 veces más eficaz al atrapar calor que el CO₂, aunque tiene una duración de solo 12±3 años en la atmósfera. Actualmente, la concentración de metano atmosférico es de menos 2 ppm y se incrementa 1% al año.

Este gas es producido cuando las bacterias descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Las fuentes principales de metano son los tiraderos de basura, campos de cultivo de arroz, hatos ganaderos, colonias de termitas y pantanos. Las actividades humanas han aumentado estas fuentes, extendiéndose a las minas de carbón, pozos petroleros y tanques de gas doméstico.

Incluso el metano almacenado en los vastos campos de la tundra del Ártico puede liberarse al fundirse el permahielo, debido precisamente al calentamiento global, lo cual ocasionaría un incremento drástico en la concentración atmosférica de este GEI. El metano se descompone naturalmente en la atmósfera terrestre, proceso que es inhibido por el monóxido de carbono que también es subproducido al quemarse combustibles fósiles.

Óxido Nitroso (N₂O)

Este óxido es subproducto industrial que puede formarse al calentar nitrato de amonio. Su concentración es baja en la atmósfera, pero tiene 300 veces el efecto invernadero del CO₂ y una vez emanado dura más de un siglo. La mayor parte de los fertilizantes se basan en el nitrato de amonio y como el uso de este tipo de aditivos par el suelo se está incrementando, las cantidades de N₂O en la atmósfera también están creciendo.

Como ocurre con otros GEI, el óxido nitroso en la atmósfera se ha incrementado desde el inicio de la Revolución Industrial. Puesto que 78% de la atmósfera es nitrógeno y 21% oxígeno, es fácil encontrar estos dos elementos juntos, los que en presencia de quema de combustibles producen óxido nitroso. En las grandes ciudades, como la de México, es común encontrarlo como smog (smoke-fog, humo-niebla)

fotoquímico. Los incendios forestales contribuyen también a la generación del gas en cuestión, así como los procesos microbianos en suelo y agua.

Ozono (O₃)

El ozono no es propiamente un GEI, pero es tan versátil que en ocasiones puede desempeñarse como tal. A lo largo del tiempo, en las capas bajas de la atmósfera se han observado pequeñas cantidades de ozono; sin embargo, al encontrarse monóxido y dióxido de carbono proveniente de actividades humanas, se ha incrementado en 30% la concentración de este gas desde la época preindustrial. El ozono es más conocido por su presencia en la capa estratosférica de la atmósfera, sin embargo, el IPCC lo considera ahora como el GEI más importante después del dióxido de carbono y el metano.

La distribución del O₃ en la atmósfera es heterogénea debido a su corta vida, por lo que su impacto climático es también indeterminado. Es importante diferenciar entre el ozono existente en la baja estratosfera (25-40 km) y el ubicado en las cercanías de la superficie terrestre. El primero forma una capa protectora contra la radiación ultravioleta, por lo cual algunas personas lo denominan ozono “bueno”, tanto que el segundo tiene efectos de gas invernadero y, por tanto, se acepta que es “malo”. Éste último es, además, un contaminante importante en las grandes concentraciones urbanas, como ocurre en la Ciudad de México.

Clorofluorocarbonos (CFC)

Este grupo de gases proviene de fuentes artificiales, pues fueron sintetizados en laboratorio en la década de 1920; habían sido usados desde entonces como refrigerantes, propulsores de aerosoles y como limpiadores de solventes. Se ha comprobado que se acumulan gradualmente en el ambiente y pueden destruir el ozono de la capa estratosférica, es decir, atacan al ozono “bueno”.

Las cantidades de CFC son reducidas en la atmósfera; empero, su poder como GEI y su tiempo de vida son muy amplios. Afortunadamente, a través del Protocolo de Montreal, firmado en 1987, se alcanzó un acuerdo internacional para reemplazar y prohibir el uso de este tipo de gases por otro grupo sustituto denominado gases fluorados (hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre), los cuales tienen menor tiempo de vida y al descomponerse son menos agresivos en relación con el ozono, por consiguiente son estos últimos los gases considerados como GEI en el Protocolo de Kyoto (López, 2009).

Consecuencias y Efectos del Cambio Climático

El calentamiento global afecta a todos los seres vivos de diferentes maneras los impactos pueden ser positivos o negativos. En los seres humanos, los efectos directos se podrán manifestar como días invernales menos severos y en verano el incremento de temperatura asociado con humedad alta puede conducir a las llamadas olas de calor, que afectan a las personas mediante el estrés orgánico derivado de un aumento en la temperatura corporal, así como otras consecuencias producto de picos del clima caliente exacerbado, que pueden conducir al desequilibrio fisiológico grave, e incluso la muerte.

El cuerpo humano tiende a conservar estable su temperatura normal de 37°C en las condiciones más variadas que se le puedan presentar, esto ocurre solo en situaciones controlables por el propio organismo. Más allá de esas condiciones, por ejemplo, cuando una persona es expuesta a ambientes sobrecalentados natural o artificialmente puede sobrevivir una postración o decaimiento corporal que le impida una sudoración suficiente para regular la temperatura del cuerpo acompañado de náuseas, cansancio y debilidad. Es lo que se conoce como “golpe de calor”. Este cuadro sintomatológico puede agravarse con el incremento de la de la temperatura bloqueando el mecanismo de autorregulación del cuerpo, cesando la sudoración que enfría la piel y produciendo daños en el cerebro y otros órganos.

En condiciones de altas temperaturas, el corazón tiene que bombear sangre con mayor potencia para abastecer los vasos capilares de la superficie de la piel y expulsar así el calor excedente fuera del cuerpo, por lo que las altas temperaturas tensionan el corazón. Inicialmente, el metabolismo se incrementa a medida que la temperatura también aumenta, pero ese proceso metabólico puede faltar provocando que el cuerpo humano disminuya la capacidad de resistir infecciones y haciéndolo más vulnerable. De acuerdo con el último reporte del IPCC de 2007, las olas de calor severas podrían ser más frecuentes en el futuro, con consecuencias fatales para los muy ancianos (80 o más años de edad), los bebés y personas que trabajan a la intemperie.

El calentamiento global tiene otra forma de afectar directamente a la especie humana: mediante el incremento de la ocurrencia de enfermedades. Es el caso de la proliferación de insectos portadores de parásitos, como los mosquitos que transmiten paludismo, dengue y fiebre amarilla, y que no prosperan en hábitats fríos de terrenos altos. Ahora estos mosquitos se están reproduciendo con mayor facilidad en áreas que cada vez son más cálidas, permitiendo que los insectos portadores de virus

patógenos colonicen más espacios en zonas altas donde solía no haber esos padecimientos. La expansión de la incidencia de estas y otras enfermedades (cólera, alergias, virus del Nilo, meningitis) se asocia con el incremento de temperaturas en tierras altas de Latinoamérica, Asia y este de África.

Por otra parte, el aumento de las temperaturas afectará al resto de los seres vivos de todo tipo, desde bacterias, hongos, plantas, animales y procesos biológicos necesarios para la vida, así como a las tasas de crecimiento, disponibilidad de alimento y humedad, eventos biológicos como los tiempos de floración y nacimiento, morfología de los organismos, hábitos y migración de animales, incendios forestales, etcétera.

El aumento de las temperaturas en los mares del mundo está tornando blancos a los arrecifes de coral (blanqueamiento) debido a la pérdida del alga microscópica que vive en simbiosis con ellos, la cual no tolera mayores temperaturas. Este fenómeno es una amenaza para los bancos coralíferos que representan un buen hábitat para los peces, que podrían desaparecer y afectar a especies superiores que forman parte de la cadena alimentaria, entre ellas a la especie humana. Además, los arrecifes de coral funcionan como barreras costeras protectoras contra las tormentas y como atractivos turísticos. El Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas realizó un estudio en 2001, concluyendo que 58% de los arrecifes de coral del mundo están amenazados por el padecimiento que se comenta.

El incremento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera no solo está contribuyendo al cambio del clima mundial, sino que está incidiendo en la composición química de los océanos. A medida que mayores cantidades de este gas se disuelven en el mar, también se incrementa la acidificación y disminuye la concentración de carbonato que utilizan los corales y otros organismos marinos vertebrados. Esto no significa que vayan a desaparecer los bancos de coral, sin embargo su disminución tendrá, además de las consecuencias ecológicas anotadas, impactos negativos en las comunidades humanas asentadas en islas y atolones de origen coralífero, ya de por sí amenazadas por el aumento del nivel del mar.

Los niveles de afectación del calentamiento global estarán en función de la reacción que tenga la humanidad ante el fenómeno. No obstante, se puede anticipar que el mayor peligro radica en que se alcancen niveles de daños irreversibles para muchas especies. Algunos animales y vegetales podrían adaptarse a un incremento moderado de temperatura, otros definitivamente no soportarían cambios adicionales a los actuales (Ochoa *et al.*, 2005).

Está documentado un gran cambio ecológico que acontece en todo el mundo, consistente en que las poblaciones vegetales y animales están mudándose lentamente hacia las regiones más altas, por tanto, menos calientes y rumbo a los polos. Algunas especies de mariposas de Europa han mudado su hábitat hacia el norte a razón de 48-97 kilómetros por década. Al salmón rosa del pacífico se le ha encontrado mucho más al norte de lo acostumbrado. Lo mismo ha sucedido con algunos vegetales, aunque con menor velocidad de migración. Estas migraciones responden a los cambios ambientales que les impone al cambio climático, lo cual obliga a las especies a buscar nuevas oportunidades de sobrevivencia y reproducción en hábitats con temperaturas similares a las que han tenido por miles de años (Flannery, 2006).

Los posibles extinciones reducirán aún más la biodiversidad de por si amenazada. Sobre el particular, un estudio hecho por investigadores de la Universidad de Leeds (Reino Unido) encontró que para mediados de este siglo se extinguirán de 15 a 37% de las especies del planeta, considerando que acontezca en escenario medio de calentamiento. Empero, no solo se perderían especies, sino vidas humanas por hambrunas al escasear especies de la dieta diaria de algunos grupos poblacionales, conjuntamente con los costos asociados que ello supone.

Los riesgos son diferentes de una región a otra, pues también los ecosistemas varían entre ellos, así como también el calentamiento es más rápido en algunas partes del mundo que en otras, es el caso de los polos con respecto a las áreas tropicales (Gore, 2006).

Las evidencias de la influencia humana en la evolución del clima se han acumulado persistentemente a lo largo de la últimas dos décadas. El primer reporte del IPCC en 1990 contenía evidencias de la influencia antropogénica en el clima. El segundo reporte, publicado en 1995, concluyó que “las evidencias muestran una perceptible influencia humana en el clima global”. Bastantes evidencias más se acumularon en el tercer informe, lo cual permitió una conclusión más firme, no únicamente en el convencimiento de la participación humana en el clima, sino también en señalamientos concretos del cambio de clima en el siglo pasado. En efecto, el reporte de 2001 afirmó: “existen nuevas y más contundentes pruebas de que la mayor parte del calentamiento observado durante los últimos 50 años se puede atribuir a actividades humanas”. Las evidencias que ofreció este tercer reporte fueron considerables, pues su usaron resultados de estudios que utilizaron modelos climáticos avanzados.

El cuarto reporte, dado a conocer en 2007, es aún más contundente al puntualizar que “el calentamiento global del sistema climático es inequívoco [...] hay una muy alta certidumbre de que el efecto promedio global de las actividades humanas desde 1750 ha contribuido al calentamiento”. La expresión “muy alta certidumbre” representa una afirmación que deja pocas dudas de la causa antropogénica del calentamiento global, lo que puede ubicar en 90% la probabilidad. Además, desde el tercer reporte, los científicos han incrementado considerablemente sus posibilidades de predecir los cambios futuros del clima mediante el ajuste de los modelos climáticos.

En el último reporte, los científicos del IPCC, particularmente los integrantes del Grupo I, “Aspectos científicos del sistema climático y del cambio climático”, han clarificado varios asuntos no incluidos en el tercero, por ejemplo, los aerosoles provenientes de las erupciones volcánicas y de actividades humanas han tenido solo un efecto relativo de enfriamiento del clima. También se dan a conocer nuevas estimaciones de los impactos de los cambios de la actividad solar desde 1750, lo cual resulta en un contribución mucho menor al cambio climático que la que aporta la quema de combustibles fósiles (Grupo I, 2007).

Derivado de ese reporte, ahora hay nuevas incertidumbres relacionadas con las retroalimentaciones, pues los científicos dicen ahora que el incremento de las temperaturas estancará el crecimiento de algunos vegetales en lugar de acelerarlo, como se había afirmado antes, lo que propicia un mayor rendimiento de la agricultura en algunas partes del mundo, así como una disminución de temperaturas derivado de un mayor follaje de las plantas.

En relación con el efecto denominado islas urbanas de calor, los impactos que propician en las ciudades al parecer afectan menos a la temperatura global de lo que se había afirmado, pues solo contribuyen con 0.006°C por década sobre la superficie terrestre y 0°C en los océanos. Sin embargo, la celda convectiva que azotó sorpresivamente la zona metropolitana de la Ciudad de México causando destrozos, heridos y un muerto, en enero de 2008, fue producto de la conjunción de altas temperaturas del pavimento (27°C), aire húmedo del Pacífico y corrientes de viento en las alturas, lo cual afirma que localmente si son dignas de consideración las islas de calor que sobrecalentaron el piso de la ciudad en pleno invierno.

En síntesis, algunas conclusiones sobresalientes del último reporte del IPCC son las siguientes:

- ❖ Se percibe una mayor certidumbre de la influencia humana, que ahora se extiende a otros aspectos climáticos, como lo son el calentamiento del agua de los océanos, patrones eólicos, temperaturas medias continentales, temperaturas extremas, entre otros.
- ❖ Se ratifica con mayor incertidumbre el calentamiento del sistema climático mundial, lo cual se apoya en observaciones de las temperaturas globales del aire y océanos, fusión de nieve y hielo, así como incremento del nivel de los mares.
- ❖ Las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso se han incrementado ostensiblemente como resultado de las actividades humanas realizadas a partir de 1750 en que se inició la Revolución Industrial.
- ❖ El incremento global de dióxido de carbono debe principalmente a la quema de combustibles fósiles y al cambio de uso de suelo. En tanto que el aumento de metano y óxido nitroso proviene de actividades agrícolas.
- ❖ Esta concentración de gases de efecto invernadero ha excedido con creces los valores previos a la Revolución Industrial, lo que se ha determinado mediante el análisis de núcleos de hielo que ha existido por muchos miles de años (800 mil o más) en las profundidades de las capas polares.
- ❖ Es muy posible que la mayor parte del aumento en las temperaturas globales promedio, observadas desde la mitad del siglo pasado, sean el resultado del incremento antropogénico de la concentración de gases de efecto invernadero.

En cualquiera de los escenarios, la disponibilidad de agua potable bajará, así como el potencial hidroeléctrico global. La elevación del mar y el aumento de la intensidad de los ciclones pueden conducir a la migración paulatina de la población en varias partes del mundo, en tanto que la infraestructura costera se dañaría severamente.

En algunas regiones del mundo, la presión sobre la infraestructura urbana y rural aumentará, derivado de las lluvias más frecuentes y copiosas, al tiempo que las inundaciones interrumpirán el transporte y el comercio. Las empresas de seguros retirarán (ya lo están haciendo) la cobertura a ciertos sectores de alto riesgo en relación con la actividad ciclónica.

Según el reporte la demanda de energía variará, pues en el invierno se requerirá menos calefacción en las zonas frías, pero se incrementará en verano en las regiones calientes para combatir un calor más intenso (*Newsweek*, 2007).

Las afectaciones por la actividad humana en la Tierra son más que notorias, debido a la gran cantidad de seres que habitan en ella dando como resultado igual número de actividades diarias las cuales sin duda no se pueden dejar de hacer del todo, sin embargo, si es posible buscar reducir los efectos adversos al medio ambiente.

En el siguiente capítulo se hablará más a fondo en cuestión de Energía, motivo por el cual el hombre es un ser incansable, pues es una necesidad imprescindible para la actividad humana, dicha necesidad se ha podido satisfacer gracias al petróleo, pero no se debe olvidar la Ley de Causa-Efecto pues a toda acción corresponde una reacción, si se han tomado malas decisiones se debe pagar la factura por tal motivo.



Fig. 3.7. Fuente: pelirojita75.blogspot.mx. Uso de Combustibles Fósiles vs Energías Renovables. Martes, 7 de diciembre de 2010

Una alternativa para mejorar todo el panorama que se vislumbra en cuanto a los diferentes escenarios de la Contaminación y Energía es el uso de Energías Renovables, lo cual se expondrá a continuación en los capítulos IV y V.


Capítulo IV

Energía necesidad imprescindible para el Hombre.



146

Fuente: ecoticias.uy 7 de Mayo 2014.



“Años de exploración en química, biología, física y la naturaleza humana me han llevado a la conclusión de que la humanidad en sí tiene, afilada la espada que es potencial para perforar a través del corazón de la tierra”



147

— Michael Reynolds

Energía

Todos los compuestos químicos contienen cantidades variables de energía. El concepto general que se tiene de energía es aproximadamente equivalente, en cuanto a su significado, al de potencial de trabajo. La energía química se obtiene a partir de las fuerzas de unión que mantienen juntos a los átomos o iones de un compuesto. Estas fuerzas o enlaces químicos se crean gracias a la mutua atracción eléctrica que ejercen los átomos o iones entre sí - cuando mayor es la atracción, mayor energía contiene el enlace-. Dos átomos o iones enlazados se separan solamente si hay una fuerza externa que los empuje a hacerlo y rompa de este modo el enlace. Esta concluyente separación requiere un trabajo o energía y, como puede verse claramente, la cantidad de energía que se necesita debe ser por lo menos lo suficientemente grande como para vencer la atracción existente entre los átomos o iones. En otras palabras, la energía que se requiere para romper un enlace es la misma que contiene el enlace. Así pues, la energía química total de un compuesto puede definirse como la energía que hay en dicho compuesto.

Al igual que las reacciones físicas, las relaciones energéticas que hay entre los átomos pueden modificarse como resultado de las reacciones químicas. Sin embargo, a pesar de estos cambios, no puede producirse nueva energía ni tampoco puede desaparecer energía ya existente. Este principio fundamental de la Naturaleza constituye la primera ley de la termodinámica, denominada también ley de la conservación de la energía (refiérase capítulo I), la cual manifiesta que la energía ni se crea ni se destruye.

La vida aquí sobre la tierra depende del flujo de energía procedente de las reacciones termonucleares que tienen en el corazón del Sol. La cantidad de energía enviada a la Tierra por el Sol es de aproximadamente 13×10^{23} calorías por año. Es una cantidad difícil de imaginar. Por ejemplo la cantidad de energía solar que incide diariamente sobre la Tierra es unos 1,500 millones de veces mayor que la cantidad de electricidad generada cada año por un país como Estados Unidos.

Aproximadamente $1/3$ de esta energía solar es devuelta al espacio en forma de luz, la mayoría de los $2/3$ restantes es absorbida por la tierra y se convierte en calor. Parte de la energía térmica absorbida evapora las aguas de los océanos, produciéndose nubes que, a su vez, originarían lluvia y nieve. La energía solar, en combinación con otros factores, es también responsable del movimiento del aire y del agua que ayudan a establecer los patrones climáticos sobre la superficie de la tierra

Una pequeña fracción (menos de 1%) de la energía solar que alcanza a la Tierra se transforma, por medio de una serie de procesos llevados a cabo por las células de las plantas y otros organismos fotosintéticos, en la energía que impulsa todos los procesos vitales. Los sistemas vivos cambian una forma de energía en otra, transformando la energía radiante del Sol en la energía química y mecánica utilizada por todo ser vivo.

Este flujo de energía es la esencia de la vida. Una célula puede entenderse mejor como un complejo de sistemas especializados en transformar energía. En el otro extremo de la escala biológica, la estructura de un ecosistema o de la biosfera misma es determinada por los intereses de energía que ocurren entre los grupos de organismos que existen en su interior.

Energía es hoy un vocablo tan común que asombra al enterarse que la palabra fue acuñada hace menos de dos siglos, en la época en que se inventó la máquina de vapor. Fue solo entonces que los científicos e ingenieros comenzaron a comprender que el calor, el movimiento, la luz, la electricidad y las fuerzas que mantienen a los átomos juntos en las moléculas pueden vincularse a través de las relaciones entre diferentes formas de energía (Curtis, 2000).

Los problemas energéticos están cobrando cada vez más importancia en el contexto general de los recursos: implican las cantidades de fuentes de energía disponibles, el costo de obtenerla, las limitaciones políticas y económicas, el agotamiento de las reservas... Mientras que estos problemas a veces chocan con ciertos aspectos económicos de los países industrializados, tienen también una importancia vital para los países en vías de desarrollo: de hecho, si estos países pretenden tener un futuro armonioso deberán tener acceso a los recursos energéticos y aprender a economizar por medio de decisiones juiciosas basadas en el mejor análisis posible de la situación y en los máximos conocimientos prácticos.

Junto con los esfuerzos técnicos o intentos de optimizar los intercambios económicos, una amplia campaña educativa puede propiciar unas actitudes más apropiadas dirigidas a economizar los recursos energéticos a nivel mundial e individual con una relevancia que no ha de ser inferior a la de las actitudes propiciadas en el seno de comunidades de menor tamaño.

De hecho, el consumidor como agente social responsable, por un lado, y el sistema económico en general, por el otro, aparecen demasiado a menudo como entidades separadas, cuando resulta que la suma total de consumo de energía individual directo

o indirecto tiene efecto considerable en la explotación global de los recursos. El conocimiento de todas las implicaciones de la utilización de los recursos energéticos es un pre-requisito para la formación de personas familiarizadas con los problemas medioambientales y con sus causas. La energía es uno de los temas fundamentales en esta área: no es posible llevar a cabo ninguna actividad humana sin materias primas, sin mano de obra... y sin energía (Deléage & Souchon, 1996)

Energía a través del Tiempo

La vida en el planeta tierra ha sido posible, entre otros factores, debido a que el Sol ha estado proporcionando energía a un ritmo prácticamente constante durante muchos centenares de millones de años. Esto es posible porque el Sol es un gigantesco reactor nuclear que, por medio de reacciones nucleares, transforma el hidrogeno que tiene en grandes cantidades, en otro elemento más estable, el helio. Se estima que en mil millones de años el Sol pierde 5% de su hidrogeno.

En el lenguaje se define así la palabra energía: poder para obrar, fuerza de voluntad, vigor, tesón en la actividad y en la física, como la causa capaz de transformarse en trabajo mecánico.

Los animales, al alimentarse, están empleando un recurso energético que les permite mantener en actividad su prodigioso organismo, realizar trabajos mecánicos y mantener en funcionamiento su computadora cerebral.

Hace decenas de miles de años, el hombre usaba en su provecho la energía cinética o de movimiento del hacha, el mazo y la lanza. Descubrió, además, como producir proyectiles con mucha energía de movimiento. En la honda, la piedra va adquiriendo su energía a través de un largo recorrido circular de varias vueltas. Con la cerbatana, el dardo va adquiriendo su energía a lo largo de su recorrido en el tubo o carrizo que contiene aire a cierta presión.

El descubrimiento del arco y la flecha transformó al hombre en poderoso cazador y guerrero. La flecha adquiere su energía de la distancia que la cuerda en tensión le aplica.

Para levantar un cuerpo a cierta altura, debemos invertir energía. Al dejar caer el cuerpo desde esa altura, obrará sobre él una fuerza (su propio peso) a lo largo de un recorrido (la altura), por lo que al caer al suelo llevaría energía de movimiento o cinética, y nos devolverá la energía que invertimos para subirlo.



En la construcción de sus grandes pirámides y monumentos, el hombre tuvo que transportar y elevar grandes piedras a gran altura; para ello tuvo que aprender a usar troncos de árbol como rodillos y usar agua para enlodar el camino y reducir la fricción; emplear planos inclinados y palancas para que al subir un gran peso se redujera la fuerza necesaria si el recorrido era grande. El gran científico griego, Arquímedes de Siracusa, estudió las llamadas máquinas simples, palancas, poleas móviles, el plano inclinado y el tornillo, que reducen la fuerza aplicada.

Hace 2500 millones de años los filósofos griegos Leucipo, Demócrito y Epicuro, consideraban que el universo estaba formado por átomos y vacío. Epicuro escribió numerosos libros, uno de los cuales se llamó *Sobre la Naturaleza de las Cosas*. Casi todos sus libros se perdieron. Un discípulo de Epicuro, un romano llamado Titi Lucrecio Caro, que vivió tres siglos después que su maestro, escribió un libro en verso, con el mismo nombre *De rarum natura* en el que expone las ideas de su maestro y las suyas. En este famoso libro, se dice que el universo está formado por átomos y vacío, que los átomos siempre han existido y que no pueden destruirse, lo que equivale a la importante Ley de la Conservación de la Materia (refiérase Capítulo I). También se dice que si un cuerpo se mueve, deberá continuar moviéndose a menos que exista un efecto que lo modifique, con esto se adelantó 2000 años al principio de Galileo (Alba, 1997).

El desarrollo de la sociedad humana está basado en el consumo de grandes cantidades de energía. La energía que circula por los ecosistemas y permite vivir a los seres vivos procede en última instancia del sol. Sin embargo, a pesar del desarrollo científico y tecnológico, todavía no se ha aprendido a aprovechar eficazmente esta fuente inagotable y por ello, la mayor parte de la energía que se utiliza procede de fuentes de energía no renovables.

Estas fuentes de energía no renovables son aquellas cuya velocidad de consumo es mayor que la de su regeneración, lo que, consecuentemente, puede provocar su agotamiento. Este es el caso de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) y de los minerales. Durante muchos años se han utilizado recursos no renovables como fuentes de energía. Hoy se estima que, de seguir un ritmo de consumo similar al actual, las reservas de combustibles fósiles se agotarán en un plazo de entre 50 y 100 años.

Por el contrario los recursos renovables son aquellos que, tras ser utilizados, pueden regenerarse natural o artificialmente, como el agua o los alimentos. Son recurso que, al estar sometidos a ciclos, se mantiene de forma más o menos constante.

A finales del siglo XVII el hombre empezó a utilizar combustibles fósiles que la tierra había acumulado en el subsuelo durante su historia geológica. La quema de petróleo, carbón y gas natural ha causado el aumento de CO₂ en la atmósfera que últimamente es de 1.4 ppm (partes por millón) al año y produce el consiguiente aumento de la temperatura. Se estima que desde que el hombre mide la temperatura hace unos 150 años (siempre dentro de la época industrial) ésta ha aumentado 0.5°C y se prevé un aumento de 1°C en el 2020 y de 2°C en el 2050.

En la era contemporánea la necesidad de disponer de fuentes de energía aprovechables se ha convertido en algo imprescindible para el ser humano. Basta pensar en el consumo energético que una persona común realiza al día para darse cuenta de la independencia existente (Fernández, 2010).

Durante la historia, el progreso de la civilización tecnológica ha estado ligado a la explotación de las fuentes de energía. En los primeros tiempos (e incluso ahora en las regiones menos adelantadas), la principal fuente de energía era la fuerza muscular. Unos cuantos vivían en la riqueza explotando el trabajo de otros: esclavos, jornaleros atados a la tierra y peones con magro salario. Se utilizaban en alguna medida animales domésticos para la agricultura y el transporte, así como la energía hidráulica y la eólica para moler granos y el sol; pero, desde luego, estos recursos eran limitados tanto por la geografía como por el clima.

Hacia los comienzos del siglo XVIII, los inventores ya habían ideado muchas clases de máquinas, cuyo factor limitante era la falta de un suministro continuo de energía para hacerlas funcionar. A finales de ese siglo, el adelanto que inició la Revolución Industrial fue la máquina de vapor, en la que se hierve agua dentro de un recipiente cerrado para producir vapor a presión que impulsa un pistón dentro de un cilindro. Conectado a un cigüeñal, el pistón acciona la rueda propulsora de la máquina. La máquina de vapor se convirtió en la fuente de propulsión de barcos, excavadoras, tractores, locomotoras y motores fijos de aserraderos, hilanderías y casi cualquier otra industria.

Al principio, el principal combustible de las máquinas de vapor era la leña, pero la sustituyó el carbón cuando la demanda de energía aumentó y se hizo escasa la madera en los alrededores de los centros industriales. Del final del siglo XIX a los

años cuarenta del XX, el carbón fue el combustible dominante. Además de alimentar máquinas de vapor, se consumía para calefacción, la cocina y los procesos industriales. En los años veinte, generaba alrededor del 80 % de la energía que consumía la mayor parte de los países.

Si, el carbón y la máquina de vapor impulsaron la Revolución Industrial, que tanto mejoró la vida de la mayoría de la gente; pero tuvieron desventajas. Los humos de la combustión del carbón contaminaban el aire de las ciudades mucho más de lo que ocurre hoy. Afirmaban los escritores que a veces no veían más allá de una calle. La extracción del carbón es peligrosa y el material es sucio, además de que deja muchas cenizas que hay que eliminar. En cuanto a las máquinas de vapor, el tamaño y la forma de la caldera las hacía pesadas y poco manejables. Con frecuencia, había que prender fuego varias horas antes de que comenzaran a funcionar para que la caldera alcanzara suficiente temperatura.

A finales del siglo XIX, la aparición simultánea de tres tecnologías (la máquina de combustión interna, la perforación de pozos petroleros y la derivación de gasolina y otros combustibles líquidos de petróleo) abrió una alternativa al vapor. El reemplazo del vapor por el petróleo en las máquinas y los hornos fue un gran paso. A parte de eso, la calidad del aire mejoró porque las ciudades se deshicieron del humo y el hollín de la combustión del carbón (la contaminación de los motores de gasolina no se volvió el problema hasta los años sesenta, con la proliferación de los automóviles). Además, los motores de combustión interna aventajaban en unidad de peso por energía a los anteriores, lo que favoreció el avance de la tecnología. Un motor de gasolina de 100 caballos de fuerza pesa apenas una pequeña fracción de la máquina de vapor de la misma capacidad y su caldera, y la proporción de los reactores de las aeronaves es aún mejor. Sin esta ventaja, los automóviles y otros medios de transporte serían incómodos, por decir lo menos, y la aviación sería imposible (Nebel & Wright, 1999).

Hace tres siglos los principales energéticos disponibles eran:

- ❁ El fuego heredado de los lejanos antepasados
- ❁ Los alimentos
- ❁ La energía de tracción animal
- ❁ La energía mecánica del viento y de las caídas de los ríos.

- ♣ Los aceites vegetales, animales y minerales que podían emplearse como combustibles para la iluminación.

Hace dos siglos, la madera continuaba siendo el principal energético. En ese tiempo se inició el uso intensivo del carbón mineral al emplearse en las operaciones de las máquinas de vapor, entre estas la de Newcomen, el desarrollo de los ferrocarriles por los ingleses Trevithick y Stephenson y los barcos de vapor desarrollados por Fulton.

En la segunda mitad del siglo XIX, el carbón mineral era el principal energético en los países industrializados. Al mismo tiempo que se produjeron grandes acontecimientos: se inició la explotación del petróleo, la fabricación de motores Otto que empleaban petróleo, dando origen al desarrollo automotriz, la fabricación de motores Diésel usados en la transportación marítima y la producción de electricidad.

En el siglo XX, a partir de 1930, los hidrocarburos (petróleo y gas natural) llegaron a ser el energético más importante.

En 1931, se produjo la primera reacción nuclear, empleando un acelerador de partículas. El 2 de Diciembre de 1942 entró en operación el primer reactor nuclear, bajo la dirección de Fermi, en la Universidad de Chicago.

La primera bomba nuclear se hizo explotar en el sitio de pruebas de Alamogordo, Estados Unidos, en 1945 y pocos días después en la ciudad de Hiroshima, Japón.

En Francia, en 1940, se estaba construyendo el primer reactor nuclear que empleaba agua pesada (con deuterio en vez de hidrógeno) y uranio natural.

La primera bomba nuclear rusa hizo explosión en 1949 y posteriormente se inició una desafortunada competencia, entre las grandes potencias, para ver quien contaminaba más el planeta con las radiaciones nucleares emitidas por los desechos de pruebas atómicas.

Algunos pequeños reactores nucleares se emplearon en la producción de electricidad comercial desde 1957. A partir de 1970, en Estados Unidos, iniciaron su operación comercial un buen número de reactores, hasta llegar a operar más de 100 unidades.

Estados Unidos es la potencia que consume más energía por habitante, pues con un 5% de la población mundial consume cerca de 25% de la energía mundial y es por lo mismo el que más contamina al planeta (Alba, 1997).

Combustibles y Fuentes de Energía

El término combustible, en su acepción genérica, incluye todos los medios que proveen calor y energía y que se utilizan para diversos propósitos, aunque los patrones de consumo varíen de un uso a otro (Bazán, 1988).

Una fuente de energía es aquella capaz de suministrarla. Las cantidades de energía disponibles constituyen los recursos. El problema real para el hombre es hacer que la energía sea utilizable, y el mayor o menor grado de dificultad a la hora de aprovecharla permite hacer diferentes estimaciones de los recursos.

Las cantidades de energía contenidas en una fuente de energía no constituyen realmente un recurso a no ser que sean de fácil acceso y puedan ser explotadas. Las fuentes de energía más solicitadas son aquellas cuyo principal contenido de energía (expresado en unidad de peso o preferentemente en volumen) está concentrado en grandes cantidades en los principales depósitos; este es el caso del petróleo, el carbón, el gas y el mineral de uranio (Deléage & Souchon, 1996).

Imagine como sería la vida sin toda la energía que se consume. No habría otra forma de viajar que a pie, a caballo o en botes impulsados por remos o el viento. No habría aparatos electrodomésticos, aire acondicionado ni equipos de iluminación ni de comunicación. Aparte de los productos hechos a mano, habría pocos productos en telares o en tornos. La agricultura dependería de la mano de obra y de caballos y bueyes como animales de tiro. En suma, cualquier cosa más allá de una existencia primitiva está vinculada sin remedio al aprovechamiento de las fuentes de energía. Se verá el asunto más a detalle.

Ahora bien, el cambio de una tecnología energética por otra es gradual, porque es más económico seguir usando la maquinaria hasta que se gasta antes de reemplazarla. No fue sino hasta finales de los años cuarenta cuando el petróleo sobrepasó al carbón como la principal fuente de energía, y desde entonces su consumo no ha dejado de aumentar. En nuestros días, el petróleo cubre alrededor del 40 % de la demanda de energéticos del mundo, con algunas diferencias según las regiones, pues ya se observa que muchas zonas pobres dependen de la leña, y el carbón es el principal combustible de China y los países de la Europa Oriental.

En buena medida, el progreso desde esos años se ha basado en tecnologías que consumen gasolina y otros combustibles refinados del petróleo. Así, los hidrocarburos son el pilar de la economía de casi todos los países desarrollados o no. No obstante,

el carbón no ha quedado atrás, y es la principal fuente de energía para la generación de electricidad, por ejemplo Estados Unidos alcanza 22% del consumo de combustible para generar energía.

El gas natural, el tercero de los principales combustibles fósiles (luego de los hidrocarburos y el carbón), viene asociado al petróleo o aparece cuando se perforan pozos petroleros. Está compuesto sobre todo de metano, que solo produce dióxido de carbono y agua cuando se quema, así que produce menos contaminantes que el petróleo, y en ese sentido es más práctico. A pesar de sus obvias posibilidades como combustible, al principio no había forma de conducirlo de los pozos a los consumidores, de modo que todo el gas que escapaba de los campos petrolíferos se quemaba (y en muchas partes aún se hace), es decir, se dejaba salir y ardía en la atmósfera, un desperdicio enorme de combustible. Con el tiempo se construyeron gasoductos para llevarlo a los consumidores, y su uso para la calefacción y la cocina, así como los procesos industriales, aumentó con rapidez a causa de su limpieza, sus ventajas, lo práctico de su manejo (no hacen falta recipientes ni tanques de almacenamiento) y su bajo costo.

Al ocuparse de las cuestiones de si los recursos energéticos son suficientes y de dónde obtener más energía, hay que considerar más que las fuentes, porque algunas formas de energía se prestan mejor para cierto uso que para otros. Por ejemplo, los sistemas de transporte por carreteras, autos y camiones dependen casi por completo de los combustibles líquidos, y lo mismo pasa con tractores, aeronaves, locomotoras y maquinaria pesada. Para mantener este sistema, hacen falta reservas petroleras. La industria anuncia la energía nuclear como la mejor solución para la escasez, pero hace poco por reducir la demanda de petróleo porque solo sirve para hervir agua e impulsar turbogeneradores, lo que no funciona con el sistema de transporte. La situación cambiaría con la difusión de los autos eléctricos, pero como no son viables para las distancias largas, todavía esperan un avance tecnológico que produzca una batería barata y ligera que acumule suficiente energía.

El uso de la energía primaria se divide en cuatro clases: 1) transporte, 2) procesos industriales, 3) hogares y comercios (aire acondicionado, iluminación, y aparatos electrónicos), y 4) generación de electricidad, que se utiliza en las categorías 2) y 3). El transporte depende por completo del petróleo, en tanto que el carbón, la energía nuclear y la energía hidráulica se limitan sobre todo a la producción de electricidad. El gas natural y el petróleo son las fuentes de energía de más aplicaciones.

Se comenta el hecho de que las porciones de energía consumidas que se pierden como calor en lugar de servir a su propósito. Es inevitable que se pierda algo, como dicta la Segunda Ley de la Termodinámica, pero las pérdidas actuales son mucho mayores y convendría por lo menos doblar la eficiencia energética; por ejemplo, fabricar autos que rindan el doble de kilómetros por litro y electrodomésticos que consuman la mitad de electricidad. Duplicar la eficiencia del uso de energía tendría el mismo efecto de duplicar el suministro a un costo mucho menor. Este aumento es la esencia de la conservación de la energía.

Al examinar el futuro de la energía, se tiene que considerar más que suministros y demandas generales; se debe averiguar la forma de adecuar las fuentes primarias a sus usos finales. Más aun, es preciso que sopesemos los medios más económicos de equilibrar suministros y demandas: aumentar el abasto o disminuir el consumo mediante la conservación, la eficiencia y el manejo de la demanda (Nebel & Wright, 1999).

Combustibles Fósiles

Algunos países tienen reservas abundantes de carbón, de gas natural o de petróleo, o tienen la posibilidad de expandir el uso de la energía nuclear (si ciertos problemas molestos se resuelven y la economía de la industria mejora), por lo que no encaran la amenaza de la escasez (dejando de lado por el momento las preocupaciones ambientales del carbón y la energía nuclear). Otro asunto es cuando carecen de reservas o no bastan éstas para satisfacer la demanda. Así, dependen de las fuentes del extranjero, y esta dependencia aumenta lo mismo que los costos: acciones militares, contaminación de los mares, derrames petroleros en las costas. Para examinar la situación se comenzará por ver los orígenes del petróleo.

La razón de que el petróleo, el carbón y el gas natural se llamen combustibles fósiles es porque provienen de los restos de organismos vivos. Hace 200 a 500 millones de años, pantanos de agua dulce y mares someros, que mantienen abundante vegetación y fitoplancton, cubrían vastas áreas del globo. Las condiciones anaerobias de las capas inferiores de esas masas de agua impedían la respiración de los descomponedores y por ende la putrefacción de los detritos. Entonces, se acumularon grandes cantidades de materia orgánica que, al cabo de millones de años, quedó enterrada bajo capas de sedimentos y por la presión y el calor se convirtió en carbón, petróleo y gas natural. La clase de combustible que se formara dependía de la naturaleza de la materia orgánica, las condiciones particulares y el tiempo. Así como

el tratamiento anaerobio (digestión) de las aguas residuales produce metano y un lodo orgánico residual, ocurrió un proceso anaerobio con la vegetación sepultada. El gas natural es el metano atrapado, en tanto que el petróleo representa el “lodo” residual. El carbón es materia orgánica muy comprimida (sobre todo material frondoso de vegetación de pantanos) que se descompuso relativamente poco.

Aún continua la formación de combustibles fósiles por procesos naturales; sin embargo, no es posible considerar que sean una fuente renovable, puesto que se queman mucho más rápidamente de lo que se forman, y **harían falta un milenio para acumular la materia orgánica que se consume a diario en el mundo**. Dado el origen de los combustibles fósiles, es fácil ver que cuando son un recurso finito; tarde o temprano se acabaran, ¿Cuándo?

El total restante de petróleo representa las reservas de la Tierra. El problema es hallarlas y explotarlas. La geología informa de los lugares y la extensión probable de antiguos mares someros. Con los conocimientos de esta ciencia y su experiencia práctica, los científicos conjeturan la ubicación del petróleo o el gas natural y su cantidad. Estas conjeturas de los expertos son las reservas calculadas del mundo. Desde luego, cabe la posibilidad de que estén muy equivocadas. No hay modo de determinar si en efecto hay tales reservas hasta que se da el siguiente paso, la perforación exploratoria.

Si la exploración da con petróleo, se sigue perforando para determinar la extensión y la profundidad del manto petrolífero. Con esta información, se efectúa un cálculo bastante preciso de la cantidad de petróleo que es costeable extraer, las reservas probadas. Estas dependen, entonces, de la rentabilidad de la extracción, y por tanto aumentan o disminuyen con el precio del petróleo: los precios elevados justifican la explotación de unos recursos que no valdría la pena extraer por menos. El paso final, sacar el petróleo o el gas del campo, se llama producción en la jerga del negocio. Por supuesto, este término es un eufemismo; la verdad es que se trata de extracción.

La producción de los campos no es constante, porque el petróleo es un líquido viscoso que se encuentra en los huecos de las rocas sedimentarias, de igual modo que el agua queda atrapada en una esponja. Al principio, como el manto está sometido a presión, es posible que se produzca un surtidor, que por lo regular es de vida corta. Luego, el petróleo rezuma poco a poco de la roca al pozo con el que se extrae. En general, la producción máxima anual está limitada a 10 % de las reservas

restantes. Considere esta regla en términos de la producción máxima de un campo con 100 millones de barriles (un barril tiene 159 litros) de reservas probadas.

Las reservas probadas no se acaban de pronto (como los autos se quedan sin gasolina), sino que su producción disminuye poco a poco de acuerdo con la norma de que no da más del 10% de las reservas *restantes*. La producción aumenta o se mantiene en el nivel del primer año solo si se encuentran más reserva, de manera que las reservas probadas siempre están por lo menos 10 veces debajo de las tasas de producción deseadas.

En seguida, aparece la cuestión de la rentabilidad, es decir, del precio del barril de petróleo. Ninguna compañía va a gastar en la extracción más de lo que espera ganar con su venta. A los precios actuales, solo se costea extraer un 35% de las reservas. Producir más necesita técnicas costosas que no justifican esos precios, pero si aumentan crecen las reservas disponibles. También ocurre lo contrario. Un ejemplo práctico sucedió en los años setenta y comienzos de los ochenta, cuando el aumento en los precios justificó que se abrieran de nuevo viejos campos petroleros y originó una expansión económica en Texas. Luego, a finales de los ochenta, la caída de los precios hizo que los campos cerraran otra vez y hubo una quiebra económica (Nebel & Wright, 1999).

Los combustibles fósiles, y particularmente el petróleo, constituyen la base de la economía global y la civilización occidental. Por muchos milenios la población humana no rebasó los 500 millones de individuos, los cuales tenían que utilizar el trabajo animal y humano como la principal fuente de energía. El crecimiento exponencial de la humanidad de los últimos tres siglos ha ocurrido gracias al gran incremento de la energía disponible asociada al uso masivo de los combustibles fósiles. Desde que se empezó a usar el carbón fósil como fuente de energía, con la Revolución Industrial, la población mundial empezó a crecer de manera aritmética, y desde que inició el uso sistemático del petróleo el crecimiento del planeta ha sido exponencial. En buena medida esto se debió a la mecanización del campo y a la aplicación sistemática de los plaguicidas y fertilizantes derivan directamente del uso del petróleo y del gas natural; sin estos elementos la agricultura solo podría alimentar a la mitad de la población actual (Smil, 1999). El uso de la energía fósil ha permitido también que una buena parte de la población no tenga que trabajar en la agricultura y se pueda dedicar a otras ciencias, la tecnología, la cultura y artes, las cuales han tenido un desarrollo igualmente espectacular. De la misma forma, este excedente de energía

fósil ha posibilitado una explotación de los recursos naturales y de los ecosistemas del planeta a un ritmo nunca antes imaginado.

En la actualidad los combustibles fósiles constituyen 81% de la energía que se usa en el mundo (34% petróleo, 21% gas y 26% carbón) y cerca de 67% de las fuentes con que se produce electricidad (6% petróleo, 20% gas y 40% carbón) (IEA, 2008). En el campo del transporte la dependencia de los combustibles fósiles es aún más significativa, ya que los derivados del petróleo constituyen 95% de las fuentes de energía. Todo crecimiento de la economía global depende también, de manera casi lineal, de un incremento en la demanda de petróleo. Desde 1985 cada variación del tamaño de la economía mundial ha ido de la mano de una variación de la demanda de petróleo (Hirsch *et al.*, 2008) y un análisis del comportamiento de 220 países en un marco de 24 años muestra que existe una relación lineal entre PIB per cápita y consumo de energía per cápita. Finalmente, el crecimiento continuo del sistema financiero internacional de los últimos 25 años se ha basado en el endeudamiento de los gobiernos, las empresas y los individuos. Las deudas solo pueden pagarse en una economía en expansión. En suma, la economía global, el sistema financiero y el crecimiento poblacional no pueden sustentarse sin la producción cada vez más abundante de hidrocarburos. En consecuencia, el ocaso de la producción de estas fuentes no renovables tiene implicaciones fundamentales para la civilización humana y pueden ser aún más graves que el calentamiento global (Brown *et al.*, 2011).



Producción de Combustibles Fósiles

Petróleo, gas y carbón son recursos finitos. La energía química contenida en ellos es la energía solar del pasado geológico, capturada por medio de la fotosíntesis de plantas que posteriormente se acumularon junto con otra materia orgánica en cuencas marinas someras en donde, por el sepultamiento, aumentó paulatinamente la presión y la temperatura hasta provocar su transformación. Una vez formados, petróleo y gas tienden a migrar hacia la superficie debido al contraste de densidad, pero en condiciones geológicas apropiadas pueden acumularse en rocas porosas constituyendo reservorios con un volumen importante de hidrocarburos. La formación, migración y acumulación de carbón, petróleo y gas son procesos que duran centenares de miles de años e incluso millones de años. Por lo tanto, son recursos no renovables ya que la cantidad que de ellos existe en el planeta no puede aumentar, por lo menos no en el arco de la civilización humana. Por otro lado. La formación de un yacimiento petrolero necesita una serie de eventos geológicos que no ocurren de manera constante ni en todos los lugares; sólo se dieron en ciertos periodos geológicos y en



determinadas regiones del planeta. Desde que se empezó a producir el primer pozo de petróleo, a mediados del siglo XIX, se ha explorado con tecnología cada vez más moderna casi todo el globo y se conoce con razonable certidumbre donde pueden existir petróleo, gas y carbón.

En condiciones de libre mercado y demanda creciente, la curva de producción de cualquier recurso finito sube hasta un pico o cenit que prosigue con su declive. Aunque en el momento del pico se tendrá todavía la mitad del recursos existente, el inicio del declive implica un cambio importante que produce una carrera por asegurar los recursos remanentes y, por ende, una escalada de precios. Otro fenómeno común es que en un principio siempre se descubren los yacimientos más grandes y se produce el recurso de mejor calidad (petróleo ligero, carbón un mayor poder calórico, mineral de mayor ley, etc.), por lo que en la era del declive se produce no solo una menor cantidad de recurso sino también el de menor calidad. En el caso del petróleo, este comportamiento de la producción de un pozo, un campo o todo un estado fue reconocido por un geólogo de Shell (Hubbert, 1956), quien pudo además anticipar que el pico de la producción de Estados Unidos ocurriría en 1970. Vale la pena de insistir en que el cenit de la producción (peakoil) no significa el agotamiento, pero si el haber consumido el petróleo de la mejor calidad, el más fácil de extraer, el más cercano y por ende el más barato. Por su carácter dominante entre los combustibles fósiles, haber alcanzado el pico del petróleo significa que la era de energía barata ha terminado.

Existen muchos estudios que han tratado de predecirla fecha en la que se alcanzará el pico de la producción mundial y sus predicciones van desde 2005 hasta 2030. Entre éstos, los estudios elaborados por geólogos y técnicos conocedores de la industria petrolera ponen el pico del petróleo a nivel global antes del 2015 (Robelius, 2008); mientras que los economistas tienden a posponer el pico hacia adelante (Exxon Mobil, 2005).

El Fin de la Energía Barata

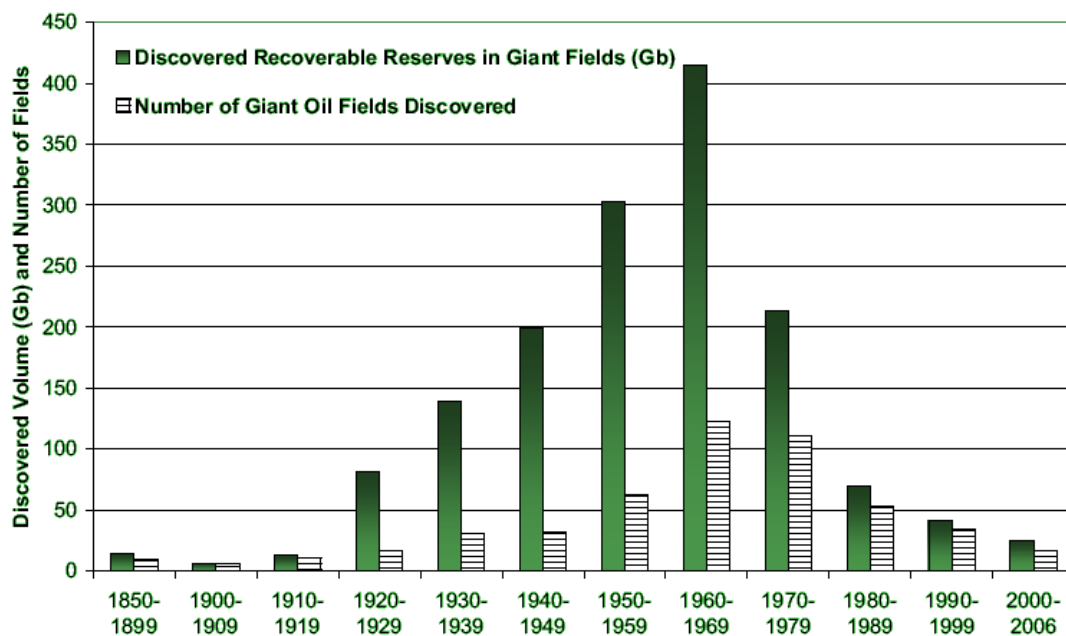
Predecir el pico del petróleo a nivel global implica conocer las reservas mundiales, el consumo a futuro y la tasa de reposición de las reservas no se conoce con exactitud porque los países de la Organización de países Exportadores de petróleo (OPEP), que cuentan con las mayores reservas, mantienen en secreto los datos sobre su producción y sólo publican reservas totales no auditables. Las reservas declaradas por la OPEP no son creíbles, ya que a mediados de la década de 1980 casi todos los

países miembros inflaron repentinamente sus reservas para poder vender más petróleo en el sistema de cuotas que rige a esta organización. Las principales incógnitas son Arabia Saudita e Irak, respectivamente el primer y tercer país con mayores reservas en el mundo. A pesar de producir entre 7.5 y 9.5 millones de barriles diarios, Arabia Saudita declara que sus reservas no han disminuido desde hace 25 años. Casi 50% de la producción de Arabia Saudita viene del campo supergigante de Ghawar, ya en estado maduro después de 50 años de producción. En un estudio cuidadoso que reúne toda la información pública disponible, Simmons (2005) llega a la conclusión de que las reservas de Arabia Saudita son totalmente exageradas y que su producción se encuentra próxima al declive, una opinión que parecen compartir en años recientes los diplomáticos estadounidenses, de acuerdo con los cables divulgados por **Wikileaks**. De hecho, a pesar de haber declarado que puede producir mucho más de 9 millones de barriles diarios, Arabia Saudita no incrementó su producción para mitigar el alza de precios en 2005 y 2008 y tampoco ha podido compensar la pérdida de producción de Libia y los últimos meses, a pesar de haber incrementado en 35% las torres de perforación desde principios de 2011 (Stanford, 2011). Este último dato parece indicar que le máximo de producción alcanzado por Arabia Saudita es de tipo geológico-técnico. Por otro lado, Irak, cuya ubicación estimada es el tercer lugar en cuanto a reservas, enfrenta esencialmente problemas político-militares. Guerras, invasiones y sabotajes han impedido que la producción de Irak rebase los 3 millones de barriles diarios. Sin embargo, Hussain al-Shahristani, ministro del petróleo iraquí, ha planteado a finales de 2009 que Irak podría llegar a producir hasta cuatro veces más, lo que pospondría el pico mundial por algunos años. Sin embargo, para alcanzar estos objetivos se necesitarán grandes inversiones para modernizar una infraestructura obsoleta y devastada por embargos y guerras. También se requiere de una situación político-militar más estable. No obstante que el número de atentados contra civiles y militares haya disminuido sensiblemente en los últimos dos años, la presencia de 50 mil soldados estadounidenses sigue siendo una señal de que la situación no está “normalizada”. Por lo anterior, el plan de incrementar la producción de Irak no se vislumbra sencillo.

Aunque las reservas mundiales no se conocen con exactitud, la historia de los descubrimientos y el análisis de la curva de producción de los yacimientos existentes pueden dar información sobre la proximidad del pico. En cuanto al primer aspecto, está comprobado, en el ámbito de los países, que el patrón de producción repite el de los descubrimientos de campos de petróleo con un desfase de lagunas décadas (entre 25 y 40 años). El pico de los descubrimientos mundiales ocurrió en las

décadas de los años sesenta y setenta y desde entonces la cantidad total de petróleo descubierto ha decrecido de forma constante (refiérase figura 4.1).

Figura 4.1
 Descubrimientos de petróleo en Gigabarriles y número de Campos Gigantes Descubiertos



Fuente: Robelius, 2008.

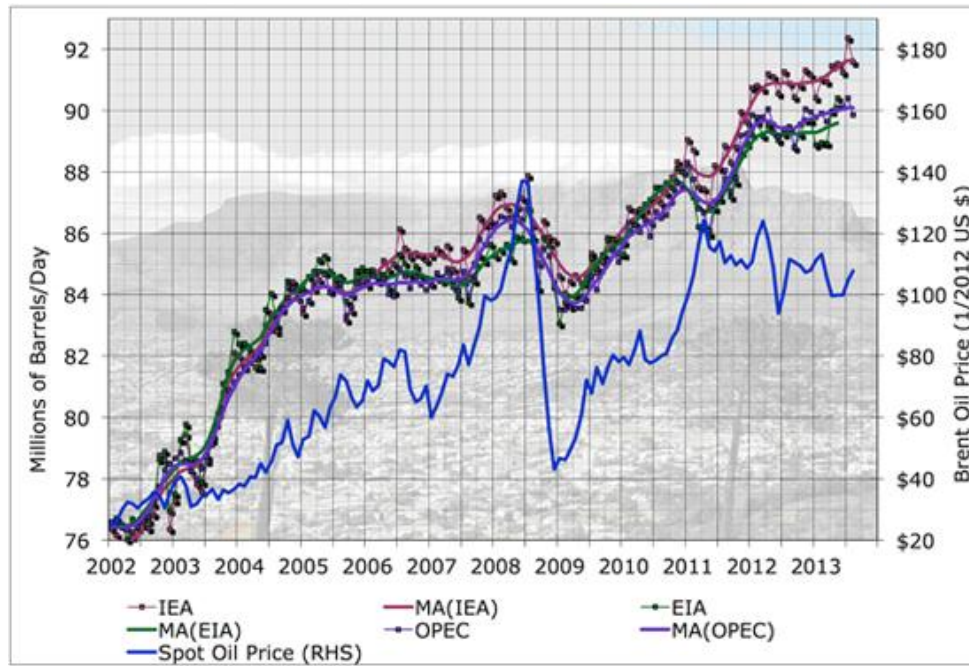
El último campo supergigante, es decir, capaz de sostener una producción que supere el millón de barriles diarios, se descubrió en la década de los setenta. En las últimas tres décadas, 95% de los campos descubiertos han producido menos de 200 mil barriles diarios (Robelius, 2008). Después de un estudio detallado campo por campo en 2008, la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2008), anteriormente propensa al optimismo, tuvo que admitir que la base fundamental de la producción proviene únicamente de 54 campos supergigantes, casi todos maduros y que han pasado el pico, y que los campos actualmente en producción están declinando a una tasa de 5% anual. En la actualidad, 60 países productores ya han pasado el pico de la producción y se encuentran en declive. Desde 2005 la producción mundial está en una meseta ondulada dentro de una banda de fluctuación de 4-5%, a pesar de los altos precios del crudo que se obtuvieron en Julio de 2008 y que se están volviendo a alcanzar (refiérase figura 4.2).

El declive de la mayoría de los países es apenas compensado por los nuevos yacimientos que entran en producción en un puñado de países. Se trata, sin embargo, de petróleo cada vez más difícil de extraer por sus características geológico-técnicas (yacimientos complejos, discontinuos, menos permeables, a mayor profundidad), de

petróleo no convencional (crudo ultrapesado, arenas bituminosas y petróleo de aguas profundas) o de yacimientos en países inestables desde el punto de vista político o militar (por ejemplo, Nigeria, Irak, Angola, Azerbaián).

Figura 4.2

Producción de Petróleo en Millones de Barriles Diarios según diferentes Agencias y su medida Móvil (escala a la izquierda) Y Precio del Petróleo West Texas Intermediate (en dólares estadounidenses, escala a la derecha) en la última Década.

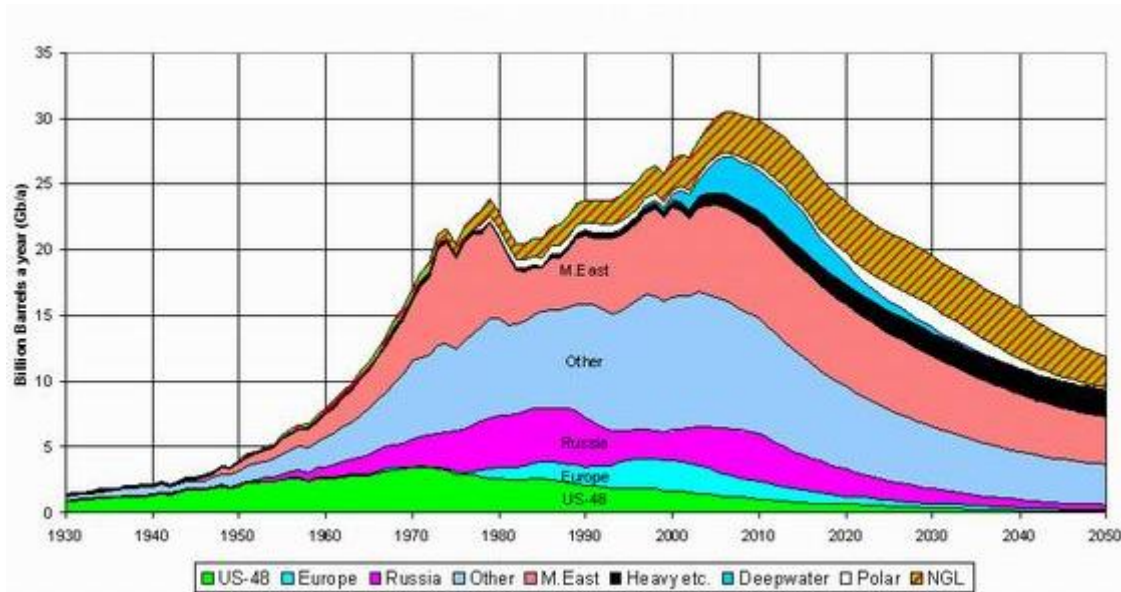


Fuente: grafica elaborada por Stuart Stanford (2013).

En cuanto al petróleo no convencional, vale la pena recordar que estos productos producen considerablemente menos energía que el petróleo convencional debido a la energía adicional necesaria para su recuperación y a que presentan problemas sociales y ambientales que no son secundarios. En el caso de las arenas bituminosas de Canadá, requieren grandes cantidades de agua para su producción, misma que es contaminada y se vuelve no apta para otros usos. La devastación del paisaje es además impresionante. El gas atrapado en arcillas (shalegas) que se ha empezado a explotar en Estados Unidos también tiene serios cuestionamientos en materia ambiental, debido a los compuestos que se usan para fracturar la roca y liberar el gas, ya que pueden contaminar las aguas subterráneas. Finalmente, en el caso del petróleo de aguas profundas los riesgos de derrames y contaminación del mar son mucho más graves que en aguas someras, como lo ha demostrado el desastre de la plataforma de extracción Deepwater Horizon en el Golfo de México. Menor energía, mayores costos de extracción y, se espera, costos para prevención de desastres ambientales, hacen del petróleo no convencional un recurso muy caro. Todo lo anterior indica claramente que si bien el declive de la producción de petróleo todavía

no ha empezado, la era del petróleo barato ciertamente ha terminado. También es claro que el petróleo está siendo sustituido por el gas y el carbón; aunque éstos de todas formas tendrán su pico. Los estudios más cuidadosos sugieren que la producción combinada de hidrocarburos (petróleo incluyendo el no convencional y el gas natural) tendrá un pico global alrededor de 2015 (refiérase a figura 4.3) (ASPO, 2009).

Figura 4.3
Producción Acumulada y Previsiones para el Futuro



Fuente: de acuerdo con el estudio de la Asociación para el Estudio del Pico del Petróleo y Gas (ASPO, 2009).

Otros estudios basados en la producción prevista de aquí al año 2015 estiman que entre 2013 y 2014 la producción de petróleo no será suficiente para cubrir la demanda mundial (ITPOES, 2010).

En cuanto al carbón, que se consideraba tradicionalmente como una fuente abundante, las reservas probadas han sido recientemente revisadas a la baja en varios países del mundo, lo que ha acercado la fecha probable de su pico (Heinberg & Fridley, 2010). En este caso la incógnita es China, que tiene mayor producción, ya que la información oficial de este país no se considera totalmente confiable. De todas formas el estudio más detallado del que se dispone (Energy Watch Group, 2007) indica un probable pico de la producción del carbón para 2025.

Petróleo y Escenario Energético de México

La producción de energía, junto a la producción de alimentos y suministro de agua, representan problemas cruciales de la vida de México y es de primordial importancia el implementar en los próximos años una estrategia adecuada.

México depende actualmente en un 90% del petróleo y el gas, para cubrir sus necesidades energéticas, en un 5% de la quema de madera y desechos agrícolas, en 2.6% de la hidroenergía, en 1.2% de carbón mineral, en 0.6% de geotermia y en 0.6% de energía nuclear.

En 1974 el país se había transformado en importador de hidrocarburos, pero gracias a los descubrimientos en Campeche por PEMEX que en ese tiempo estaba dirigida por el Ing. Antonio Dovalí, distinguido maestro de la UNAM, la situación cambió notablemente.

Las reservas de carbón mineral con que se cuentan, son muy pequeñas y de mala calidad, pues tienen muchos contaminantes y producen gran cantidad de cenizas. Se debe reducir la quema de madera y, por lo menos, mantener el nivel actual de los bosques.

El futuro de la energía nuclear es incierto. Muy probablemente se volverá a usar, con reactores más seguros, para reducir la quema de carbón mineral que es tan dañina. Los dos reactores de Laguna Verde, son del tipo BWR que es de los más eficientes y seguros. El personal que opera los reactores nucleares en Laguna Verde son del más alto nivel y ha recibido un valioso entrenamiento. El uranio es un energético abundante en el país.

Existe la posibilidad de que se encuentre a largo plazo un método económico de producir la energía de fusión controlada que no tiene riesgos radioactivos de la energía de fisión.

El uso de carbón mineral importado aumentará notablemente. Para satisfacer las necesidades de energía eléctrica, se están construyendo plantas llamadas duales que podrán operar con carbón mineral importado o combustóleo probablemente importado.

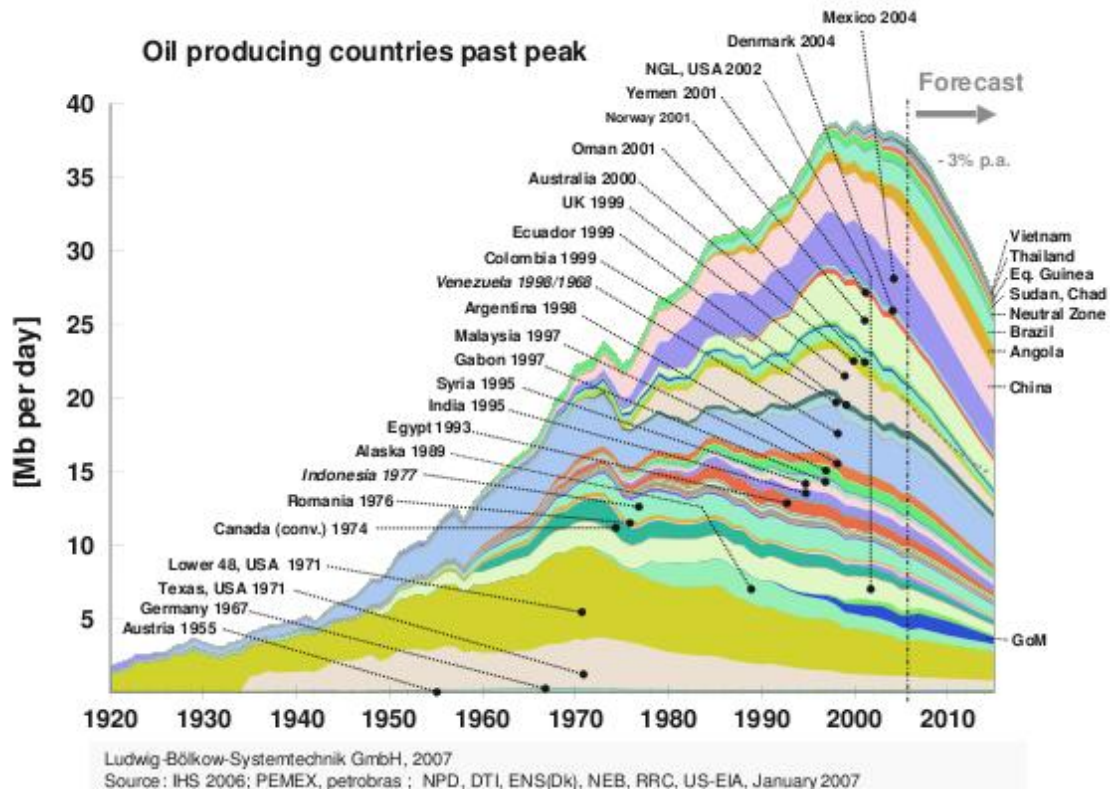
En México aumenta rápidamente el consumo de energéticos; en 1990 se consumieron 3.6 veces más energéticos que en 1965, esto se debe a que el consumo por persona casi se duplicó y el aumento de habitantes en el periodo. Por esto es posible

que en los próximos años se invierta el papel de grandes exportadores de petróleo por grandes importadores de carbón mineral (Alba, 1997).

La historia de la producción mexicana muestra claramente que el país superó su pico en 2004 (refiérase a figura 4.4). Si bien es cierto que ha habido una subinversión en exploración, las razones de la caída son esencialmente de tipo geológico y técnico.

Figura 4.4

Histórico de la Producción Mundial de Petróleo, 1920-2010.



Fuente: Asociación para el Estudio del Pico del Petróleo y Gas y Anuario Estadístico sobre la Energía Mundial de British Petroleum

La producción mexicana tuvo niveles modestos hasta la segunda mitad de década de 1970, cuando se descubrió el campo supergigante de Cantarell en la Sonda de Campeche. Cantarell inició su producción en 1979 y llegó a ser el segundo campo en el mundo por producción diaria después de Ghawar en Arabia Saudita. Desde el punto de vista geológico, Cantarell es un caso único. El reservorio está constituido en buena medida por roca fracturada por el impacto del meteorito de Chichxulub producido en la península de Yucatán hace 65 millones de años; esto provocó la desaparición de los dinosaurios y de casi 80% de las especies animales. Las trampas estructurales que permitieron la acumulación del petróleo se formaron hace uno 10-15 millones de años, durante los movimientos orogénicos que provocaron el levantamiento de la Sierra de Chiapas. Este conjunto de eventos ayudó a formar un campo con características únicas en cuanto a cantidad de petróleo y permeabilidad.

Aunado a condiciones de aguas someras (<50 m de tirante de agua), el resultado fue petróleo abundante y barato; poco más de 200 pozos producían 2.1 millones de barriles diarios en 2004, representando 63% de la producción mexicana. Esto hacía que el crudo extraído en Cantarell fuera muy barato (entre cuatro y cinco dólares por barril) y las ganancias muy cuantiosas. Sin embargo, la explotación fue intensa y el campo empezó a declinar en los años noventa; tuvo un repunte hasta 2004 gracias a la inyección de nitrógeno, pero cuando empezó su declive final la caída fue abrupta y arrastró a la baja a toda la población mexicana. En la actualidad su producción representa 19% de la producción mexicana. La caída ha sido compensada en parte por el campo vecino de Ku-Maloob-Zaap, que actualmente ya está en su máximo y se prevé que empiece a declinar a finales de 2011.

La era “posCantarell” se vislumbra compleja. En pocos años se ha pasado del petróleo fácil, abundante y barato a la del petróleo difícil y caro. Los nuevos prospectos incluyen:

1. Otros campos de la región del sureste (Xux-Tsimin, Ayatsil-Tekel y PitBaksha) que apenas se están delimitando. Aunque estos campos son de buenas dimensiones, en su conjunto representarían solo 6.5% de las reservas de Cantarell. Por otro lado, se caracterizan por contener crudos muy pesados, al límite del petróleo no convencional, cuya refinación necesita de plantas especiales.
2. El yacimiento de Chicontepec, que aunque se estima puede tener de tres a cuatro veces lo que tenía Cantarell, se caracteriza por una estructura geológica muy compleja. De hecho más que un campo único es una serie de lentes discontinuos de arenas, con baja permeabilidad, y un petróleo pesado muy difícil de extraer, por lo que se considera que menos de 10% es factible de recuperarse a un costo muy elevado. La realidad ha sido peor de las previsiones más pesimistas: a finales de 2010, con más de mil pozos, Chicontepec produce apenas 2% de lo que producía Cantarell.
3. La recuperación mejorada en campos maduros, es decir, tratar de recuperar con diferentes herramientas químicas y tecnológicas un poco más de petróleo en campos antiguos, en algunos casos abandonados. Estos proyectos también tienen costos elevados y, de acuerdo con las visiones más optimistas, podrían llegar a tener una producción de 1.5 millones de barriles diarios (mbd) de aquí a 20 años.

4. El petróleo de aguas profundas (>500 m de tirante de agua). En este campo, después de haber practicado 20 pozos exploratorios, no ha habido todavía descubrimientos importantes. Solo el área de Lakach, frente a Catemaco, parece factible de explotación para gas, mientras la de Tamil tiene sólo indicios de crudo pesado.
5. Los yacimientos transfronterizos del cinturón de Perdido, donde tampoco hay descubrimientos certificados aunque hay yacimientos ya en producción del lado estadounidense. PEMEX estima una potencia total equivalente a 30 mil millones de barriles (80% de Cantarell), del cual sin embargo se extraería solamente una parte. Estas previsiones tienden a ser optimistas. En el lado estadounidense, el yacimiento Trident, descubierto en 2001, fue declarado no comercial en 2008. En toda la parte estadounidense del Golfo de México, después de 25 años de exploración y producción, no se llega a producir más de entre 1.2 y 1.4 mbd, con costos por lo menos de 60 dólares por barril.

En síntesis el petróleo que queda por encontrarse y/o producirse en México, aunque no despreciable, no va a revertir la situación de los últimos años. Encontrar otro Cantarell esta fuera de discusión y solo en los últimos meses Pemex ha logrado estabilizar la producción después de la caída de 26% con respecto a 2004. Sin embargo, ésta puede volver a caer dentro de un año, cuando Ku-Maloob-Zaap empiece su declive. Hace falta una mayor inversión en exploración y producción y una mayor eficiencia de la operación de Pemex para poder mantener la plataforma de producción actual.

En el corto plazo lo más preocupante para las finanzas del país es la disminución de las exportaciones. La baja en la producción coincide con un aumento de la demanda interna, que ha continuado creciendo en la última década. Adicionalmente, se está importando cerca de 40% de la gasolina que se consume en el país a precios de Estados Unidos, por lo que el subsidio gubernamental a las gasolinas disminuye drásticamente las ganancias del alto precio del petróleo. Si la tendencia de los últimos años se mantiene, todo indica que a mediados de esta década México será importador neto de hidrocarburos por que el petróleo que todavía exporte será compensado por la gasolina que tendrá que importar. Se tiene entonces poco tiempo y un reto colosal: sustituir los ingresos petroleros en el presupuesto federal, que representan entre 36 y 40% del mismo. Al mismo tiempo, se requiere invertir parte de los excedentes para encontrar el petróleo que queda y desarrollar formas alternativas de energía, renovables y limpias.

Adicionalmente, ya es un lugar común decir que los gases de efecto invernadero, principalmente el bióxido de carbono debido al uso intensivo de los hidrocarburos, son los precursores del incremento de la temperatura media global y, consecuentemente, del llamado cambio climático, con todas las consecuencias que para los seres humanos implica.

Por lo anterior, es urgente una utilización racional de la energía y la sustitución de los combustibles fósiles por otros tipos de energías (Ferrari & Estrada, 2012).

Energías Renovables

El desarrollo de la sociedad humana está basado en el consumo de grandes cantidades de energía. La energía que circula por los ecosistemas y permite vivir a los seres vivos procede en última instancia del Sol. Sin embargo, a pesar del desarrollo científico y tecnológico, todavía no hemos aprendido a aprovechar eficazmente esta fuente inagotable y, por ello, la mayor parte de la energía que utilizamos procede de fuentes de energía no renovables.

Estas fuentes de energía no renovables son aquellas cuya velocidad de consumo es mayor que la de su regeneración, lo que, consecuentemente, puede provocar su agotamiento. Este es el caso de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) y de los minerales. Durante muchos años se han utilizado recursos no renovables como fuentes de energía. Hoy día se estima que, de seguir un ritmo de consumo similar al actual, las reservas de combustibles fósiles se agotarán en un plazo de entre 50 y 100 años.

Por lo contrario los recursos naturales renovables son aquellos que, tras ser utilizados, pueden regenerarse natural o artificialmente, como el agua o los alimentos. Son recursos que, al estar sometidos a ciclos, se mantienen de forma más o menos constante en la naturaleza.

En la era contemporánea la necesidad de disponer de fuentes de energía aprovechables se ha convertido en algo imprescindible para el ser humano. Basta pensar en el consumo energético que una persona común realiza al día para darse cuenta de la dependencia existente (Ferrari & Estrada, 2012).

Se conoce como energía renovable a la energía que puede aprovecharse ilimitadamente, es decir, su cantidad disponible (en la Tierra) no disminuye a medida que se aprovecha. La principal fuente de energía renovable es el sol. En la atmósfera terrestre se convierte en una variedad de efectos, algunos tiene

importancia como recurso energético, tal es el caso de la energía eólica (del viento), la energía de las biomasa (organismos vegetales y animales), la energía hidráulica (movimiento del agua), la diferencia de temperatura en océanos y la energía de las olas del mar (Guillen, 2004).

El aprovechamiento de las energías renovables no es nuevo, no ha surgido con los últimos avances tecnológicos propiciados por el silicio o los modernos materiales. Hace mucho que se aprendió a utilizar los rayos del Sol para fines diferentes a los climatológicos (en el siglo II a. C., Arquímedes ya consiguió quemar las naves romanas que asediaban su pueblo mediante espejos) y aprovechar los vientos generados como consecuencia de las variaciones de temperatura para mover las aspas de los molinos. Pero si es en los últimos decenios cuando se ha potenciado su desarrollo como consecuencia del constante aumento del precio del petróleo, de la incertidumbre política de los países productores de hidrocarburos y por la creciente sensibilidad hacia el medio ambiente, ese que se ve en zozobra por las innatas condiciones depredadoras del hombre.

El consumo de energía sigue una curva ascendente que parece no tener fin. La introducción en el hogar de una innumerable cantidad de electrodomésticos para el ocio y el bienestar lo provoca.

Para el hogar, la industria electrónica ha puesto a disposición del consumidor múltiples equipos audiovisuales que suponen la complacencia de los usuarios porque, entre otras funciones, se manejan mediante control remoto, y también de las empresas comercializadoras de electricidad, ya que los equipos caseros, en reposo "stand by", están consumiendo energía para facilitarnos esa comodidad. Es la eterna paradoja: mientras que se desarrollan apresuradamente medios técnicos para reducir nuestra dependencia del petróleo, los consumidores despilfarran energía sin saberlo. La respuesta de algunos expertos de que el porcentaje de "despilfarro", es significativamente con respecto al consumo energético global no convence.

Del mismo modo que los hogares se han llenado de medios audiovisuales, las terrazas, fachadas y cubiertas de los edificios se han poblado de compresores y otros equipos similares para proporcionar aire fresco. Su empleo está justificado bajo criterios de bienestar, pero el consumo energético que provoca es de una magnitud solo comprobable al número de barriles de petróleo necesario para satisfacer la demanda, suponiendo, naturalmente, que el suministro energético no proceda de centrales nucleares, algo que asusta tanto o más que lo primero.

Por los motivos, que no dejan de ser una mera reflexión en voz alta de una situación conocida y padecida, se están llevando a cabo grandes esfuerzos por parte de organismos públicos y privados para conseguir el mejor aprovechamiento de las energías renovables y con ello disponer de energías alternativas a las de origen fósil. La energía renovable y por tanto perdurable del Sol está siendo aprovechada mediante muy diferentes tecnologías para proporcionar electricidad y calor cuya participación como energía alternativa está creciendo continuamente.

Las energías renovables persiguen en primer lugar atenuar las emisiones a la atmósfera de agentes contaminantes y reducir, en segundo término, la dependencia del petróleo por la incertidumbre que supone las alteraciones de su precio como consecuencia de los cambios políticos en una zona tan conflictiva como Oriente Medio (Perales, 2006).

Panorama Mundial de Las Energías Renovables

Las tecnologías que aprovechan las fuentes renovables de energía, en diversos estudios de desarrollo, han estado presentes en la historia de los seres humanos desde siempre. Sin embargo, con el advenimiento de la Revolución Industrial, cuya pieza fundamental fue la máquina de vapor desarrollada por James Watt en 1774 y que requería para su funcionamiento un combustible de alta densidad energética como el carbón, las energías renovables empezaron a ser sustituidas por los hidrocarburos. En las últimas décadas debido a las crisis petroleras, la investigación y el desarrollo de las tecnologías que aprovechan las FRE (Fuentes de Energías Renovables) se han intensificado al punto de generar tecnologías actualmente en estado comercial. Pero más aún, estos mercados han tenido en los últimos años un crecimiento realmente explosivo.

Se pueden mencionar entre los factores que han permitido el desarrollo actual de los mercados de las FRE los siguientes:

- ♣ El alza de los precios de los hidrocarburos que llegaron a 139 dólares estadounidenses en Junio 2008 y que podrían alcanzar 150 dólares por barril o más en años venideros.
- ♣ El mercado mundial de CO₂, que está en 13 dólares estadounidenses por tonelada y en el futuro podría llegar hasta 40 o 60 dólares por tonelada.

- Las políticas voluntarias de varios Estados (Unión Europea, Estados Unidos, China, India, Brasil) más iniciativas locales que crean incentivos especiales para usar tecnologías FRE.
- El progreso acelerado que han tenido las tecnologías de energías renovables.
- La definición de metas de consumo de ER (energías renovables) por 73 países/Estados/provincias.

Figura 4.5
Crecimiento Mundial en FRE



Fuente: REn21, 2013, Renewables Global Status Report: 2013

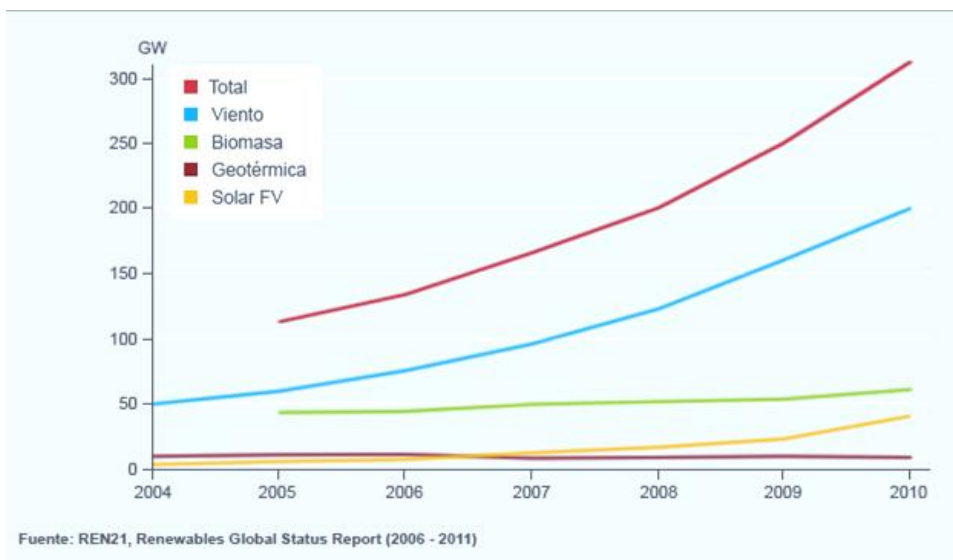
Es claro que estas políticas han ejercido una influencia fundamental en el crecimiento de los mercados actuales de las energías renovables. En el año 2010 la inversión anual en energías renovables se incrementó cuatro veces, llegando a alcanzar 120 mil millones de dólares. En los cuatro años anteriores, en Diciembre de 2004 a Diciembre de 2008, la capacidad instalada para generar energía solar fotovoltaica se incrementó seis veces, superando 16 gigawatts (GW), la capacidad de generación eoloeléctrica aumentó 250% llegando a 121 GW, y la magnitud total de generación de potencia eléctrica de todas las nuevas energías renovables creció 75% hasta alcanzar 280 GW instalados. Este número incluye los aumentos significativos de las pequeñas centrales hidroeléctricas, geotérmicas y la generación eléctrica con biomasa. Durante el mismo período de cuatro años, la capacidad instalada de calentamiento solar se duplicó llegando a 145 gigawatts-térmicos (GWth), mientras que la producción de biodiesel se sextuplicó hasta llegar a 12 mil millones de litros por año y la de etanol se duplicó,

alcanzando 67 mil millones de litros por año. El crecimiento de los mercados frente a las FRE ya es impresionante (refiérase a figura 4.5) para confirmarlo basta con revisar la inversión anual mundial en ER (refiérase a figura 4.6). Como se puede constatar en la gráfica, la mayor parte de la mayor parte de la inversión ha sido en sistemas eolieléctricos, seguidos por la biomasa y los fotovoltaicos. Todo indica que la tendencia seguirá en aumento.

Todos estos datos muestran que los mercados mundiales de las energías renovables están creciendo aceleradamente. Sin embargo, y a pesar de este crecimiento, el uso de las FRE sigue siendo pequeño comparado con la utilización de los hidrocarburos (Ferrari & Estrada, 2012).

Figura 4.6

Inversión Mundial en Energías Renovables



Ante la situación mundial y nacional de los hidrocarburos, México requiere un cambio de paradigma energético. ¿Existen las fuentes energéticas que puedan enfrentar el agotamiento de los yacimientos de combustibles fósiles y que permitan la conservación del medio ambiente para un desarrollo sustentable?

Para comprender mejor el reto energético de las futuras generaciones se debe considerar que la brecha energética que se generará debido a los hidrocarburos es enorme. Efectivamente, en el año 2008 la energía total que se consumió correspondió a la producción continua de una capacidad instalada mundial equivalente a 15 TW (TW = 10^{12} W: 1,000 complejos GPE de 1,000 MW cada uno) y se estima que para el año 2050 se requerirá tener 30TW. Esto es, en tres o cuatro décadas se deberá duplicar la capacidad actual de generar energía para satisfacer la demanda creciente de la misma.

Volviendo a preguntar: ¿existen las fuentes energéticas que puedan satisfacer esta necesidad? Las fuentes renovables de energía (FRE) son aquellas que por su cantidad, en relación con el consumo que los seres humanos pueden hacer de ellas, se consideran inagotables y su propio consumo no afecta el medio ambiente. Ellas son la energía solar, la eólica, la biomasa, la geotérmica, las mini, micros y pequeñas centrales hidroeléctricas y la oceánica. En la tabla destacan las energías provenientes de la biomasa, el viento y el sol son cinco, cuatro y 60 TW técnicamente factibles y solo 1.4, 0.121 y 0.0135 TW de capacidad instalada para el año 2008, respectivamente (refiérase a figura 4.7).

Figura 4.7
Potencial Aproximado de las Energías Renovables en el Mundo

	Potencia global teórica	Técnicamente factible	Capacidad instalada (2008)
Hidráulica	4.6 TW	1.7 TW	0.9 TW
Biomasa	7 a 10 TW	5 TW	1.4 TW
Geotermia	12 TW	0.6 TW	0.054 TW
Viento	50 TW	2 a 4 TW	0.121 TW
Solar	600 TW	60 TW	0.0135 TW
Total	Apro. 676 TW	Aprox. 70 TW	2.53 TW
Nuclear	17.5 TW	10 TW	0.845 TW

1 TW = 10¹² W : 1,000 complejos GPE de 1,000 MW cada uno

Fuente: Renewable in Global Energy Supply, IEA, 2004, y REN21, 2009.

Todos los potenciales técnicamente factibles de las fuentes renovables de energía suman aproximadamente 70 TW. Con estas condiciones de, es claro que las energías renovables podrían responder a la demanda y que la única fuente energética que por sí sola podría satisfacer todo el requerimiento de 15 TW es la solar.

La respuesta a la pregunta antes formulada es afortunadamente positiva. Se cree que el uso racional y eficiente de las actuales fuentes energéticas y las energías alternativas: energías renovables y energía nuclear constituyen la solución al problema energético (De Winter, 2006).

La energía es una de las problemáticas que definirán el destino de México y el mundo en el siglo que comienza. Lo que se haga o deje de hacer a partir de ahora determinará la capacidad para satisfacer los requerimientos energéticos del país en el

futuro. Como se sabe, las fuentes primarias de energía que dominan en el mundo son los hidrocarburos, y en la actualidad corresponden a 80.8% de toda la energía primaria producida y consumida. En México, la dependencia es aún mayor, en el año 2007, 92% de la producción de energía primaria correspondió a combustibles fósiles (67% petróleo, 23% gas y 2% carbón) (CIE UNAM, 2008).

Los países emergentes, como China, India, Brasil, México y los países menos desarrollados necesitan tener acceso pleno a las fuentes de energía moderna, entendidas éstas como electricidad y carburantes. De ahí que la demanda energética mundial está en continuo aumento a un ritmo de crecimiento anual de 2%. A medida que crecen la población y las economías, millones de personas en todo el mundo disfrutan de los beneficios de un estilo de vida que requiere cantidades de energía cada vez mayores. Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), en su escenario de referencia, la demanda mundial de petróleo evolucionará de 84 millones de barriles al día en 2005 a 116 millones de barriles diarios en 2030, es decir, se incrementará 38% más en ese período. Esto es un reto colosal en términos de inversiones, en particular en un contexto de declinación de las reservas y plataformas de producción de petróleo.

- ❖ La población mundial va en aumento: 6,600 M (ahora) 8,000 M (en 2030).
- ❖ La demanda y los consumos mundiales de energía van en aumento.
- ❖ El pico de la producción de hidrocarburos convencionales en todo el mundo ya se alcanzó o se alcanzará en los próximos años.
- ❖ El uso de hidrocarburos genera gases de efecto invernadero que contribuye al cambio climático.

Este contexto de declinación de las reservas es ya evidente. Muchos de los campos de petróleo y gas del mundo están llegando a su madurez. La producción de crudo tocó techo en los Estados Unidos en 1970, en Alaska en 1998, en el Mar del Norte en 1999 y en Cantarell en 2005, no obstante que los grandes descubrimientos más recientes fueron precisamente en esos lugares (en Alaska y en el Mar del Norte en 1967 y en Cantarell en 1971). Los descubrimientos de nuevos yacimientos de fuentes energéticas se dan principalmente en lugares donde los recursos son difíciles de extraer, ya sea por motivos físicos, económicos o incluso políticos.

¿Cuándo tocará techo la producción mundial? Algunos sugirieron que en 2012, otros más que en 2020 y algunos otros que en 2050. A partir de ese momento la

producción disminuirá. Cualquiera que sea la fecha, para los expertos petroleros del mundo es claro que este recurso está declinando rápidamente en relación con la escala temporal humana. Lo más probable es que mucho antes de alcanzar este límite, que eventualmente podría extenderse por los avances tecnológicos, el juego de la oferta y la demanda petrolera y su efecto en la evolución de los precios del petróleo constituirán los factores determinantes de la era del petróleo.

Además, ya es un lugar común decir que la producción de gases de efecto invernadero, principalmente de bióxido de carbono debido al uso intensivo de los hidrocarburos, es la precursora del incremento de la temperatura media global y, por tanto, del llamado cambio climático, con todas las consecuencias que para los seres humanos implica.

Por lo anterior; es urgente utilizar más racionalmente la energía y sustituir los combustibles fósiles por otros tipos de energía (Winter & Swenson, 2006).

Escenario de México en Energías Renovables

Dentro de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), México se encuentra en una situación privilegiada, al ser el único junto con Canadá, que todavía tiene excedentes de su producción petrolera que pueda exportar. Sin embargo, ya ha pasado el pico de la producción lo cual ha decaído 26% en solo seis años. El pico de la producción ha significado también pasar de un petróleo abundante y barato a uno más difícil de extraer, de menor calidad por ende mucho más caro. Esto es un situación que se antoja más difícil debido a la crisis financiera internacional, la crisis alimentaria, el aumento de los desastres naturales asociados con el cambio climático global y la necesidad de soportar una población que no cesa de crecer.

En el corto plazo la mejor estrategia para asegurar recursos energéticos suficientes para las generaciones futuras reside esencialmente en el ahorro energético y el mal uso masivo de las tecnologías de energías renovables ya disponibles comercialmente. A diferencia de otras regiones, como Japón o Europa, esto no ha estimulado en la historia reciente de México, que más bien ha adoptado un estilo de vida similar al de Estados Unidos. Se ha impulsado el transporte basado en le petróleo (carreteras) en lugar del sustentado en la electricidad (trenes), el transporte privado en lugar del público y el uso de vehículos con alto consumo de gasolina (SUV) en lugar de vehículos ahorradores (utilitarios). La eficiencia de la producción y distribución de energía es también baja en el contexto internacional. En una situación ideal, una

disminución de la demanda interna de petróleo unida a una rebaja voluntaria de las exportaciones petroleras puede permitir administrar por muchas décadas más este recurso no renovable, mientras se instrumenta la transición a una economía y una sociedad pospetrolera que debe necesariamente sujetarse a la disponibilidad energética que proveen las energías renovables (Ferrari & Estrada, 2012).

La localización de México en el planeta lo favorece ampliamente. Cuenta con una riqueza natural de su geografía física y su meteorología. Tiene opciones factibles -sol, viento, agua-, para satisfacer una parte importante de su demanda energética. Asimismo, el país cuenta con recursos humanos capaces de realizar investigación y desarrollo para apropiarse las tecnologías de energías renovables y promover una industria nacional en este campo. Ello implicaría la creación de algunos cientos de miles de nuevos empleos calificados, todos de alta calidad. Para todo esto se deben generar las políticas, marcos legales, incentivos económicos y los fondos del financiamiento para el desarrollo masivo de las energías renovables en el país, vía la investigación, la innovación y el desarrollo.

Por ya casi 14 años se ha desperdiciado el potencial del agua para generar energía, recurso distribuido por todo el país. Con solo un proyecto importante construido, un segundo caso en construcción y otro empantanado por la mala gestión social, el atraso continúa. Falta darle el justo valor a los beneficios de las plantas hidroeléctricas, no solo como generación de energía eléctrica, sino también como medio para regular el régimen lluvia/estiaje en la administración de los recursos hídricos para los propósitos de riego agrícola, control de avenidas, agua potable, entre otros. La ingeniería mexicana, altamente capacitada para el diseño y construcción de plantas hidroeléctricas, cuenta con años de experiencia en lo que a obra civil se refiere. Por lo que es necesario completar su capacidad en este campo al impulsar la investigación y el desarrollo en el diseño e implementación de turbinas. En este caso, debe establecerse, por ley, un porcentaje fijo de las ventas de Comisión Federal de Electricidad para ser utilizado en la investigación tecnológica de las plantas hidroeléctricas.

A pesar de tener una menor disposición de zonas con vientos fuertes que México, varios países han incrementado en los últimos años el uso de energía eólica. México ha avanzado muy lentamente en aprovechar el viento para generar energía con la producción e instalación de aerogeneradores que controlen el ruido, el estorbo y los reflejos visuales, así como el posible daño a aves y quirópteros. La industria nacional está capacitada para la fabricación de centrales eólicas, pero es necesario propiciar el

uso de aerogeneradores, así como la investigación tecnológica que ayude a que la industria nacional sea autosuficiente y quizás hasta exportadora de esta tecnología.

México cuenta con una incidencia solar muy alta que abarca todo el territorio nacional. Es necesario aprovechar la energía del sol con el desarrollo de celdas solares, promover el uso masivo de colectores solares para uso doméstico, comercial y urbano. Paralelamente, se debe invertir en investigación de desarrollo de nuevos diseños y la instalación de plantas productoras de colectores solares. México cuenta ya con algunos desarrollados innovadores de tecnologías de colectores solares pero requiere incentivos fiscales que promuevan su fabricación y uso masivo.

El gran auge internacional de los biocombustibles ha generado el alza de precios de productos agrícolas. La experiencia internacional, aparentemente exitosa, el uso de bioetanol cuenta con altos subsidios en la producción de caña de azúcar en Brasil y de maíz en Estados Unidos. En el caso de México los biocombustibles se ubican en un ámbito desvinculado del sector agrícola. El etanol es un buen combustible, pero en el país un uso del maíz diferente del alimentario abre un problema complejo. Es necesario conformar grupos fuertes de investigación en bioetanol y biodiesel, especialmente de segunda y tercera generación, para poder evaluar con rigor científico si se debe considerar como una opción para modificar la vocación agrícola de los productos del campo. Por otro lado, se tiene el desarrollo de la bioenergía en centrales de biogás. México cuenta con un caso de éxito en el uso de este energético proveniente de rellenos sanitarios en el Estado de Nuevo León, es necesario replicar este modelo de cogeneración de energía, de ahorro sustancial en energía primaria y de reducción en emisiones de contaminantes en otros rellenos sanitarios del país.

Se considera que los beneficios de las energías renovables y de los cambios de paradigma en el uso de combustibles y en el rediseño urbano, saltan a la vista. México podría alcanzar una relativa seguridad en la oferta energética, sin cambios bruscos en los precios de combustibles, con reducción de la degradación del aire, el agua, la tierra y la biodiversidad, y con control de los gases de efecto invernadero que alteran el clima. Ahora bien, para todo esto es necesario abatir las barreras de la falta de financiamiento a proyectos económicamente viables; el desinterés mostrado por incorporar sistemas de generación distribuidos; la dificultad y complejidad para negociar e implantar políticas energéticas, la desconsideración hacia el medio ambiente, y la falta de cultura de desarrollo sustentable. Finalmente, es de hacerse

patente, que sin una sólida investigación científica y tecnológica, el futuro energético en México es muy oscuro (Flores, 2011).

La ruta de salida de la encrucijada obliga a la sustitución, lo más pronto posible, del petróleo que en breve faltará por otros energéticos. Al discutir cómo reencauzar la política energética del país, no solo es urgente considerar la cuestión petrolera, sino configurar una política completa, enmarcada en una política industrial y económica nacional. Aún más, buena parte de la discusión reciente se ha concentrado en la factibilidad, la conveniencia y la forma de explotar los yacimientos profundos del golfo de México; la cuestión de dichos yacimientos está rebasada por la realidad energética y económica del país. Aun explotándolos debidamente si no se toman las decisiones pertinentes el país estará en peligro de no contar con suficiente energía para su desarrollo.

Para decidir racionalmente sobre las medidas que es indispensable tomar es necesario partir de los requerimientos energéticos a largo, mediano y corto plazos. A éstos se debe adjuntar aquellas cuestiones nacionales que son afectadas por la generación y el consumo de energéticos. Este es el marco para analizar las distintas opciones abiertas y elegir el mejor camino a seguir (Magar & Del Rio, 2008).

Para el objetivo de incrementar la utilización de fuentes renovables de energía y promover el uso eficiente de energía, se requiere que los esfuerzos nacionales tengan un impacto amplio y permanente, dentro de un marco de concertación y participación de los sectores público, privado y social.

Las oportunidades en el país relacionadas con el ahorro de energía y el aprovechamiento de la energía renovable son extensas, y las tecnologías que hacen posible este aprovechamiento siguen evolucionando y reduciendo sus costos.

Bajo esta perspectiva, se promoverá la explotación de todas y cada una de las oportunidades técnicamente posibles y económicamente rentables, tanto del lado de la oferta como de la demanda, y se asegurará que las nuevas instalaciones tengan los más altos niveles de eficiencia.

Para lograr este objetivo se necesitan precios de la energía que reflejen costos a impacto ambiental; programas específicos nacionales y regionales, y bases normativas para promover la cogeneración y las energías renovables y para que la Administración Pública federal pueda utilizar su poder de compra para promover el desarrollo de mercados.

También se necesitan programas permanentes para la formación y certificación de recursos humanos; un sistema nacional de evaluación, registro y difusión de los recursos energéticos renovables; recursos para la investigación básica en ahorro de energías renovables, y vinculación activa y permanente, bilateral y multilateral, de instituciones mexicanas con organismos internacionales similares en otros países.

En el período 2001 a 2006 la meta era duplicar la utilización de energía renovable en comparación con la utilizada en 2000. Asimismo parte de la estrategia es instalar 1,000 MW adicionales al programa de expansión de la CFE, basados en energías renovables como la solar, eólica, minihidráulica, geotérmica y biomasa.

La conservación de recursos energéticos no renovables es importante por su impacto generacional. El aprovechamiento del potencial del país en este terreno traería como resultado la diversificación de la oferta energética, la atenuación considerable de impactos sobre el medio ambiente, una posible detonación de la actividad económica en la manufactura, instalación y operación de sistemas adecuados, y el aprovechamiento de una base tecnológica nacional que ha operado y desarrollado a lo largo de los últimos 25 años.

La energía renovable puede jugar un papel primordial para el desarrollo de comunidades aisladas, donde los sistemas resultan más económicos que el desarrollo de la infraestructura convencional.

Por ello se deberá, principalmente, apoyar el diseño e implantación de programas que faciliten la adquisición de equipos y sistemas, intensificar la investigación y el desarrollo tecnológico nacional y desarrollar empresas nacionales relacionadas con el aprovechamiento de la energía renovable, y con ello promover un mercado nacional de equipos y servicios de alta calidad.

También, se deberán integrar, con la participación de la sociedad, propuestas de política pública para la eliminación de las barreras existentes para el aprovechamiento de las oportunidades que proporciona la energía renovable; ampliar la disponibilidad de recursos financieros de bajo costo, aplicables a programas, proyectos y acciones en la materia, dentro de los sectores público, privado y social; realizar programas permanentes de promoción de esta energía, y reforzar la vinculación de México en el contexto internacional, para aprovechar el financiamiento de bajo costo, de intercambio de experiencias y recursos técnicos en la materia.

La CRE (Comisión Reguladora de Energía) y las empresas del servicio público perfeccionarán los contratos a largo plazo y distribución de energía eléctrica con fuentes renovables y, al mismo tiempo, permitir a los productores recuperar su inversión en un tiempo razonable.

Con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) se elabora un programa de apoyo a la investigación y desarrollo tecnológico en esta materia, se reforzará el desarrollo, la evaluación y la actualización permanente de las normas oficiales mexicanas (NOM) de eficiencia energética, procurando la armonización del sistema de normalización con estándares de los países desarrollados.

Se reforzarán los programas de ahorro de energía existentes -como el horario de verano y el de la Administración Pública Federal-; se continuará el diseño y la instrumentación de programas para la sustitución de equipos de baja eficiencia energética atendiendo oportunidades y necesidades particulares de cada región o estado, y articulando los sectores público, privado y social, se implantarán y operarán modificaciones al marco jurídico de la Administración Pública Federal para que sus compras e inversiones incluyan criterios de eficiencia energética.

Asimismo, se fortalecerán los servicios de asistencia técnica que brindan las instituciones públicas y privadas, y se integrarán bases de datos nacionales y regionales con información relacionada con la producción, transformación, transporte y consumo de energía.

En el mismo sentido, PEMEX, y la CFE impulsarán programas de ahorro de energía, articulados dentro de un programa anual de impulso en este tema, coordinadamente con la CONAE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía) y el Fideicomiso para el Ahorro de Energía (FIDE), y se fomentará el desarrollo de un mercado de ahorro de energía, coordinada con la CONAE, e impulsará el desarrollo de un mercado de agentes intermediarios en las áreas de ahorro de energía, buscando la generación de empresas de servicios de ahorro de energía (ESCOS).

Por otra parte, México cuenta con importantes instituciones dedicadas a la IDT en temas de energía. Sobresaliendo el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), el Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM), el Centro de Investigación en Energía de la UNAM (CIE-UNAM) y los Centros de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV-IPN), con los cuales ha sido posible el desarrollo del sector energético mexicano.

Es importante continuar y reforzar las acciones realizadas en el país a través de estas instituciones, procurando una mayor vinculación con los sectores público y privado para la IDT.

Por lo anterior, será necesario establecer en laboratorios de investigación nacionales un programa permanente de seguimiento tecnológico de los materiales, equipos y sistemas para el ahorro de energía, y establecer y asignar fondos específicos a programas de investigación y desarrollo de tecnología relacionados con el ahorro de energía.

Además, los esfuerzos nacionales en el uso eficiente de la energía deben tener el respaldo social; por eso se deben reforzar las acciones de promoción que realizan las instituciones públicas y privadas dedicadas al fomento del ahorro de energía.

Aprovechar las oportunidades de ahorro de energía que existen en todo el país implica un cambio de hábitos en el uso de energía, difícil de lograr sin atender el aspecto educativo. La inversión sistemática en educación y capacitación consolida la formación de una cultura para el cuidado de la energía en el corto, mediano y largo plazos. La capacitación tiene efectos directos en el corto plazo y con consecuencias inmediatas en el aparato productivo.

Por otra parte, la educación en niveles básicos permite, en el mediano y largo plazos, contar con individuos conscientes de la importancia de los beneficios del ahorro de energía y capaces de realizarlas acciones conducentes.

Las actividades de formación de recursos humanos en ahorro de energía deberán estar coordinadas con instituciones educativas, de investigación y desarrollo, asociaciones civiles y cámaras industriales de comercio.

Para ello, se deberán realizar programas y materiales educativos para ser utilizados en el sistema educativo nacional. Y reforzar el desarrollo de recursos humanos especializados en ahorro de energía de manera coordinada con las instituciones educativas y de investigación del país (Secretaría de Energía, 2006).

Es claro que la producción de energía por los medios convencionales están a la abaja a tasas muy violentas. En el corto plazo -menos de cinco años- casi cualquier faltante energético podrá cubrirse con un incremento de las importaciones (gas, combustóleo, y gasolinas), como de hecho ya se ha estado haciendo, y pagar éstas con las reservas de divisas; después de todo, están ahí para emergencias nacionales y se enfrenta una situación de emergencia. Sin embargo, las reservas en divisas no son

inagotables y sería irresponsable agotarlas por no actuar con rapidez. Entonces, en un plazo medio - considerando 10 años- México deberá recuperar el control del sustento energético de su desarrollo económico y social. Eso significa que la balanza energética del país debe estar equilibrada y, de ser posible, que vuelva a tener superávit. En el largo plazo, además de conservar el equilibrio de la balanza energética, México deberá garantizar que su desarrollo sea ecológicamente sustentable, tanto en lo que afecta el medio ambiente nacional como en lo que concierne al medio global. Este último punto ha sido defendido por México en los foros internacionales, con más que justa razón, y se debe actuar en consecuencia; ello implica obtener energía primaria necesaria de las fuentes limpias respetuosas del medio ambiente local y global. Además, se debe cuidar el diseño y operación del sistema energético contribuya positivamente a los rubros estratégicos del desarrollo nacional -sociales y de creación de empleos- más allá de administrar la energía necesaria.

Para llegar al escenario deseable en el largo plazo es indispensable que las medidas que se tomen en el corto plazo - hoy y en los próximos años- atiendan a cabalidad las exigencias en los plazos mediano y largo.

Las más importantes implicaciones que se desprenden del escenario a largo y mediano plazos son: contener la importación de energéticos en un nivel manejable a largo plazo; dar prioridad a los energéticos renovables, y entre éstos a los que no son combustibles [La utilización de combustibles, aunque sean renovables, contribuye a incrementar la entropía (calentamiento, contaminación) de la biosfera]; tomar medidas estrictas y eficaces para terminar con el dispendio y el desperdicio en la producción y la utilización de energía; dar la prioridad al desarrollo de energéticos que resulten en nuevos empleos, que no compitan con la producción alimentaria y química, y que satisfagan las necesidades energéticas del sector más desprotegido de la sociedad.

Para analizar las opciones energéticas al alcance se tomarán en cuenta los siguientes factores que inciden en ellas:

- 1] La disponibilidad de la fuente primaria.
- 2] La factibilidad tecnológica y el costo.
- 3] El impacto sobre el ambiente, la sociedad y algunos rubros de la economía del país (Flores, 2011).

En vista de que las energías fósiles (principalmente el carbón), subproductoras de GEI, continuarán utilizándose por muchos años, se empiezan a instrumentar proyectos de mitigación, sin embargo, de cara al futuro y por la importancia que representan otras energías, que son ambientalmente limpias y no subproductoras (o de baja emanación) de GEI, es importante el desarrollo de alternativas energéticas agrupadas en renovables solar, eólica, minihidráulica, maremotriz, biomasa, geotérmica y nuclear (López, 2009).

México se atrasó por lo menos 25 años en promover sus fuentes renovables de energía, a pesar de que varios grupos de científicos dieron la voz de alerta e iniciaron programas de desarrollo de tecnologías tanto del viento como solar, térmica y fotovoltaica. Esas iniciativas no recibieron apoyo suficiente, ni se puso en marcha ningún programa a largo plazo para el empleo de las fuentes de presas y ni se ha fomentado más la geotermia.

Esta situación ya no se puede continuar; se tiene la certeza de que las tecnologías del viento y solar han avanzado lo suficiente para fomentar su desarrollo masivo en nuestro país, y evitar así que colapse la economía en el mediano plazo por falta de energía.

En el corto plazo será de vital importancia disminuir el consumo de energía en el transporte, poner un coto efectivo a la potencia de los vehículos y fomentar el empleo de tranvías, líneas del Metro y ferrocarriles eléctricos. Además, habrá que facilitar en las ciudades el uso de vehículos motorizados de dos ruedas y de autos de muy baja potencia, tanto híbridos como totalmente eléctricos.

En el corto y mediano plazos la mayor oportunidad está en el viento. La tecnología está madura y es mundialmente competitiva. Para el propósito, se tiene viento de sobra en Oaxaca, Zacatecas, Tamaulipas, Aguascalientes y en muchas costas. El rendimiento sería económicamente mejor que el de cualquier fuente convencional. Además, la industria ya está equipada para producir la mayor parte de las máquinas.

En 20 años, el sol se deberá convertir en la principal fuente energética. En suma, se debería hacer todo lo posible para utilizar como fuentes preponderantes a las renovables y la nuclear, y abandonar tanto el carbón como los hidrocarburos, pero conservar estos últimos para fines de mucho mayor valor agregado, tales como fertilizantes, plásticos, productos químicos y medicinales. Se debe hacer conciencia de que es un crimen estarlos quemando, sin pensar en el futuro (Flores, 2011).

Alternativas Energéticas para México

Las fuentes energéticas más abundantes en el país son el viento y la radiación solar; también se cuenta con mucha más energía hidráulica, geotérmica y biomasa que las explotadas en la actualidad, pero en menor medida que las primeras. Todas ellas son renovables, claro está, mientras no se afecte demasiado los ecosistemas, se destrocen los suelos o se acabe con el agua disponible. Además, se tienen reservas de uranio suficientes para sostener un consumo de hidrocarburos no mucho mayor al actual por varios años.

Hay otras fuentes de energía disponible en el territorio nacional, pero las tecnologías para explotarla no están todavía disponibles, ni lo estarán por varias décadas. La energía del mar -diferencial térmico (d'Arsonval), olas, corrientes marinas y mareas- esta apenas en etapa experimental de aprovechamiento. La energía de fusión nuclear (que usa como combustibles el deuterio y el tritio), está todavía más lejos de ser aprovechable en la práctica; quizá llegará a ser importante en la segunda mitad del siglo. Hay también otros energéticos, como el hidrógeno, que no constituyen una fuente primaria, sino que solo podrían sustituir a otros energéticos secundarios -como las gasolinas-, pero que no será competitivo aun a mediano plazo (Flores, 2011).

Está aumentando el uso del carbón mineral en el mundo y el país, por una simple razón; su precio. Otra fuerte razón es que las reservas mundiales de este energético son mucho mayores que las del petróleo y podrían durar más de 100 años en vez de varios de decenios.

Desafortunadamente, México cuenta con muy pocas reservas de este energético y las que tiene son de baja calidad y producen alta contaminación.

México, como muchos países de Latinoamérica, Asia y África, son pobres en carbón mineral; para ellos, la energía nuclear puede significar una gran ayuda si se utiliza adecuadamente. El país es rico en Uranio, como lo demuestra el que en el sexenio 1971-1976, se integrara un pequeño pero valioso grupo de científicos y técnicos que localizaron a un costo insignificante las reservas actuales equivalentes a 9,000 toneladas de óxido de uranio, más que suficientes para la operación de toda la vida útil de los reactores de Laguna Verde con una potencia de 1240 MWe. Esta es equivalente a un 23% de la energía hidroeléctrica producida, que depende de las grandes variaciones del agua disponible en las presas y que frecuentemente deja correr el agua cuando no es aprovechable para la agricultura.

La energía eléctrica producida con reactores nucleares, tiene un costo similar a la producida quemando petróleo y produce mucho menos contaminación que la quema de hidrocarburos.

Los reactores de tipo BWR (de agua en ebullición) diseñados por la General Electric, como los de Laguna Verde, México, los PWR (de agua a presión), diseñados por Westinghouse y los CANDU de Canadá, han demostrado ser los más seguros en su operación. Los BWR y PWR, operan con agua natural y uranio enriquecido, mientras que los CANDU operan con uranio natural y agua pesada, formada por oxígeno y un isótopo del hidrógeno más pesado, llamado deuterio.

Existe en el país una gran cantidad de energía en mantos de roca seca caliente y en mucho menor cantidad en mantos de agua caliente.

En el caso de mantos de agua caliente, las reservas probadas suman 940 MW que se encuentran en Cerro Prieto, Baja California (700 MW), Los Azufres, Michoacán (185 MW) y Los Hornos en Puebla (55 MW). En muchas otras regiones existen mantos de agua caliente con reservas probables de 4000 MW.

Se puede concluir que la energía geotérmica es una fuente confiable, cuya aportación a la oferta de energía puede llegar a ser importante

En general los países localizados en los trópicos, como México, tienen vientos sostenidos con velocidad media anual, inferiores a los localizados a mayores latitudes. En el norte de Escocia la velocidad media anual es de 40-50 km/hora. En uno de los lugares más favorables de México, La Ventosa en el Istmo de Tehuantepec, la velocidad media anual es de 20 a 25 km/hora, correspondiente a una potencia promedio de 200 watts/metro².

En cuanto a la energía solar, México es uno de los países más favorecidos con este energético. Dentro de 10 o 20 años, cuando la producción de petróleo no alcance a satisfacer las necesidades energéticas crecientes, las posibilidades que se tendrán para sobrevivir serán: la importación de grandes cantidades de carbón mineral, la energía solar y la energía nuclear. Es necesario que desde ahora se le dé un gran impulso al desarrollo tecnológico de la energía solar, para no depender de los desarrollados que están realizando los finlandeses, suecos, alemanes (que tienen poca energía solar) y los españoles y norteamericanos, que la tienen en algunas regiones favorables en el sur de sus países (Alba, 1997).

El Sol, Fuente de Energía

La radiación solar es la fuente de energía limpia más importante del planeta. Así la potencia solar térmica constituye el mejor candidato para el uso de energías renovables. Un tercio de la energía mundial que se usa en el mundo en procesos de calentamiento, por ejemplo para el confort en las viviendas. La energía solar produce calor de proceso para calentar y enfriar; por lo tanto, puede ser un sustituto evidente del petróleo y el gas que se utilizan para estos fines.

Los usos más comunes de la energía solar son: el calentamiento del agua, el acondicionamiento ambiental en casa y edificios, el secado de productos agrícolas y marinos, la desalación y potabilización del agua, la producción de vegetales y frutas en invernaderos, la irrigación y el bombeo de agua, la refrigeración de vacunas y medicinas y la conversión directa en electricidad a partir de la concentración de energía solar compite con la generada por fuentes fósiles.

La luz solar concentrada es flexible y tiene múltiples aplicaciones. Su producción se puede unir a la red eléctrica sin problema. La tecnología solar en general puede ser mejorada, sobre todo en el almacenamiento de energía.

La radiación solar en México es muy grande y eso lo hace un país ideal para su aprovechamiento (Tagüeña & Martínez, 2009).

Al referirse a la energía solar, generalmente se piensa en la electricidad o el calor producido por artefactos ideados para aprovechar la radiación solar, aunque en realidad todo tipo de energía tuvo su origen en el sol. Esta modalidad de energía actualmente cuesta hasta diez veces más que la electricidad obtenida por las plantas generadoras a base de carbón (pero el precio promedio es mucho más bajo), esto se debe principalmente al alto costo de los materiales con que fabrican las celdas solares; empero, los precios van a la baja y en determinados lugares esta modalidad de energía ya compite con otras fuentes de energía.

Es en el campo de la energía solar donde, probablemente, pueda desarrollarse en México una actividad de investigación que no requiere instalaciones muy costosas y que tiende al desarrollo de una tecnología sencilla. Por otra parte las condiciones de insolación de gran parte del territorio nacional lo hacen especialmente adecuado para el aprovechamiento de la energía solar. Se realizan ya en México varias investigaciones en este campo.

En el Centro de Estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional de investiga desde hace años en el desarrollo de celdas fotovoltaicas.

En el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y en el Centro de Materiales de la misma Universidad se realizan estudios sobre el desarrollo de calentadores solares para agua, instalaciones solares para el bombeo de agua y para la generación de electricidad mediante un ciclo termodinámico e instalaciones para refrigeración.

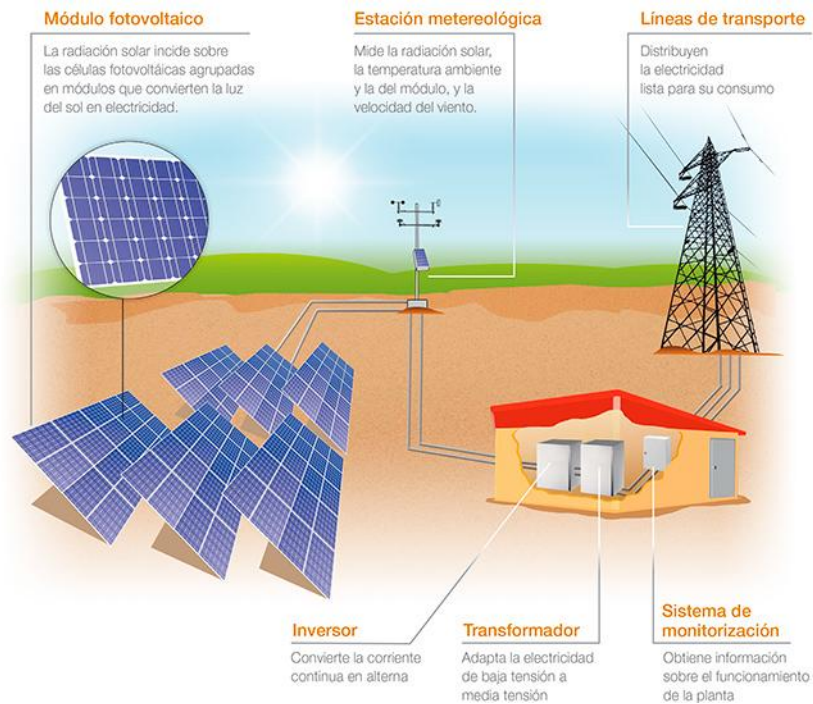


Fig. 4.8 Fuente: sunedison.com.mx Agosto 2014 Captación de Energía Solar

Es necesario impulsar estas investigaciones e iniciar otras relacionadas con la utilización indirecta de la energía solar, como, por ejemplo, el aprovechamiento de la energía del viento y el empleo de materiales orgánicos para la producción de combustibles (Viqueira & Castillo, 1980).

La Tierra y su Potencial Energético

La energía geotérmica es calor que emite el interior de la Tierra, usualmente en forma de agua caliente o vapor. Esta energía se emplea para producir electricidad y puede tener una gran variedad de usos directos, en muchas partes del mundo. Es posible aprovecharla para calentar o enfriar casas a través de bombas de calor. Actualmente se conocen fuentes geotérmicas en unos 80 países, entre los cuales México (en particular en Cerro Prieto, Baja California), que se utilizan cada vez más.

En los últimos años la tecnología para aprovechar la energía geotérmica se ha abaratado y eso ha hecho aumentar su uso. De hecho, convertir la energía geotérmica en electricidad es ya una tecnología madura y competitiva. Además, tiene la ventaja de aprovechar recursos locales, aunque se deben tratar los fluidos corrosivos de desecho para cuidar el medio ambiente (Tagüeña & Martínez, 2009).

En el mundo. Anualmente se producen 8 GW de electricidad producida por este medio, además esta energía se genera las 24 horas de cada día del año, continuidad que hace una gran diferencia al comparársele con la disponibilidad del aire o del Sol.

Junto con México, Italia, Indonesia, Filipinas y Estados Unidos son los principales productores de energía geotérmica del mundo, aunque Islandia también produce calor y electricidad en forma marginal para apoyar sus necesidades de energía.

La experiencia adquirida en México en la explotación de sistemas geotérmicos de convección hidrotermal, debe aprovecharse para investigar la posibilidad de extraer calor de las rocas secas calientes, lo que ampliaría demasiado el campo de la geotermia.

Por otra parte debe investigarse la posibilidad de utilizar la energía contenida en el agua geopresurizada. Como se han encontrado al efectuar perforaciones de pozos petroleros en las costas de Louisiana y de Texas, depósitos subterráneos de agua caliente a profundidades de 4000 a 6000 metros, que se encuentra a presiones hasta 700 kg/cm^2 y a una temperatura e unos 130°C y saturada de gas natural.

Es de suponerse que estos depósitos deben extenderse por el territorio de México, a lo largo de las costas del Golfo de México. Su aprovechamiento suministraría cantidades considerables de gas natural y energía mecánica y térmica que podría utilizarse para la generación de electricidad (Viqueira & Castillo, 1980).

Energía del Agua

La energía cinética que el agua lleva en su camino hacia la mar se transforma en energía potencial cuando encuentra un brusco desnivel en su recorrido. Al conjunto de energía cinética y potencial del agua de ríos, lagos y pantanos se le denomina Energía Hidráulica. Sin embargo, esta energía no le sirve de nada al hombre, excepto cuando este es capaz de transformarla en energía aprovechable eléctricamente, a la cual se denomina Energía Hidroeléctrica (Enger & Smith, 2005).

Energía Hidroeléctrica

Muchos ríos se tienen que atravesar en la vida, unos con corrientes suaves y otros con una gran fuerza en sus aguas que, en algunos casos, derrotan. Es en estos casos cuando se piensa en cómo se puede aprovechar tanta fuerza, tanta vitalidad. Ahora parece todo es evidente, sin embargo en su origen solo ciertas personas se dieron cuenta de lo que ocurría. En 1820, el investigador Oersted observó que cuando una corriente eléctrica circula por un hilo metálico en la proximidad de una brújula, la aguja de ésta se mueve; a partir de este experimento pudo llegar a la conclusión de que toda corriente eléctrica produce un campo magnético. Años más tarde Faraday demostró que también era posible el fenómeno opuesto.

Faraday comprobó que al mover un imán cerca de un hilo metálico que no estuviera conectado a una pila, por el hilo circulaba corriente, al igual que si se movía el hilo conductor y se mantenía fijo el imán. A este tipo de corriente, se le denomina corriente inducida y el fundamento teórico del aprovechamiento de cualquier elemento en energía eléctrica.

Se hace caer una corriente continua de agua a través de un tubo; como la corriente es continua, no para de caer y dicha corriente se precipita sobre unas aspas, llamadas turbinas, que por el peso del agua en la caída se mueven siempre a la misma velocidad, ya que el agua que cae siempre es la misma. A la turbina se encuentra unido un cilindro electroimán que se mueve al mismo tiempo que la turbina: a esta parte que se mueve se le denomina rotor. Alrededor del cilindro imán existen unos contactos metálicos y como el imán se encuentra en movimiento, le transfiere una corriente eléctrica a estos contactos, de los cuales salen conexiones eléctricas para poder sumar toda la corriente de cada colector eléctrico. A esta parte se le denomina estator, ya que se encuentra fija o estática. Al conjunto rotor y estator se le denomina alternador. Por lo tanto, una central hidroeléctrica consta fundamentalmente de un lugar donde se recoge el agua, embalse, y una planta transformadora de energía que consta de una turbina y un alternador principalmente. El agua, además de ser el elemento del cual se es capaz de obtener energía, sirve también para refrigerar el sistema, ya que éste se calienta por rozamiento de las piezas que lo constituyen.

Una vez transformada la energía del agua en energía eléctrica, solo queda distribuirla mediante los tendidos eléctricos de alta tensión. Se utilizan tendidos de alta tensión para impedir que las pérdidas de la energía eléctrica sean grandes (López, 2009).

Energía Mareomotriz

Los mecanismos utilizados en las centrales maremotrices para el aprovechamiento de la energía de las olas y mareas, son diversos y aunque estos mecanismos sean muy recientes existe una gran variedad. Hay mecanismos que se utilizan para obtener energía de las olas totalmente diferentes a los utilizados para obtenerla de las mareas. Las instalaciones para el aprovechamiento de la energía de las mareas siempre se encuentran en aquellos lugares donde el efecto marear sea importante, siempre en lugares próximos a las costas, en bahías, etc. Sin embargo, las instalaciones para el aprovechamiento de las olas se pueden encontrar fijas a las costas o en el mar, por lo que se puede clasificar en:

- ✿ Flotantes: aquellas que se encuentran en mar abierto.
- ✿ Continentales: aquellas que se instalan fijas en la plataforma continental.

El mecanismo para el aprovechamiento de la energía de las olas es muy sencillo. Consiste en un cilindro vertical, sujeto a un acantilado si la instalación es continental o simplemente como una boya si el sistema es flotante. Las olas penetran por la parte inferior del cilindro, desplazando hacia arriba una columna de aire que impulsa una turbina que se encuentra en la parte superior del cilindro.

El mecanismo de las instalaciones de obtención de la energía de las mareas es más complicado: el de la central de Rance está basado en unas turbinas especiales, las cuales pueden ser accionadas por agua en cualquiera de los dos sentidos, funcionando de esta forma tanto en pleamar como en bajamar. Al subir la marea, el agua es dirigida a través de unos grandes canales que desembocan en las turbinas, que son así accionadas. Según la marea va bajando, se contiene el agua en una presa hasta que la marea se encuentra en su nivel más bajo, soltando en este instante el agua retenida y accionándose de nuevo las turbinas. Además esta central, en momentos en que las necesidades energéticas sean superiores a las que está produciendo, dispone de un mecanismo adicional que pone en funcionamiento unas bombas que elevan el agua al embalse y aumentando en estas circunstancias la producción de electricidad (Domínguez, 2004).

La energía de las mareas y olas puede utilizarse para mover turbinas que generan electricidad, aunque aún tienen que afrontar problemas tecnológicos y/o económicos para poder hacer un aporte significativo a las necesidades mundiales de energía. La primera central generadora de electricidad a partir de las olas del mar inició su producción comercial en 2007. Se trata del proyecto Pelamis (que significa serpiente

del agua, en griego) ubicado en Aguasodura, en la costa de Portugal, cuya capacidad inicial es de 2.25 MW y una vez que alcance su máxima capacidad podrá evitar la emisión de 60 mil toneladas de CO₂ mediante la generación de energía limpia.

La instalación consta de cuatro grandes tubos de 150 metros de longitud cada uno, que están unidos por sus extremos, se posan sobre la superficie del mar permitiendo que las olas y el movimiento del agua muevan hacia arriba y hacia abajo los tubos. Las piezas de tubo se mueven una contra otra mediante bisagras que las unen y sostienen, las cuales están conectadas a cilindros hidráulicos, cuyos émbolos accionan combustible a alta presión hacia los generadores. La serie de tubos está anclada al fondo del mar mediante soportes. En tanto que la electricidad generada es transportada por cables conductores desde los generadores hasta un cable colector que descansa en el fondo marino y se conecta a las instalaciones en tierra firme desde las secciones de cuatro tubos conectados se puede unir a otras conexiones similares, conformando series en un área de más de 1 km² con posibilidad de generar 30 MW (López, 2009).

La Energía del Viento

El viento es aire en movimiento resultado de diferencias de temperaturas en la superficie terrestre, por el calentamiento desigual del Sol. El aire se mueve de zonas de mayor a menor presión, y entre más grande sea la diferencia, mayor será la velocidad del viento. Aproximadamente 2% de la energía que llega a la Tierra se convierte en energía eólica, pero solo una fracción de ésta puede captarse por circunstancias geográficas, pues los mejores vientos suelen darse en las montañas o en los océanos, mar adentro.

La energía eólica puede convertirse directamente en energía mecánica, como en un molino de viento para moler grano, o en energía eléctrica, a través de un dispositivo adecuado como una turbina eólica o aerogenerador. Actualmente, la energía eólica se utiliza ya no sólo para la producción de electricidad en lugares aislados, sino en su mayoría para inyectarse en las redes eléctricas nacionales.

El recurso eólico en México debe aprovecharse para la generación eléctrica masiva. Hace falta la información detallada sobre las características del viento en el país (Tagüeña & Martínez, 2009).

La generación de esta modalidad de energía está creciendo a un ritmo equiparable al de la energía solar (30% al año), aunque al parecer tiene una mayor potencialidad de

crecimiento que la solar. La energía eólica está utilizándose y popularizándose en países como Alemania, Dinamarca y España. En Canadá y Estados Unidos, que cuentan con regiones de vientos viables para la instalación de turbinas eólicas, generan en conjunto menos de la cuarta parte que los países europeos.

A finales del año 2007, la capacidad instalada mundial para generar electricidad por este medio era de 75 GW, cifra que se esperaba duplicar en menos de tres años. Las ventajas de la energía eólica se resumen en la no producción de gases de efecto invernadero. Los únicos derivados de hidrocarburos que se les pueden asignar son los utilizados para fabricar, transportar y engrasar las turbinas y los aditamentos y herramientas que se usan para hacerlas operativas.

Por otra parte, los lugares donde se instalan, que ocupan pequeños espacios, pueden continuar utilizándose para los fines acostumbrados. Por eso es común observar fotografías de aerogeneradores sobre torres instaladas en medio de cultivos o hatos ganaderos, en tanto que los propietarios de las parcelas cobran por permitir la ubicación de esas instalaciones y continúan explotando sus tierras.

En algunos países europeos, los gobiernos facilitan y estimulan la instalación de pequeñas turbinas comunales, mediante la simplificación de la planificación urbana/regional y con estímulos fiscales. Asimismo, a esta escala, es más fácil y barata la compra e instalación de aditamentos para energía eólica que para la solar.

No obstante las ventajas, existen detractores de este tipo de energía, pues hay quienes argumentan que en ausencia o disminución del aire se requiere otra fuente de energía como respaldo, además de que el mecanismo generador hace ruido, afea el paisaje y representa un riesgo para las aves. Los defensores de las instalaciones eólicas contraargumentan que el ruido que producen es mínimo, al grado que se puede sostener una conversación normal al pie de las torres que soportan los aerogeneradores; también argumentan que si las granjas eólicas son ubicadas con previos estudios de impacto ambiental, las aves estarán a salvo de accidentes. Incluso en algunos países tales como Dinamarca, estas granjas ya se construyen mar adentro, es decir, fuera del alcance de la vista de los transeúntes y tal vez de la presencia de pájaros.

En la localidad La Venta, Oaxaca (Istmo de Tehuantepec), la Comisión Federal de Electricidad tiene el primer parque eólico de México integrado por 98 aerogeneradores de 850 kW cada uno, que producen en promedio 307 MW/h/año, instalados en una superficie de 900 hectáreas. Al generarse esta modalidad de electricidad, cada año se

evita la emisión de 180 mil toneladas de CO₂ a la atmósfera. En términos operativos, el equipo generador puede empezar a trabajar cuando existe una velocidad de viento de 5 m/s, hasta una máxima de 50 m/s y su vida útil es de aproximadamente 20 años. En los próximos años se espera aumentar la aerogeneración de electricidad en México a más de 1000 GW (López, 2009).

Biocombustibles

Originalmente esta alternativa “verde” fue vista como un buen sucedáneo de los combustibles fósiles; sin embargo, recientemente el movimiento ambientalista ha señalado características que empiezan a invalidarlos como una gran alternativa. La razón es que los vegetales, a partir de los cuales se procesan los biocombustibles, han requerido grandes deforestaciones para su cultivo, también ha y preocupación por que se quemen recursos alimentarios para mover vehículos. Los grandes espacios donde se cultiva maíz y caña de azúcar para producir etanol y biodiesel, por ejemplo, podrían utilizarse para hacer crecer bosques absorbedores de CO₂, otros cultivos para diferentes fines colectivos o aprovechar aquellos cultivos para alimentar a la gente que vive en áreas desertizadas por el cambio climático, en lugar de producir combustibles para automóviles.

Los planes de la Unión Europea para obtener 5% de los combustibles a partir de fuentes biológicas para el año 2010, requirieron utilizar la cuarta parte de sus tierras agrícolas. En tanto que estados Unidos requirió cuatro veces más de su tierra arable para producir etanol destinado a satisfacer su demanda de consumo automotor.

El cada vez mayor número de empresas transnacionales que pretenden incorporarse al negocio de los biocombustibles puede incrementar la deforestación mundial y expulsar a los pequeños y medianos agricultores fuera de sus tierras, lo cual provocaría escasez de alimentos y, por consiguiente, el aumento de sus precios (lo que ya empieza a ocurrir), a menos que se haga un control muy cuidadoso por parte de las autoridades (López, 2009).

En 2007, la Organización de las Naciones Unidas presentó una compilación de 30 organizaciones internacionales relacionadas con el aceite de palma, derivados de maíz, caña de azúcar y soya (The Guardian, 2007). En el documento se argumenta que los países ricos ubican a los biocombustibles como sucedáneos de los combustibles fósiles para evitar sus propias emisiones de GEI, lo cual de paso podría estabilizar los precios internacionales del petróleo.

Ante la tendencia de masificación de cultivos destinados a la producción de biocombustibles, la ONU advierte sobre los peligros de los impactos ambientales y humanos, algunos de los cuales podrían tener consecuencias irreversibles. Hasta ahora, cada año se ha venido duplicando la producción de esta clase de energía. La multimillonaria industria de combustibles se propone abastecer 25% de la energía mundial mediante biocombustibles en solo 20 años más, en tanto que al menos 17 países se han comprometido al cultivo a gran escala de vegetales destinados a la producción de este energético.

A un posible incremento en la producción de biocombustibles en el futuro, sus defensores enfatizan que aunque se liberan cantidades marginales de CO₂ en el proceso de producción, éstas serán absorbidas por la ronda siguiente de vegetales cultivados para continuar la fabricación. Lo climáticamente amigable de estos combustibles dependerá de lo sustentable que sean los cultivos, es decir, que tipo de fertilizantes se utilicen, la manera de cosecharlos y el proceso y distribución de los productos.

Aunque el tema de los biocombustibles es polémico, éstos representan una alternativa real que aporta mitigación marginal pero importante de GEI. Como hecho explicativo se cita el caso de Brasil, donde el etanol (gasohol) de caña de azúcar ofrece una solución efectiva para evitar el uso de gasolina en una tercera parte de los vehículos nuevos, los que pueden funcionar indistintamente con biocombustible de gasolina, y tienen un costo similar a los carros convencionales.

En Estados Unidos, el etanol de maíz ha sido introducido al mercado de los energéticos, lo cual no es lineal ni estratégicamente extensible a México, porque en EUA el mercado funciona con el apoyo de los altos subsidios al grano (\$125/hectárea) y al propio combustible, lo que no aplica cabalmente para el país. Por otra parte, el etanol de maíz, además de que compite con la disponibilidad de alimentos, emite GEI a través del proceso de fabricación y la producción del grano, pues se utilizan energía convencional y fertilizantes químicos.

En el año de 2007, en la República Mexicana se inició la construcción de algunas plantas para producir etanol. La más grande de ellas se ubicó en Ciudad Obregón, la cual estaba proyectada para producir un millón de litros al día de biocombustible a partir de sorgo, que se cultivará en 40 mil hectáreas que antes se utilizaban para sembrar trigo que dejó de cultivarse, según se dice, por problemas de comercialización. Otra planta similar estaba por abrirse en Navolato, Sinaloa, para

producir etanol de maíz. Una más en Nuevo León está proyectada para producir 300 mil litros diarios de etanol que se fabricará con betabel y sorgo, lo que supone dejar de producir maíz en las tierras. En todos los casos el etanol se exportará a Estados Unidos y, a decir de los participantes en los proyectos, se introducirán medidas sustentables en las prácticas agrícolas (*Energía Hoy*, 2007).

Alrededor de la mitad de la producción de petróleo es utilizada para el transporte, siendo que éste suministra 95% de la demanda de energía del sector. Los motores de combustión interna utilizan el petróleo en forma de diesel o gasolina. El diesel tiene igual importancia para la generación de calor y trabajo en industrias, así como en la generación de energía eléctrica en algunas regiones.

Durante la crisis de los años setenta muchos países crearon programas para la sustitución de los combustibles de petróleo; sin embargo, la mayoría no fueron implementados. El programa brasileño de sustitución de la gasolina es una notable excepción (Morceli, 2007).

Los Biocombustibles no son aún competitivos en precio frente a los combustibles tradicionales derivados del petróleo. La única excepción es el caso del bioetanol en el Brasil, gracias a los fuertes incrementos que en estos últimos años han tenido los precios del petróleo y de sus derivados en el mercado internacional.

En ausencia de una ventaja económica, solo hay tres razones estratégicas que justifican que un país desarrolle un programa de biocombustibles:

- 1] **Por seguridad energética.** Aplica a aquellos países dependientes de petróleo importado y que cuentan con fuertes excedentes alimentarios. Esta ha sido el caso de Brasil y Estados Unidos.
- 2] **Para cumplir con metas de emisiones.** Aplica a aquellos países signatarios del Anexo I del Protocolo de Kyoto (Unión Europea y Japón) que tienen que cumplir con metas de reducción de gases de efecto invernadero.
- 3] **Para apoyar un desarrollo sustentable de la agroindustria nacional, sin comprometer la seguridad alimentaria.** Aplica a aquellos países, como México, China e India, que quieren prepararse para ese momento que tengan que cumplir con compromisos de emisiones y al mismo tiempo apoyar el desarrollo sustentable de su agroindustria, sin comprometer su seguridad alimentaria (Flores, 2011).

Aunque el problema de la sostenibilidad tiene sus raíces en el modelo de consumo de las sociedades industriales, el desarrollo de las fuentes de energía renovables es una necesidad urgente. Desde los años setenta, Brasil tiene un programa en gran escala de sustitución de combustibles fósiles, llamado Proálcohol. Con la baja del precio del petróleo y el alza del precio del azúcar a fines de los ochenta, las industrias disminuyeron la producción de alcohol. Sin la intervención del gobierno, empezaron a ocurrir serios problemas de suministro, teniendo como consecuencia de la pérdida total de consumidores.

El lanzamiento en 2003 del coche flex, que funciona con cualquier mezcla de etanol/gasolina, fue un hito clave para el programa de etanol biocombustible. En 2010, alrededor del 90% de los coches vendidos en el mercado brasileño fueron flex, y la biomasa de caña de azúcar representa 18% de todas las fuentes de energía en Brasil.

En 2004 el Gobierno Brasileño lanzó un nuevo programa de sustitución del diésel. Con la obligatoriedad de la mezcla 5%, el PNPB (Programa Brasileño de Producción y Uso de Biodiésel) creó un mercado garantizado de 2.4 millones de litros de biodiésel. La inclusión de los agricultores familiares es un objetivo del programa y aunque aún haya grandes retos, como la diversificación de las fuentes de oleaginosas, 109 familias están involucradas en el programa (Silva & Pérez, 2010).

La producción de etanol en México a partir de Maíz no resulta conveniente, ni desde un punto de vista económico ni desde un punto de vista energético ni desde un punto de vista ambiental; mucho menos, desde un punto de vista de seguridad alimentaria.

Mientras no sea económicamente viable la producción a partir de celulosa, la vía más conveniente para producir bioetanol en México es a partir de caña de azúcar. Así se aprovecha integralmente la biomasa para la congregación de energía eléctrica y se optimiza el uso de fertilizantes y de agua (Flores, 2011).

Biomasa y Bioenergía

La bioenergía, como su nombre indica, es la obtención de energía procedente de la vida. Normalmente se equipara este concepto con el de biomasa. El concepto de biomasa fue adoptado de la biología, ya que por definición, la biomasa es el conjunto total de los organismos vivos, animales y vegetales de una determinada región; por lo tanto, energéticamente hablando, el concepto de biomasa es el aprovechamiento del colectivo de organismos vivos, caracterizado por poseer como

base compuestos orgánicos reducidos con los que se consigue un aporte energético orgánico y no fósil. Es decir, la biomasa es la energía que se puede obtener a partir de la materia viva.

El concepto de bioenergía es más amplio, ya que considera el aprovechamiento energético de la vida, no solo de la materia viva. La biomasa no considera el aporte energético que durante siglos se ha obtenido de los animales de tiro; aunque este tipo de energía actualmente no es muy utilizada en el mundo desarrollado, en países subdesarrollados, como la India, sigue siendo un medio de transporte muy utilizado.

Generalmente el estudio que se realiza de la bioenergía es a partir de la biomasa, sin contar la biomasa, es mínimo y está prácticamente relegado a países del Tercer Mundo (Domínguez, 2004).

Se define biomasa como la “materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía”, es decir, cualquier sustancia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales que resultan de su transformación natural o artificial.

En realidad, la biomasa es la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica, energía que se puede recuperar por combustión directa o transformando dicha materia orgánica en combustible.

El término biomasa incluye toda la materia viva que, sea cual sea la circunstancia, no es utilizable ni para la alimentación humana ni la de los animales que viven en los ecosistemas naturales. No se incluye dentro de la biomasa a aquella materia que fue viva y que ha sufrido cambios profundos en su composición, tales como los que han tenido lugar durante los procesos de mineralización ocurridos en la formación del carbón y del petróleo.

De este modo, la expresión biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz), del aserradero (ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que los ancestros descubrieron el secreto del fuego.

La biomasa ha sido la energía más importante durante la historia de la humanidad. Entrado el siglo XXI constituye una parte importante del consumo mundial de energía,

especialmente en los países menos desarrollados. Ha estado presente siempre, ya sea en forma de leña extraída de los bosques, abasteciendo a la industria y a las necesidades de cocina y calefacción de los hogares o en forma de pastos y forrajes, alimentando ganado, que era la energía mecánica de la industria, el transporte terrestre y la agricultura.

La biomasa es considerada renovable debido a que se produce a partir de la energía contenida en la radiación solar que es captada y transformada mediante la fotosíntesis, energía que se libera al romper los enlaces de los compuestos orgánicos en el proceso de combustión, dando como productos finales dióxido de carbono y agua.

La biomasa no supone una emisión extra de carbono a la atmósfera cuando se quema, a diferencia de lo que sucede cuando se queman combustibles fósiles. Esto es así porque el carbono de la biomasa ha sido previamente extraído gracias a la fotosíntesis.

En economías de orientación agrícola, el uso apropiado de la biomasa ofrece una alternativa para reducir los costos de operación por concepto de insumos energéticos; además, es una solución para los problemas higiénico-ambientales que, en muchos casos presentan los desechos orgánicos.

Las denominadas “granjas energéticas” pueden suplir un porcentaje significativo de los requerimientos energéticos mundiales y, al mismo tiempo, revitalizar las economías rurales, proveyendo energía en forma independiente y segura, logrando importantes beneficios ambientales. Las comunidades rurales pueden ser, entonces, energéticamente auto suficientes en un alto grado, a partir del uso racional de los residuos y administrando inteligentemente la biomasa disponible en la localidad.

La biomasa es una fuente energética renovable si el ritmo de utilización de ésta no sobrepasa el de la creación de la misma. En cuanto al impacto ambiental, la biomasa suele ser un combustible más limpio en azufre y metales que los combustibles fósiles y no contribuye al efecto invernadero (Herruzo, 2004).

El combustible es cualquier sustancia que, en contacto con el oxígeno, y bajo unas determinadas condiciones de temperatura y concentración, arde y produce energía. Biocombustible es aquel combustible que produce la biomasa.

Desde la prehistoria, la forma más común de utilizar la energía de la biomasa ha sido por medio de la combustión directa: quemándola en hogueras a cielo abierto, en

hornos y cocinas artesanales e, incluso, en calderas; convirtiéndola en calor para suplir necesidades de calefacción, cocción de alimentos, producción de vapor y generación de electricidad.

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía; transformándola, por ejemplo, en combustibles líquidos o gaseosos, los cuales son más convenientes y eficientes. Gracias a esto, con respecto a la utilización actual de la biomasa, se distinguen tres niveles de uso:

- ✿ Uso tradicional: se refiere a la combustión directa, a menudo en equipos deficientes de madera, carbón vegetal, residuos agrícolas, humanos o animales y urbanos, para cocinar, secar o producir carbón vegetal.
- ✿ Uso mejorado: se refiere a la aplicación de tecnologías mejoradas y eficientes para la combustión directa de la biomasa, por ejemplo, cocinas u hornos más eficientes.
- ✿ Uso moderno o de Energía renovable: se refiere a la conversión de la energía de la biomasa en combustibles avanzados (gas o carburantes) y, eventualmente, en electricidad.

Actualmente y según datos de la International Energy Agency, la biomasa es la principal fuente energética para 2,400 millones de personas y suple cerca del 40% de la demanda energética de los países en vías de desarrollo. De alguna manera, es “la energía de los pobres”. Esto especialmente cierto cuando se trata del uso energético tradicional de la biomasa.

Por otra parte, la biomasa se puede clasificar en natural (producida en la naturaleza sin la intervención humana), residual (generada por cualquier actividad humana: procesos agrícolas, ganaderos y los del propio hombre, como basuras y aguas residuales) y producida (cultivada con el propósito de obtener biomasa transformable en combustible en vez de producir alimentos).

Tal vez y como ocurre con otras fuentes de energía renovable como el sol, los ríos, el viento o las mareas, el aprovechamiento energético de la biomasa es conocido por la humanidad desde tiempos remotos. No obstante, el desarrollo de nuevas tecnologías, como en los casos citados, ha permitido evolucionar hacia formas más eficientes.

Los objetivos para la utilización de la biomasa como fuente de energía renovable, se basan en la aplicación de los conocimientos científicos y técnicos actuales a la producción y transformación de la materia orgánica de origen biológico a la obtención rentable de energía. Todo ello teniendo en cuenta no sólo datos económicos directos, sino también aspectos sociales, ecológicos y estratégicos a corto, medio y largo plazo (Fernández, 2010).

Tecnología de la Biomasa

Una vez encontrada la fuente de energía, se debe ser capaz de transformar esta energía en energía aprovechable. Estas transformaciones se clasifican según el proceso de conversión

Procesos Termoquímicos

Se producen debido a la interacción del calor en las reacciones químicas, que se producen en los procesos de conversión energética. Su pueden clasificar estos procesos según se produzca la interacción del calor en las reacciones.

- ❖ Combustión directa de la Biomasa. Es la oxidación exotérmica de la materia (quemar la materia) aprovechando el alto poder calorífico de la misma. Se puede utilizar este tipo de energía en todos aquellos lugares donde se necesite calor: hogares, granjas, industrias, etc. También se puede transformar este tipo de energía en electricidad siguiendo el modelo de las centrales térmicas; en lugar de utilizar combustibles fósiles se pueden utilizar combustibles biológicos.
- ❖ Pirólisis: es la descomposición físico-química de la materia mediante calentamiento en ausencia de oxígeno. Mediante este método se puede obtener carbón vegetal, un destilado líquido rico en productos químicos, así como aceites y algunos compuestos gaseosos que contienen hidrocarburos hidrógeno, dióxido y monóxido de carbono, y nitrógeno.
- ❖ Gasificación: es el aprovechamiento del proceso de sublimación de la materia (pasar del estado sólido a gas). Esto se consigue cuando la materia se encuentra en determinadas condiciones de presión y temperatura. De esta forma, se obtiene biogás utilizable de la misma manera que se utiliza actualmente el gas procedente de combustibles fósiles.

Procesos Bioquímicos

Son aquellos procesos en las cuales la propia vida es capaz de producir procesos y cambios químicos. Se pueden clasificar estos procesos atendiendo al compuesto que se encuentra presente:

- ❖ Fotoproducción de Combustibles, proceso por el cual ciertos microorganismos, mediante la acción de la energía procedente del Sol y partiendo de compuestos orgánicos e inorgánicos, son capaces de obtener combustibles y oxígeno.
- ❖ Fermentación Alcohólica, que es un proceso que se realiza en presencia de oxígeno aunque éste se encuentre en pequeñas cantidades. Las levaduras, que son microorganismos, transforman los hidratos de carbono en etanol, recuperado por destilación. El etanol puede ser utilizado para la obtención de calor, energía mecánica y, en consecuencia, energía eléctrica.
- ❖ Digestión anaerobia, proceso por el cual ciertas bacterias, en ausencia de oxígeno, son capaces de transformar la materia prima en biogás, principalmente metano y anhídrido carbónico. Éste suele ser utilizado en motores de combustión, que podrían obtener energía mecánica y, en consecuencia energía eléctrica, así como calor al utilizar el biogás como combustible (Domínguez, 2004/Enger & Smith, 2005).

La biomasa es un componente muy importante de la energía que actualmente se consume en el mundo. En los países en vías de desarrollo sigue siendo la principal fuente de energía primaria, aportando 35% del requerimiento total de energéticos. Se estima que, el nivel global, cerca del 11% de la energía primaria se deriva de la biomasa. Aunque 85% corresponde a usos “tradicionales” (leña, carbón de leña y estiércol) y tan sólo 15% a aplicaciones “modernas”, en forma de biocombustibles para el transporte, para la industria y para la producción de electricidad. En el país la energía primaria derivada de la biomasa representa tan sólo 4.9% de la demanda total (1.4% corresponde a bagazo de caña y 3.5% al uso de leña) (Barnes, Secretaria de Energía, 2006).

Existe la tecnología suficiente y necesaria para poner en marcha las centrales bioenergéticas. Sólo es necesario ponerse manos a la obra. Existen fábricas de reciclaje de papel, plásticos, vidrios, aceites, hierros, etc. Todo puede ser reciclado; para esto, lo primero de lo que se tiene que disponer es de red de recogida de los

restos inservibles de estos elementos. Una vez recogidos, serán llevados a las centrales de reciclaje de donde volverán a salir nuevos y listos para su reutilización. Incluso los desechos animales se pueden convertir en energía. Así, el estiércol producido por 40,000 cabezas de ganado vacuno es transformado en metano equivalente a la mitad de combustible necesario para mantener una central eléctrica de 50 MW (Domínguez, 2004).

El término Biomasa cubre muchos productos de desecho derivados de la agricultura y de la basura, tanto municipal como industrial. La energía de la biomasa puede obtenerse de materia vegetal y animal mediante diferentes procesos de conversión, como la combustión directa, la gasificación, la fermentación, la pirolisis y la digestión, para producir calor o combustibles sólidos o gaseosos. De hecho, los biocombustibles son los únicos que sí podrían reemplazar al petróleo en el transporte. La bioenergía representa la mayor contribución dentro de las energías renovables a escala mundial. Recientemente, las tecnologías relacionadas con la biomasa han alcanzado grandes ahorros en sus costos de producción, ya sea que se basen en la quema de basura, la generación de biogás por digestión anaerobia o en la producción en algunos países, como Brasil, de combustibles líquidos como etanol.

Una de las barreras más importantes en el aprovechamiento de la biomasa es el acceso a la materia prima, que puede tener inclusive problemas de transporte. Lo más económico es obtener la energía de la biomasa ahí donde se produce el producto (Tagüeña & Martínez, 2009).

En el siguiente apartado se detallará sobre esta alternativa energética y se expondrán algunas teorías sobre como propiciar una mejora en el panorama de desarrollo sustentable iniciando en las comunidades rurales.

Poniendo sobre la mesa el caso de la Comunidad de Jaleaca de Catalán, en el Estado de Guerrero, la cual precisa la mayoría de la problemática comentada en esta tesis; sirviendo pues como un incubadora de la idea de propiciar un desarrollo sostenible desde las comunidades rurales; las cuales poseen todos los recursos naturales en abundancia pero al desconocer formas para su óptimo manejo terminan por agotarlos y afectar a poblaciones con mayor número de personas las cuales dependen también de esos recursos vitalmente indispensables.

Así pues es de reconocer y encarar la realidad de que el humano no es ni coexiste por sí solo, las acciones de uno repercuten a todos; es de gran ayuda el jugar el

papel que a cada cual corresponde y propiciar más que un futuro para los actualmente existentes una posibilidad de existencia para los aún inexistentes.

Vislumbrando el Futuro Energético

De los puntos que se han abordado en este trabajo, resultan algunas líneas de reflexión que será necesario profundizar:

- ❖ En las nuevas trayectorias que tendrá el crecimiento se verá concretamente el lugar que tomarán el Estado y los actores privados, de manera particular en torno a las industrias vinculadas a las nuevas tecnologías y a las energías renovables.
- ❖ El desarrollo energético relacionado con la satisfacción de las necesidades de los más pobres conduce a repensar el desarrollo integrando la dimensión local, el cual puede centrarse en la energía y estar basado en recursos locales para su producción -biomasa, energía solar o minihidráulica-, la promoción del empleo y la generación de ingresos, de manera directa pero sobre todo mediante diferentes canales y mecanismos indirectos.
- ❖ El papel de los mercados, como mecanismos de coordinación y promoción de la actividad económica, volverá a replantearse la actual crisis. Compartirán esa tarea de coordinación con los Estados, con tipos diversos de redes determinadas instancias supranacionales, pero ahí seguirán. Están surgiendo, incluso, nuevos mercados, particularmente ambientales, relacionados con energías renovables y nuevas tecnologías en el nivel local. Los mercados ya no solamente constituyen un mecanismo reconocido para la producción y distribución de bienes privados, sino que ahora estén presentes también en el campo de los bienes públicos, como es el caso del mercado de bonos-carbono.

(Morillón & Rosas, 2006).

Se ha analizado como aparece el concepto de energía en varias áreas del conocimiento y en todos los aspectos de la vida, por lo que representa un gran reto unificador. Este es un tema cuyas implicaciones son fundamentales, no sólo para el país sino para la civilización, que requiere un desarrollo sustentable. Un gran ejemplo de su importancia son los aspectos que implica la planificación energética una muestra de esto es la forma en que el sector energía realiza su planeación a largo plazo, abandonando las ideas simplistas que consideraban que con sólo aumentar la

oferta energética se aseguraba un incremento en el desarrollo. Es necesario actuar sobre la demanda energética, para implantar programas que impulsen el uso eficiente y el ahorro de energía, así como la diversificación de las fuentes primarias. La satisfacción de un requerimiento específico de energía debe planearse a partir de los recursos naturales existentes en la localidad y con la selección de la mejor tecnología. La sociedad debe exigir el uso racional de la energía, a partir de estudios serios basados en la investigación realizada por universitarios y expertos.

El país cuenta con fuentes alternas de energía suficientes y con tecnologías maduras para elegir el esquema de diversificación energética, que cubra la demanda de energía en el futuro. La evaluación y selección de las distintas opciones energéticas, tanto no renovables como renovables, se deben realizar en forma integral, incluyendo el análisis de los diversos factores, tanto económicos como sociales, institucionales y ambientales.

Es urgente establecer una política energética a largo plazo para decidir que hacer hoy, comprometidos realmente con el medio ambiente. Se deben satisfacer los requerimientos energéticos actuales y futuros de toda la población para alcanzar un desarrollo sustentable (Tagüeña & Martínez, 2009).

En términos generales no es difícil especular sobre los energéticos que se utilizarán dentro de 30 años. En ese tiempo, las reservas de petróleo y de gas se habrán reducido notablemente y lo que queda se empleará en la petroquímica y transportación aérea. Las pocas reservas remanentes se encontrarán principalmente en la región inestable del Medio Oriente y en menor escala en Venezuela y México. En Estados Unidos se aplicará la costosa explotación terciaria de los pozos existentes.

Por su abundancia, el carbón mineral será probablemente el energético más empleado, a pesar de la enorme contaminación que produce y habrá grandes protestas de los ecologistas contra este energético.

Es muy probable que para esta fecha, se hayan construido reactores nucleares de fusión que produzcan más energía de la que consumen, pero es poco probable que en ese tiempo sean rentables.

Los reactores nucleares de fisión continuarán usándose, con modelos mucho más seguros, y contribuirán en forma importante a la energía primaria mundial.

Los países que tienen energía geotérmica como México, aumentarán su producción, pero en forma moderada.

La energía hidroeléctrica continuará aumentando lentamente, pero disminuirá en el porcentaje de la energía primaria.

Los países que disponen de fuertes vientos durante muchas horas y muchos días, emplearán con éxito este energético.

El único energético que podrá competir con los hidrocarburos, el carbón mineral y la energía nuclear, es la energía solar, por estar disponible en grandes cantidades inagotables. Una suma de áreas semiáridas equivalentes a la de un cuadrado de 80 kilómetros por lado, serían suficientes para satisfacer todas las necesidades energéticas de México. Si se le impusiera al carbón mineral, al petróleo y al uranio, un castigo o impuesto proporcional a la contaminación que produzcan, se fomentaría el uso de combustibles de baja contaminación.

Para el año 2025, las reservas de hidrocarburos se habrán reducido notablemente y su principal uso, las comunicaciones terrestres tendrán que cambiar notablemente. La mayoría de los coches que se fabriquen en esa fecha, serán eléctricos (Alba, 1997).

La investigación y el desarrollo tecnológico es uno de los pilares para crear un tejido industrial, pero éste nace finalmente de apuestas empresariales, que pueden ser autóctonas o derivadas de la captación de empresas foráneas que quieran establecerse en el país. En el momento actual, en el que se pierde nivel de actividad industrial y se arrastra un grave problema de paro, se debe de dar parecido valor a ambas opciones, es decir, es preciso conseguir empresas y empleo. Estas empresas deben tener o adquirir vocación de continuidad.

México es un país donde las pequeñas y medianas empresas, pymes, tienen una especial relevancia. Constituyen una gran parte del tejido industrial y nacen con cierta facilidad si aparece una oportunidad de actividad empresarial. Las energías renovables, en numerosas de sus alternativas industriales, son una oportunidad para ellas. También se ha visto que las empresas, dependientes de otras exteriores, pero instaladas aquí, crean empleo y contribuyen además al desarrollo de las renovables como fuente de energía limpia. Algunas de estas empresas son europeas, instaladas en varios países de la Unión Europea.

Una serie de hechos pueden favorecer que las empresas que suministran bienes y servicios para energías renovables sean competitivas y por lo tanto pervivan:

- ✿ En primer lugar la creación de una buena cultura empresarial, no ver sólo el negocio a corto plazo.

- ♣ Existencia de un tejido científico y de investigación que forme profesionales y colabore en el desarrollo tecnológico.
- ♣ Encontrar agentes que impulsen el desarrollo y demanda de bienes de equipo. En este sentido, las empresas energéticas, eléctricas y también las petroleras pueden actuar como motor en este proceso.


Todo esto lleva a proponer que desde las administraciones federal y estatal, las instituciones públicas (en particular la universidad), los agentes que vertebran la sociedad (por ejemplo los sindicatos), más las grandes empresas energéticas, establezcan cauces que faciliten y fomenten otros aspectos positivos. Entre ellos: conocimiento de la evolución de las energías renovables, tanto en sus aspectos tecnológicos como industriales; desarrollo de la ciencia y la tecnología en este campo; formación de expertos y, por último, potenciación del desarrollo energético e industrial de las energías renovables (Menéndez, 2001).

Capítulo V

Biodigestores



Fuentes de Energía poco Usuales. Fuente: energy-card.eu/nietypowe-zrodla-energii 04. 05. 15



“Esta fuerza infinita de Energía llegaba tan lejos como el infinito. Llenaba la eternidad. No había tiempo, ni espacio, ni movimiento. Esta energía ilimitada era la única...”

Todo el mundo piensa en cambiar el mundo, pero nadie piensa en cambiarse a sí mismo.

— Leo Tolstoy

La demanda de energía en el mundo se incrementará significativamente en los próximos años, en función del crecimiento poblacional, una mayor industrialización en el mundo, auge de las economías emergentes, y uso de medios de transporte predominantes en las sociedades actuales.

Lo anterior, se traducirá en mayor demanda de combustibles, cuyo uso incrementará las emisiones de gases de efecto invernadero, con consecuencias negativas sobre el clima a nivel mundial. De aquí la importancia de impulsar el uso de fuentes de energías alternas, limpias y renovables; entre éstas los biocombustibles, como una opción para reducir el uso de combustibles fósiles, por ser más amigables con el ambiente, renovables, y bajo procesos eficientes de producción que generan beneficios económicos y sociales a las poblaciones.

El viento, el agua, el vapor de agua, el sol y la biomasa se pueden convertir en energía a través de procesos físico-químicos y/o dispositivos apropiados. Un estudio reciente estimó que la biomasa puede proveer alrededor de un quinta parte de la energía eléctrica y dos quintos del uso directo de combustibles para el año 2050, principalmente en los países en desarrollo.

Los programas sobre energías alternas y biomasa han demostrado en muchos países que favorecen a los agricultores y a la población en general. A nivel local, pueden contribuir positivamente hacia la reducción de la pobreza, rehabilitando terrenos abandonados y marginales, mejorando el ingreso de los agricultores y en la urbana a mejorar las condiciones de vida con menor contaminación del aire.

Como país, México tiene que diseñar una estrategia de desarrollo incluyente de las diversas formas de energías alternas con especial atención a los aspectos de sostenibilidad. El éxito de los programas de energías alternas dependerá de la claridad de objetivos y metas, para los diversos actores de la cadena de valor y el apoyo de políticas que promuevan la cooperación interinstitucional para aprovechar los recursos financieros y humanos (Pérez & Gracia, 2013).

Las áreas rurales se caracterizan por disponer de grandes cantidades de desechos provenientes de las actividades, agrícolas y pecuarias que allí se desarrollan. El estiércol de los animales, la pulpa del café, la paja del arroz, las hojas y los demás materiales orgánicos similares pueden ser convertidos en energía y en abono que retorna a la tierra de donde fue tomada por las plantas.

Esta transformación de los residuos prácticamente inútiles (biomasa) en nuevos productos, se logra mediante un proceso bioquímico conocido como la Digestión Anaerobia de la Materia Orgánica (Mencionado en capítulo), mediante el uso de reactores anaerobios conocidos como Biodigestores (Instituto de Investigaciones Tecnológicas Colombia, 1970).

Actualmente el uso de la Biomasa se da por dos razones primordiales:

- ✿ Es renovable
- ✿ Tiene un menor impacto ambiental

(Fernández Salgado, 2010).

Biogás

Debido a razones estratégicas y ambientales, actualmente hay un interés creciente en los biocombustibles como una fuente alternativa de energía. Los bioalcoholes y el biodiesel son las alternativas que han sido consideradas para ser usadas como combustible para el transporte, mientras que la biomasa y el biogás han sido las alternativas consideradas para la generación de energía eléctrica.

El biogás, producto de la digestión anaerobia, es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos (Biodigestores). Depende de las características de la materia orgánica como: la cantidad, el tipo de sustrato, los nutrientes, la temperatura, la carga, el tiempo de retención, el mezclado y además se debe tomar en cuenta los inhibidores posibles (como la presencia de antibióticos o metales que causen la inhibición o interrupción del proceso).

La mezcla que compone al Biogás está constituida por metano, dióxido de carbono y contiene pequeñas porciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico).

Porcentajes de Composición del Biogás	
Gas	%
Metano CH ₄	55 - 70
Dióxido de Carbono	35 - 40
Hidrógeno	1 - 3
Nitrógeno	0.5 - 3
Sulfuro de Hidrógeno	0.1

Tabla 5.1 Fuente: Revista Claridades Agropecuarias No. 168

El principal componente del biogás es el metano, que le otorga la característica de combustible. “El valor energético del biogás por lo tanto estará determinado por la concentración de metano y normalmente se encuentra alrededor de 20 y 25 MJ/m³, comparado con 33 a 38 MJ/m³ para el gas natural” (Horikawa *et al.*, 2004).

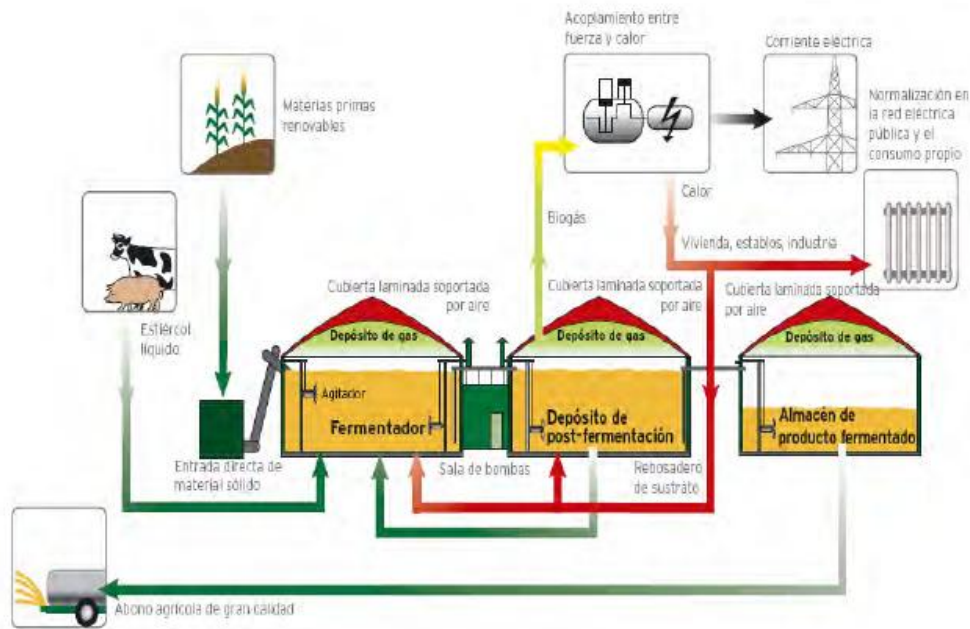


Fig. 5.1 Planta de Biogás Fuente: Mt-Biomethan

Puede ser obtenido de los vertederos de basura o de biodigestores que transforman el estiércol de animales y biomasa encontrados en las granjas, en fertilizante natural después de un tiempo de residencia de 30 a 45 días. Dada la infraestructura requerida para poder ser capturado en su estado gaseoso y debido a que las cantidades producidas en granjas no son lo suficientemente masivas, no es atractivo para la generación de potencia a gran escala. Sin embargo, se ha hecho una propuesta para la generación de energía eléctrica que consiste en interconectar miles de plantas eléctricas de pequeña y gran escala movidas por fuentes de energía renovable, a las redes eléctricas nacionales y locales. Igualmente, se considera la conexión de cientos de pequeños aerogeneradores y paneles solares (Pointon & Langan, 2002).

La escasez de fuentes de energía económicamente accesibles al uso doméstico y el elevado precio de los fertilizantes químicos necesarios para el sostenimiento de la tierra de cultivo, han hecho que la tecnología de producción de biogás sea aceptada como una alternativa de solución al problema del desarrollo y sobreexplotación de recursos en zonas rurales.

Principales usos del Biogás

El biogás se utiliza para el funcionamiento de quemadores y lámparas básicamente: cuando se quema desprende una llama azul, liberando aproximadamente 4 750 kcal/m³ y no produce hollín ni olores desagradables. Los residuos líquidos y sólidos tienen un alto poder fertilizante y están libres de bacterias nocivas (Castellanos, 1980).

El biogás puede ser utilizado en cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural. Por lo tanto, puede sustituir a la electricidad, al gas propano y al diesel como fuente energética.

En muchas zonas rurales donde no existen líneas eléctricas, éste puede llegar a ser una gran fuente de energía, también en granjas y en comunidades lejanas a las grandes urbes, tiene usos muy variados; algunos de ellos son:

- ❖ Uso en cocinas y calentadores; el paso de gas en los quemadores es variable usando una válvula.
- ❖ Lámpara a gas; cuya eficiencia es muy baja y se calienta demasiado.
- ❖ Refrigeradores; constituyen un interesante campo de aplicación directo del biogás debido a que tienen un consumo parejo y distribuido a lo largo de las 24 horas del día, lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del biogás.
- ❖ Calefacción de ambientes (criaderos); alta eficiencia y mínimo consumo de gas para un determinado requerimiento térmico.
- ❖ Para generar energía eléctrica; se alimenta a un motor diesel o tipo rotativo conectado a un generador.
- ❖ Aplicaciones térmicas; el gas es inyectado a un quemador que puede ser incorporado a calderas, hornos y secadoras.

(Cervantes *et al*, 2007).

Equivalencia del Biogás	
Combustible	Equivalencia
Biogás	1 m ³ (60% de Metano).
Gasolina	0.71L
Diesel	0.55 L
Gas Licuado de petróleo	0.45 L

Tabla 5.2 Fuente: Revista Claridades Agropecuarias No. 168. Equivalencia de Biogás a otros combustibles

Reducción de daños causados por el Hombre

En sistemas complejos, como las cadenas de producción agrícola en general y de la producción de biocombustible en particular, la utilización de metodologías de interpretación de la realidad y formulación de escenarios son imprescindibles. Los modelos de gestión, como la dinámica de sistemas, pretenden establecer un orden de prioridad para decisiones basadas en simulaciones del comportamiento futuro de indicadores (sociales, ambientales o económicos).

Aunque generalmente no consideran el carácter dinámico de las relaciones en un sistema, los modelos tradicionales de análisis de impactos son imprescindibles y suministran información esencial. La teoría económica permite reconocer y evaluar indicadores de rentabilidad y relaciones de costo-beneficio. Por otro lado, el análisis social puede evaluar indicadores de desarrollo humano (IDH). Finalmente, el método de análisis de ciclo de vida permite evaluar impactos ambientales de un proceso, empresa o sistema de producción. Este método ha sido utilizado en estudios de impacto ambiental de los biocombustibles (Horikawa *et al.*, 2004).

Los beneficios de la digestión anaerobia (biodigestor) deben mirarse desde un triple punto de vista: El gas, que puede utilizarse para producir energía; el fertilizante, que por sus características constituye un abono orgánico de calidad comparable a los tradicionalmente empleados en el campo, como la gallinaza, el estiércol de res, cerdo o cualquier otro animal; y el control de la contaminación que se origina por la descomposición espontánea e incontrolada de la materia orgánica (Instituto de Investigaciones Tecnológicas Colombia, 1970).

Biodigestores

Los residuos sólidos orgánicos son un gran problema ya que éstos no son tratados, y la mayoría de las veces su descomposición se da al aire libre, sobre todo los excrementos animales. Así estos desechos liberan gases como metano, dióxido de carbono, óxido nitroso, entre otros, los cuales como se mencionó en el Capítulo III aumentan los gases de efecto invernadero. Pero también es de tomarse en cuenta que contaminan la fuentes de agua subterránea debido al lavado del suelo por la filtración de agua (lixiviación) y también porque favorece la generación de patógenos.

El Biodigestor es un contenedor que a través de un proceso de biodigestión (por microorganismos anaerobios), convierte el material orgánico, principalmente desechos (animales y humanos) en una mezcla de gases con alto contenido de metano (conocido como biogás) y un lodo residual con alto grado de concentración de nutrientes utilizada como fertilizante.

Un Biodigestor que es un recipiente herméticamente sellado, puede ser construido con diversos materiales como ladrillo y concreto, metal o plástico. Se construyen bajo tierra preferentemente o sobre nivel (Señer, 2005).

Los materiales que ingresan y abandonan el biodigestor se denominan afluente y efluente respectivamente. La materia orgánica debe ser diluida lo mejor posible con agua antes de introducirla al biodigestor (en una relación de 1:3 por ejemplo si se utiliza una cubeta de 19 litros con materia orgánica se necesitaran 3 cubetas de agua para diluir la materia orgánica en el caso de excremento vacuno y de 1:5 para excremento porcino, ovino y caprino) el cual la contendrá alrededor de 30 días para fermentarse; obteniendo así el Bioabono (lodo residual) y el biogás (Sistema Biobolsa, 2015).

El sistema Biodigestor está constituido básicamente por:

- ❖ Tubo de admisión de afluente. Ducto de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica diluida con agua.
- ❖ Fosa de separación de sólidos gruesos.
- ❖ Cámara de Digestión. En ésta se lleva a cabo el proceso de digestión anaerobia de la materia orgánica.
- ❖ Bolsa de Almacenamiento. Espacio para almacenamiento del Biogás.

- ❖ Tubo de efluente. Ducto de salida en el cual el material digerido por acción bacteriana (Biol o lodo residual), abandona el biodigestor.
- ❖ Tubo de Metano. Salida de biogás, por medio de la cual se puede conducir para su uso final.
- ❖ Dispositivo de seguridad: utilizado para prevenir la ruptura del fermentador debido a presiones altas de la fermentación anaerobia de los desechos.
- ❖ Tubo de limpieza: el lodo se sedimenta en el fondo del biodigestor debe ser removido por bombeo (la frecuencia dependerá de la carga suministrada y dimensiones del biodigestor).
- ❖ También pueden incluirse bombas de mezclado.

(Cervantes *et al*, 2007).

Para que el Biodigestor funcione de la forma correcta, será necesario que reúna las siguientes características:

- ❖ Deberá ser hermético para evitar el escape de la materia orgánica o el gas hacia el exterior. Y principalmente evitar la entrada de aire.
- ❖ Térmicamente aislado lo cual evita la modificación de la temperatura y la mantiene constante en las cámaras.
- ❖ Deberá contar con medios para la carga y descarga de fácil acceso y limpieza.
- ❖ Los digestores deberán tener acceso para realizar tareas de mantenimiento, entre otras cosas para poder romper las costras y/o tapones que se formen.

(Decara *et al*, 2004).

Una Alternativa Ecológica. Biodigestores

La implementación de un tipo de Biodigestor depende del objetivo que se desea para su uso o aplicación. Ya que en casos especiales el uso de biodigestores es por cuestiones experimentales, en el cual se desarrollan métodos de usos y aplicaciones para posteriormente implementarlos en un determinado lugar y con una finalidad según sus características. Pero en la mayoría de los casos, se implementan estos métodos o tecnologías en la aplicación inmediata o directa. Es decir, en beneficio de

la sociedad aprovechando las ventajas y ahorros que ofrecen para obtener el mayor y mejor aprovechamiento de los recursos naturales con que se cuenta.

En la actualidad, todos los proyectos viables siempre tienen que considerar las ventajas a favor, de tal manera, que se reduzcan costos, se ofrezcan mejoras en una tecnología y que su aplicación considere los recursos con que cuenta el lugar en donde se va a implementar, es decir, dicha tecnología debe ser económicamente atractiva. Para desarrollar o aplicar la tecnología en la cual se emplean residuos orgánicos por medio de la digestión; es necesario adaptar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del residuo o afluente con las condiciones de diseño y operación del sistema (Biodigestor) (Alonso, 1996). La selección del Biodigestor apropiado es un paso primordial en el proceso, y éste se hará de acuerdo a las características de la comunidad entre éstas el clima, la zona geográfica, la economía del lugar en que se establezca y así como los tipos de desechos a procesar; por lo cual se expondrán los principales tipos de Biodigestores a continuación.



Fig. 5.2 Fuente: ipmades.wordpress.com/tag/biogás-casero. Producción de Biogás

Principales Tipos de Biodigestores

Existen biodigestores de Ciclo completo terminal y de operación continua. En los primeros, de fácil construcción, se carga el sistema y se deja que se produzca la digestión, se usa el gas y se retira el efluente como biofertilizante. Luego se los vuelve a cargar y así sucesivamente. Hay lugares que tienen varios interconectados en su sistema de salida de gas haciendo cíclico su uso. En un biodigestor de Operación Continua se va cargando constantemente y retirando el material ya digerido como efluente y a su vez se los mueve internamente (Cervantes *et al*, 2007).

Se han desarrollado alrededor de 70 variedades de Biodigestores, dependiendo de las necesidades y recursos disponibles. Hay versiones muy básicas y artesanales hasta construcciones de tipo industrial, siendo esta característica las que los diferencia entre económicos y modelos muy costosos.

Existen muchas clasificaciones para los Biodigestores, una que los engloba a todos es de acuerdo a su funcionamiento; considerando aspectos como el período de retención de las partículas sólidas, líquidas y microorganismos, TRS (Tiempo de Retención de Sólidos y Líquidos, TRH (tiempo de retención Hidráulica) y TRM (Tiempo de retención de Microorganismos). Clasificándolos de acuerdo a estos elementos se pueden distinguir tres tipos:

1. Biodigestores intermitentes o por lote y continuamente agitados: en estos Biodigestores los TRH, TRS y TRM son de igual magnitud.
2. Continuos agitados con recirculación de sólidos, flujo ascendente y flujo reactor: en este tipo el TRH es menor que los TRS y TRM.
3. Filtros anaerobios, de lecho fluidizado o expandido: los TRS y TRH son menores que le TRM.

Biodigestores Intermitentes o por Lotes

Los residuos agrícolas en las comunidades rurales tienen un gran potencial energético en su proceso de descomposición. Es por ello, que un tipo de digestor que usa este tipo de de desecho es el digestor intermitente o por lote. Este es el sistema más simple, ya que la operación involucra simplemente cargar una sola vez el afluente al digestor durante un tiempo entre 30 y 180 días. Durante el tiempo en que la materia orgánica está confinada en el digestor, la producción de biogás alcanza un máximo y después disminuye hasta prácticamente cesar. La digestión puede realizarse con bajos contenidos de sólidos (6 a 10%) o en concentraciones altas (mayor a 20%). Ésta última es conocida con fermentación o digestión seca (Alonso, 1996).

Las etapas de desarrollo de este tipo de digestores con afluentes de bajo contenido en sólidos están totalmente avanzadas y han sido usados exitosamente por muchos años. Por otro lado, los parámetros de la digestión seca no han sido totalmente desarrollados en este tipo de digestor. Sin embargo, es una opción muy viable, dado que sus razones de producción de biogás son competitivas con los de otros tipos de digestores más desarrollados (Chynoweth *et al*, 1987).

Flujo Tapón

Este tipo de digestores generalmente se construyen enterrados, son muy poco profundos y alargados, y cuyas secciones transversales pueden ser circulares, cuadrados o en "V". Se operan en forma semicontinua, entrando el afluente por un extremo y la remoción del efluente se realiza por el extremo opuesto. Para asegurar las condiciones de flujo tapón, el largo tiene que ser considerablemente más grande que el ancho y la profundidad. La relación ancho largo puede ser de 5:1 o hasta 8:1 (Mundajano, 1981) y son recomendables para trabajar con volúmenes mayores de 15 m³, y para residuos animales. Las condiciones ideales para el flujo tapón implican que las porciones líquidas sólidas y de microorganismos entren y salgan del digestor en aproximadamente en tiempos y cantidades iguales. Sin embargo, aunque podría no haber ningún mecanismo de mezclado en este tipo de digestor, algún mezclado vertical se lleva a cabo por efectos de la gravedad a todo lo largo. Dando lugar a un pasivo asentamiento de sólidos y por lo tanto un TRS más largo que los TRH y TRM (Chynoweth *et al*, 1987).

Reactor de lecho de lodos de Flujo Ascendente

Es particularmente adecuado para residuos solubles y bajo contenido de sólidos. Por ejemplo, puede utilizarse para tratar agua residual municipal e industrial. Este digestor consiste en un tanque cilíndrico, que proporciona una distribución homogénea del agua residual que entra por una base cónica. El líquido fluye hacia arriba a través del techo de bacterias sedimentadas y de una región del digestor en la que las bacterias que flocculan se sedimentan en gránulos de aproximadamente 4mm de diámetro. Los residuos tratados que emergen del lecho de lodos pasan a un área más estable, libre de burbujas de gas en las que se sedimentan las bacterias que se separaron de la capa, obteniéndose así, TRS y TRM más largos que el TRH. También se pueden utilizar deflectores para la liberación del Biogás (Bu'lock *et al*, 1987).

Filtros Anaerobios

Están constituidos básicamente, por un tanque cilíndrico ($H/D= 8-10$, relación entre altura H y diámetro D) en cuyo interior hay un filtro fijo, que puede ser de cualquier material seleccionado óptimamente y dispuesto en forma orientada. Los materiales como el plástico y ladrillos tienen la ventaja de que pueden modelarse para lograr grandes razones de superficie-volumen. Los microorganismos se adhieren en forma de película al medio poroso y toman nutrientes del afluente. En el interior, se ha observado que las diferentes poblaciones bacterianas tienden a separarse. Por

ejemplo, con flujo ascendente; las bacterias formadoras de ácido actúan en la base del digestor, mientras que las metanogénicas se han encontrado alojadas en el filtro, en los lugares más alejados del afluente (Alonso, 1996).

Uno de los principales problemas de este tipo de Biodigestor es el taponamiento, que puede ser mitigado con filtros de porosidad orientada junto con operaciones de flujo descendente. Sin embargo lo anterior promueve el desalojo de microorganismos ya retenidos (Chynoweth *et al*, 1987).

Biodigestores más Comunes

De las distintas plantas de Biogás existentes los más comunes son el domo flotante (indio) y el domo fijo (chino). La baja aceptabilidad de este tipo de Biodigestores ha sido debido a los altos costos, la dificultad para su instalación y problemas en adquirir las partes de repuestos.

Biodigestor de Domo Flotante (Hindú).

Se distingue por el uso de un domo flotante que es un tanque de almacenamiento en forma cilíndrica que asciende al aumentar la presión del gas que se encuentra adentro. Originalmente fue hecho de acero pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico para superar el problema de corrosión.

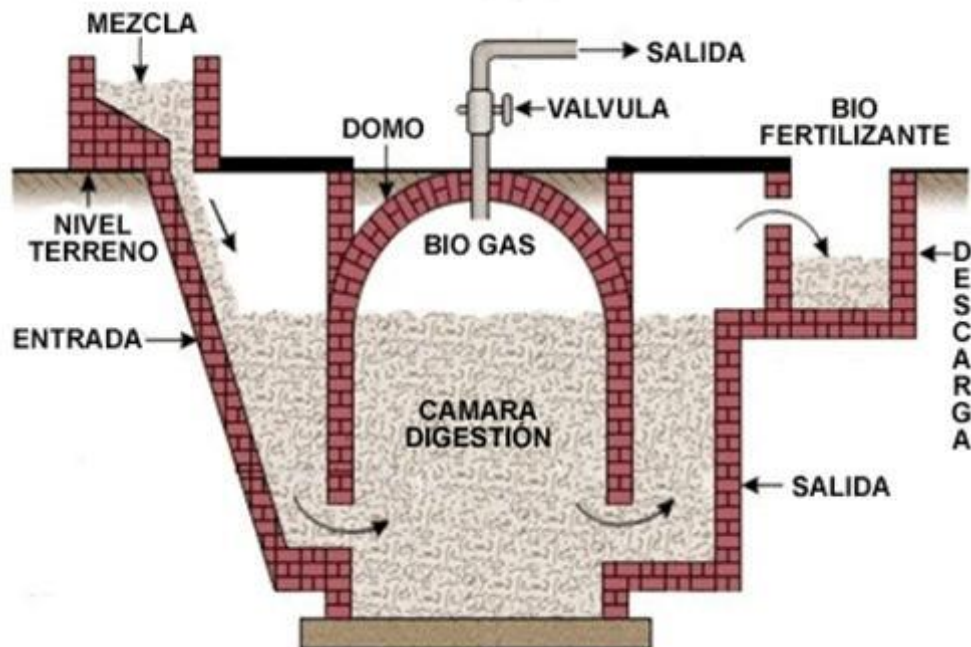


Fig. 5.5 Fuente: ricardo.bizhat.com. Biodigestor Domo Flotante (Hindú)

La pared del reactor y el fondo pueden ser contruidos normalmente de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en concreto. El reactor se alimenta semi-continuamente a través de una tubería de entrada.

Para permitir la entrada de la materia orgánica y la salida del biofertilizante se emplean dos tubos (de plástico preferentemente) que conectan el tanque de almacenamiento con el de carga y descarga; también cuenta con tuberías, válvulas de corte y seguridad que garantizan el buen funcionamiento del biodigestor (Constant, 1989).

Biodigestor de Domo Fijo (Chino).

El diseño de tipo Chino para el almacenamiento del biogás es una cúpula fija unida al tanque de almacenamiento, que puede ser contruida de ladrillos, piedra o concreto. La cima y fondos son hemisféricos y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme.

Tiene una tubería de entrada recta y su forma se asemeja a una esfera dentro de la campana fija a presión variable, la cual obtiene desplazando el líquido en digestión hacia una cámara llamada de hidropresión.

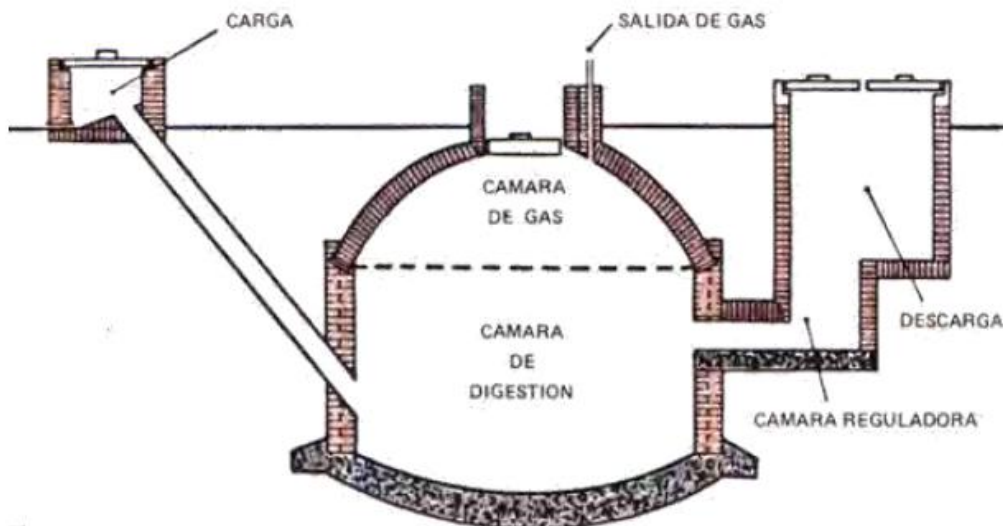


Fig. 5.6 Fuente: Biodigestores una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. Biodigestor Tipo Chino

Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para contruir este tipo de biodigestor lo que le confiere una elevada vida útil (pueden llegar como promedio a 20 años), siempre que se realice un mantenimiento sistemático. Funciona con presión variable ya que le objetivo no es producir biogás sino el abono orgánico ya procesado (Félix, 1979).



Fig. 5.7 Fuente: cienciasseptimodosmiravalle.com. Biodigestor Chino.

Fosas Sépticas

Es el más antiguo y sencillo digestor que se conoce, utilizado normalmente para la disposición de aguas residuales domésticas. Se cree que de ahí deriva el uso potencial de los gases producidos por la fermentación anaerobia, para el uso doméstico.

223



Fig. 5.8 Fuente: rotoplas.com. Biodigestor Autolimpiable.

Para la correcta operación de las fosas es requisito indispensable aislar las aguas servidas que caen en la fosa, de las que contienen jabón o detergentes y en especial

los detergentes, inhiben la acción metabólica de las bacterias. Razón por la que las fosas se colmatan con rapidez y dejan de operar, haciendo necesario destaparlas frecuentemente para comenzar la operación.

Cuando no es posible separar las aguas negras de las jabonosas, como en el alcantarillado urbano, es necesario hacer un tratamiento químico con polímeros a esta agua, a fin de solucionar el problema antes de iniciar la fermentación anaerobia (FAO, 2001).

En la actualidad existen productos muy eficientes para el uso de fosas sépticas haciendo el proceso de tratamiento de aguas residuales más sencillo y económico.

Biodigestores Flexibles.

Son Biodigestores más baratos. Inicialmente se usaron el nylon y neopreno pero resultaron ser relativamente costosos. Esto fue reemplazado después por el polietileno menos costoso y es ahora el material comúnmente usado en América Latina, Asia y África.

- En este digestor el gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena con Biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja. Este biodigestor es de los más recomendables para el uso rural por su bajo costo y facilidad de instalación, sus principales características son: Tubo de admisión: es un tubo de plástico de 20 a 30 cm de diámetro, que debe usarse para la admisión de desechos y debe sumergirse en los residuos al menos a 15 cm de profundidad, lo cual, previene el escape del metano. Es necesario utilizar un pozo o recipiente para limpiar la materia orgánica, esto para evitar obstruir con facilidad el afluente.
- Fermentador y bolsa de almacenamiento: es el principal componente del Biodigestor, la bolsa de almacenamiento debe estar en la parte superior del biodigestor. El tamaño del fermentador depende de la cantidad de desechos a tratar y/o los requerimientos de biogás que se tengan.
- Tubo de metano: el tubo deberá ser de 2 pulgadas de diámetro y se usa para transportar el biogás a su lugar de uso. El tubo posee una salida que está sumergida en agua y que drena la humedad condensada.
- Dispositivo de seguridad: éste se utiliza para prevenir la ruptura del fermentador debido a presiones altas de fermentación anaerobia de los desechos. Consiste en un tubo o botella de al menos 10 cm de profundidad insertada al tubo de

salida. Cuando la presión del biodigestor es mayor a la del agua, se libera el biogás.



Fig. 5.9 Fuente:recolast.com.br. Biodigestor Flexible

- ♣ Tubo de limpieza: el lodo que se sedimenta en el fondo del biodigestor debe ser removido cada dos años. Por la tubería se evacuan los lodos por bombeo, así los lodos se disponen; cuando el biodigestor es muy largo se utiliza un tubo en un extremo del biodigestor y otro tubo en la mitad del mismo (Earth, 2003).

Sistema Biobolsa.

El sistema biobolsa es un Biodigestor anaerobio tubular pre-fabricado, diseñado para el pequeño y mediano productor agropecuario. Es un digestor anaerobio de flujo continuo, alimentándose con desechos orgánicos diariamente, pasando a través de un reactor, produciendo biogás y biofertilizante todos los días.

El sistema convierte los desechos del ganado en combustible rico en metano (biogás) y en bioabono o biofertilizante (biol), sus características son: tubular de flujo continuo, resistente y flexible, variedad de tamaños, fácil de operar tanto como de instalar además de eficiente.

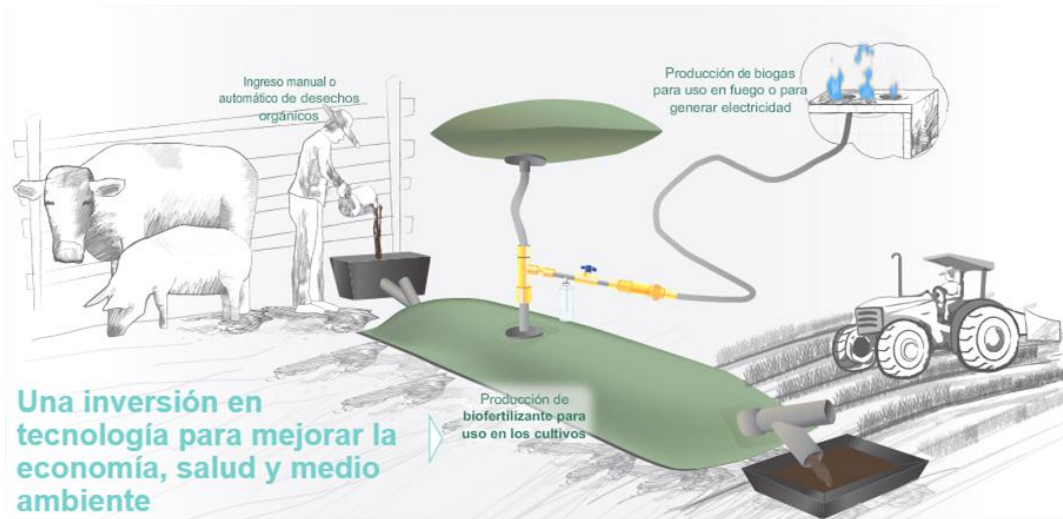


Fig.5.10 Fuente: Sistema Biobolsa 2015. Biodigestor de Geomembrana de Polietileno.

El sistema Biobolsa es una inversión, el tiempo de recuperación de la misma, depende del tamaño y características del usuario, oscila entre los 9 y los 24 meses. Con la producción de biogás y de biofertilizante, se podrá ahorrar dinero de los gastos de ambos insumos. Por ejemplo, 1.5 cubetas de excremento de ganado bovino diario, puede producir 1 m³ de biogás cada día. 1 m³ de biogás equivale a 0.5 kg de gas LP o a 0.75 L de gasolina o a más de 2 kg de leña.

Esa misma cantidad de excremento de ganado bovino, con su respectiva mezcla de agua, pueden producir 100 Litros de biofertilizante por día.

Beneficios en Salud y Medio ambiente

- Con el uso de biogás en la cocina, se disminuye la exposición al humo generado por la leña, disminuyendo a su vez los riesgos de enfermedades respiratorias.
- Con el adecuado manejo de los desechos, se disminuye considerablemente los riesgos de infección. Además, se disminuyen los olores y las moscas en la vivienda/granja.
- Promueve el cuidado de las cuencas y de los bosques, derivado del adecuado tratamiento de los desechos y de la disminución de la tala para conseguir leña-combustible.

- Ayuda a combatir el cambio climático, al disminuir la emisión de gases de efecto invernadero (CO_2 y CH_4).
- Promueve la agricultura orgánica al ofrecer una solución natural para la nutrición del suelo y la planta (Sistema Biobolsa, 2015).

Los factores a considerar en el diseño y puesta en marcha son varios y de esto depende el tipo de biodigestor a utilizar. Aspectos como son el lugar donde instalará, el uso directo que se le dará; evaluando las necesidades y requerimientos técnicos. Siendo estos factores variables de acuerdo a cada región, el clima, aspecto económico, zona geográfica, el capital humano y la disposición final del biogás por mencionar algunos factores

Volumen del Biodigestor:

Tiempo de Retención celular (10 a 20 días para los equipados con calefacción y 30 a 60 días en una temperatura ambiente no menor a 20°C).

Carga de materia orgánica con que se dispone (Para el arranque se debe reunir un volumen aproximado de la carga que se utilizará para 10 días)

Conocer el número de usuarios que se pretende hagan uso de los beneficios (el biogás en relación por habitante o familia)

Planeación y Control del Proceso (Para el arranque es recomendable la supervisión por parte de una persona capacitada).

Control de Temperatura

Se recomienda un buen control de temperatura ya que de acuerdo a esta se propiciara el correcto crecimiento de los microorganismos que degradaran la materia orgánica.

Mantener la temperatura en un rango mayor a 15°C . En caso de ser necesario (zonas frías) implementar un sistema de calefacción

Mezclado

El mezclado es un punto importante a considerar (una vez al día mientras el área del biodigestor no esté calentada por el sol, ya sea por la mañana o noche; esto durante 30 a 60 segundos) debido a que con ello se propicia el contacto entre biomasa y lodos.

Almacenamiento y uso del Biogás

Siendo la producción del Biogás, una de las principales razones para la implementación de un Biodigestor; debe resolverse:

El uso que se le dará al biogás una vez obtenido, en caso de ser únicamente para combustible (cocción de alimentos) instalar la tubería de conducción, o en dada la situación que se requiera para generar electricidad; se deberá verificar el equipo necesario a considerar en el presupuesto y capacitación.

Recipiente o contenedor del Biogás, debido a las características de los gases (mencionadas en capítulo I) deberá diseñarse un recipiente adecuado para almacenar el volumen producido; considerando una holgura en caso de que se siga produciendo Biogás y no se esté consumiendo a su vez (Felix, 1979/ Hilbert, 2004).

Bioabono

Uno de los subproductos del biodigestor que es de gran importancia es el lodo residual usado en la agricultura como fertilizante por su gran contenido de nutrientes. La composición del bioabono en promedio tiene 8.5% de materia orgánica, 2.6% de nitrógeno, 1.5% de fósforo, 1% de potasio y un pH de 7.5.

El bioabono sólido o líquido no posee mal olor, a diferencia del estiércol fresco, tampoco atrae moscas y puede aplicarse directamente al campo en forma líquida, en las cantidades requeridas; o bien, el bioabono puede deshidratarse y almacenarse para usarlo posteriormente en el entendido de que al deshidratarse y almacenarse puede haber pérdidas por volatilización de hasta 60%, sobre todo en nitrógeno.

El bioabono no deja residuos tóxicos en el suelo, eleva la calidad del mismo y puede considerarse como un buen fertilizante que puede competir o complementarse con los fertilizantes químicos (Fregoso et al, 2001).

El biol (biofertilizante) como abono es una fuente de fitoreguladores que ayudan a las plantas a tener un óptimo desarrollo, generando mayor productividad a los cultivos. Siendo un producto estable biológicamente, rico en humus y una baja carga de patógenos; tiene una buena actividad biológica, desarrollo de fermentos nitrosos y nítricos, microflora, hongos y levaduras que serán un excelente complemento a suelos improductivos o desgastados.

Agregar el biol al suelo provee materia orgánica que resulta fundamental en la génesis y evolución de los suelos, constituye una reserva de nitrógeno y ayuda a su

estructuración. La capacidad de fertilización del es mayor al estiércol fresco y al estiércol compostado debido a que el nitrógeno es convertido en amonio (NH_4), el cual es transformado en nitratos.

Debido a su contenido de fitoreguladores promueve actividades fisiológicas y estimula el desarrollo de las plantas, favorece su enraizamiento, alarga la fase de crecimiento de hojas (encargadas de la fotosíntesis), mejora la floración, activa el vigor y poder germinativo de las semillas. Puede aumentar la producción de un 30 hasta un 50%, además que protege de insectos y recupera los cultivos afectados por heladas (Manual de Biol, 2015).

Manejo de Bioabono

Si no se cuenta con almacenamiento de biol, o se tiene mucho excedente, se debe garantizar la posibilidad de usar este biol cuando se requiera. Lo ideal es que el biol escurra a zonas de cultivos, pasto o arboles para que los nutrientes sean aprovechados.

Un composteo puede ser un fosa sencilla, llena de material orgánico seco que no permite acumulación de biol a una profundidad de más de un metro. Idealmente este material debe ser aireado y revuelto con regularidad.



Fig. 5.11. Cultivo utilizando estiércol sin tratamiento como abono, Jaleaca de Catalán.

Otra opción para el manejo final de biol son las fosas de filtración donde fosas llenas de piedras o grava permiten infiltración del biol al suelo en una superficie extensa,

preferentemente cubierta de vegetación que extraiga los nutrientes. Se debe asegurar de que el biol se mantiene en un ambiente aerobio, para que no se genere más metano y no se contamine.

Ya que el biol se encuentra en forma líquida y se puede extraer con bombas de lodos o bombas de aguas. Si se usa bomba de agua, se recomienda filtrar el biol con una malla a la salida del Biodigestor, y anteponer una malla en la toma de la bomba.

El transporte se puede hacer en tambos, cubetas o cualquier contenedor que permita mover el biol en forma líquida dentro de vehículos, remolques o manualmente

El seguimiento y monitoreo del sistema Biodigestor es fundamental para obtener los mejores resultados pudiendo así detectar y solucionar posibles fallas. (Manual Instalación Biobolsa, 2015)

Pueblos Ricos e Ignorantes. Jaleaca de Catalán.

Si bien se cree que la riqueza de un país está en su gente, esta afirmación no podría estar más alejada de la realidad pues se ha visto a través de la historia que la grandeza de un pueblo no se refleja en la cantidad de bienes y recursos que posee sino mas bien en la capacidad que este tiene para reproducirlos, administrarlos e incluso explotarlos.

La grandeza del ser humano se ve reflejada en los oasis y en los desiertos; cuando estando frente a un oasis crea solo desiertos y en los desiertos puede crear un paraíso.

Las comunidades rurales son grandes minas de oro, esto debido a la gran cantidad de recursos que poseen que podría creerse de mala manera son inagotables; lo que las diferencia es la posibilidad que tienen sus habitantes para con sus recursos crear fortalezas o destruirse y simplemente quedar en cenizas.

Jaleaca de Catalán

Jaleaca de Catalán se ubica en el municipio de Chilpancingo de los Bravo en el Estado de Guerrero. Su clima es subhúmedo, semicálido, cálido y templado, con una temperatura media anual que fluctúa de 15º C a 24º C. Cuenta con una población total de 2,496 habitantes, de los cuales 1,216 son mujeres y 1,280 hombres.



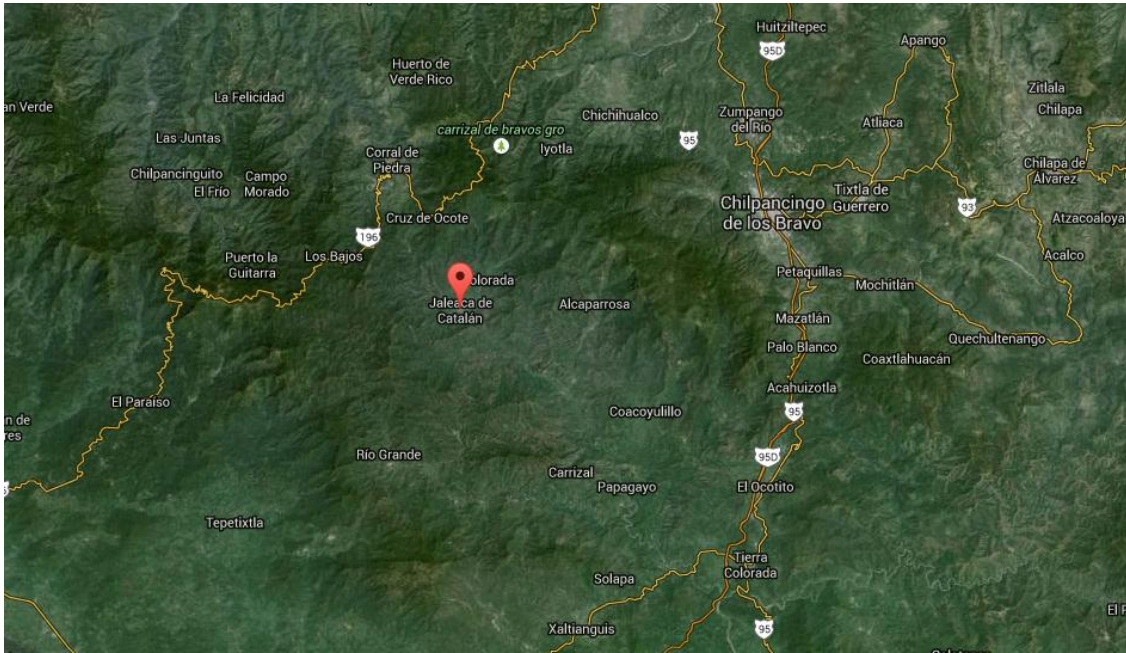


Fig. 5.12. Fuente: INEGI-Google Maps 2015. Ubicación Jaleaca de Catalán

Se localiza al sur de la República Mexicana colindando con las poblaciones de Tierra Colorada (Noreste), Cruz de Ocote (Norte), Chichahuales (Noroeste), Rio Grande (Sureste) e Inscuinatoyac (Suroeste). Esta comunidad tiene una altura sobre el nivel del mar de 800 m.s.n.m aproximadamente; geográficamente está ubicada al norte del Puerto de Acapulco y al Suroeste de Chilpancingo (Ciudad Capital).

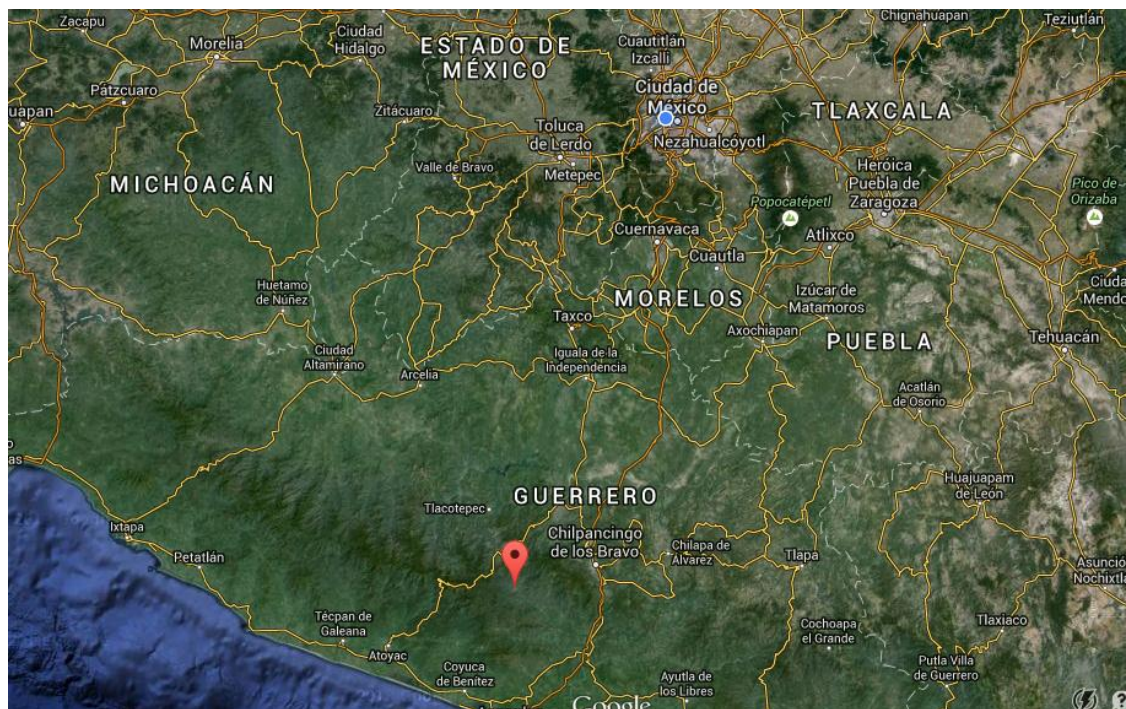


Fig. 5.13. Fuente: INEGI-Google Maps 2015. Ubicación Jaleaca de Catalán

Características Socio-Culturales

Jaleaca de Catalán es una comunidad Rural que cuenta con nivel de educación preescolar, hasta bachillerato, entre su población las actividades culturales tienen gran importancia; destacando entre ellas las celebraciones de Semana Santa, 16 de Septiembre, Día de Muertos y la Feria Anual en el mes de Diciembre. Aunadas a estas celebraciones se realizan algunos otros eventos culturales por parte de las escuelas de los distintos niveles para conmemorar fechas como el 24 de Octubre (Día de las Naciones Unidas) y 20 de Noviembre (Aniversario de la Revolución) entre otras fechas.

Forma parte de la Infraestructura comunitaria un centro de salud, una comisaria municipal, una cancha para eventos cívicos y deportivos y dos más para eventos deportivos exclusivamente, dos centros preescolares, dos escuelas primarias, una escuela secundaria y una más de nivel bachillerato a pesar de esto el nivel de preparación de la población es bajo debido a la deserción y en otros casos es deficiente debido a la falta de profesores.



Fig. 5.14. Actividades culturales, Jaleaca de Catalán (Carreras de Caballos, Izq/Baile Tlacoleros Feria, Der).

Actividad Económica

La población se dedica esencialmente a la Agricultura y Ganadería; la agricultura es su principal medio de suministro de materias primas cultivando: maíz, frijol, calabaza, chile y en menores proporciones jitomate, tomate, verduras como lechuga, col, cilantro, generando estos cultivos para consumo local básicamente; en cuanto a la ganadería se cría ganado vacuno, porcino, caprino y avícola estos con la finalidad de producir alimentos básicos y en casos como el vacuno también para venta de productos lácteos a las comunidades vecinas; al igual se hace uso de equinos y mulares, pero estos con fines de carga, transporte y en ocasiones recreativas.



Fig. 5.15. Zonas de Cultivo de Maíz, Jaleaca de Catalán.

Otra de las fuentes económicas es el comercio propiciado por la venta de productos elaborados en la comunidad (lácteos, carne roja, pan, comida típica y frutas de temporada). A estos se suman las remesas recibidas de familiares en los Estados Unidos como uno de los principales ingresos a la comunidad.



Fig. 5.16. Ganadería y Venta de leña, Actividades económicas en Jaleaca de Catalán.

La pesca es una actividad practicada para consumo local aunque se ha visto aminorada por la contaminación y disminución de los cuerpos de agua en donde se practica.

Hace diez años se tenía un aserradero que se encargaba de administrar y comercializar distintos tipos de madera que dejaban una derrama económica adicional pero la desorganización política y social provocó su desaparición y pérdida de infraestructura; por lo cual actualmente no se tiene un control de estos recursos.



Fig. 5.17 Área donde se encontraba el aserradero, Jaleaca de Catalán

Recursos Naturales

Los recursos naturales son abundantes y diversos considerando que en la misma comunidad se tiene un clima cálido y templado en otra zona propicia la gran diversidad de especies tanto en flora como en fauna.

La flora encontrada son algunos tipos de coníferas como oyamel, cedro blanco, cedro rojo, roble, fresno, abedul y encino utilizados principalmente para obtener madera y combustible (leña); en cuanto a la producción de frutos se encuentran arboles de mango, nanche, guayaba, cuapinole, rosca, guaje, guanabana, naranja, aguacate, durazno, toronja, limón, cajel, tamarindo al igual que palmeras de coco y cocoyul por mencionar los que más abundan existiendo una gran posibilidad en cuanto el cultivo debido a la condiciones climatológicas.

La fauna es por igual diversa encontrándose especies silvestres tales van desde: jaguar, conejo, ardilla, jabalí, venado cola blanco, zorro, mapache, puercoespín, tejón, águila, armadillo hasta pericos e iguanas (siendo estos dos últimos blancos de la caza para venta y consumo respectivamente).



Fig. 5.18 Diversidad de Flora, Jaleaca de Catalán (Zonas Cálidas).

Aunado al buen clima de la región naturalmente, debido a su topografía; cuenta con escurrimiento de varios cuerpos de agua, encontrándose un gran número de barrancos, dos arroyos, y tres ríos que forman una cuenca la cual alimenta al Río Papagayo permitiendo así la agricultura, suministro de agua para la población y actividades recreativas como la natación (INEGI 2010).



Fig. 5.19 Diversidad de Flora, Jaleaca de Catalán (Zonas Templadas).



Fig.5.20 Ríos que Abastecen Jaleaca de Catalán.

Problemática de la Comunidad

La comunidad enfrenta una situación crítica en el deterioro de sus recursos naturales, debido a la desorganización y falta de conocimiento sobre el tema. Por lo que al igual que se busca una solución para coadyuvar esta situación se debe concientizar a la población sobre cómo mejorar las condiciones de su comunidad.

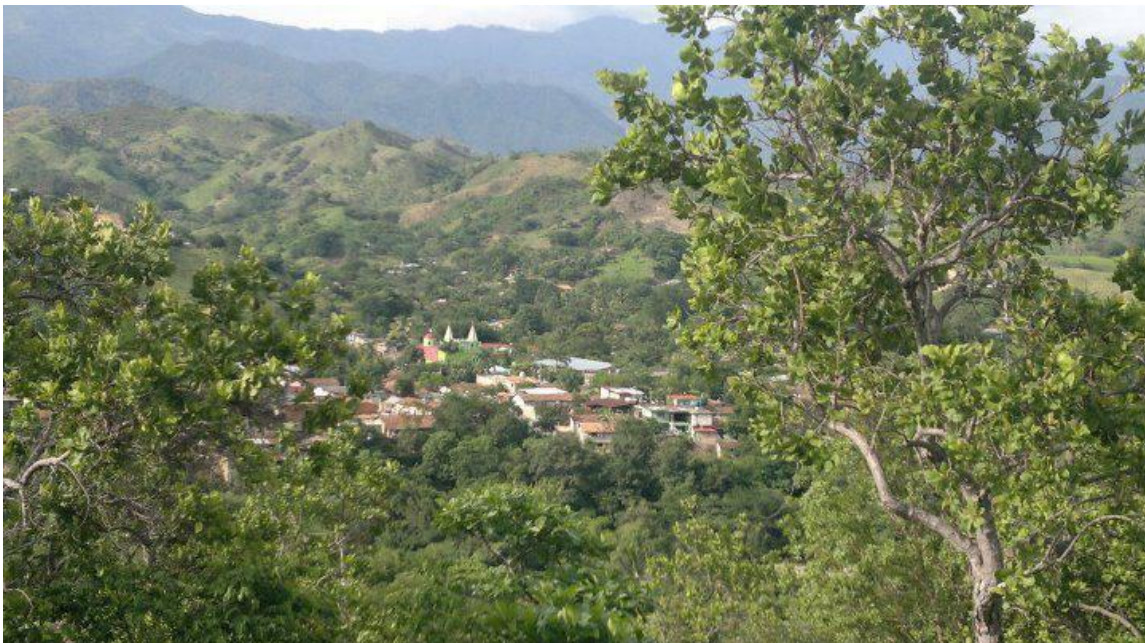


Fig. 5.21 Comunidad de Jaleaca de Catalán, 2008.

El problema de mayor peso actualmente; es el deterioro del río que distribuye a la comunidad de agua para consumo, al igual que sus vertientes, esto debido a la tala y quema inmoderadas al igual que a la contaminación que podría pensarse es mínima por la población (2500 habitantes) pero ésta aumenta debido a que la gran mayoría de los desechos humanos y animales son arrojados a los cuerpos de agua que desembocan en un mismo cauce.



Fig.5.22 Disminución en los Niveles de los Ríos, Jaleaca de Catalán.

Otras situaciones que contribuyen a la problemática son la tala y quema las cuales son actividades que la población justifica como parte del proceso de producción de alimentos y sustento de la comunidad, pues sus actividades principales son la agricultura y ganadería las cuales hacen poco uso de tecnología para disminuir los efectos adversos (quema y tala inmoderadas, sobreexplotación de recursos). La tala tiene un mayor efecto negativo debido a que se utiliza madera como combustible para cocinar los alimentos en la mayoría de los hogares; en los últimos años ha proliferado la tala clandestina para la venta de madera, debido a la desorganización comunal.



Fig. 5.23 Deterioro en los Ecosistemas debido a la Tala, Jaleaca de Catalán.

Todo esta problemática tiene diversos pasos de solución para el efecto de esta Tesis se enfocara la situación ambiental, iniciando con la concientización de la población dejando de lado la problemática social por el momento.

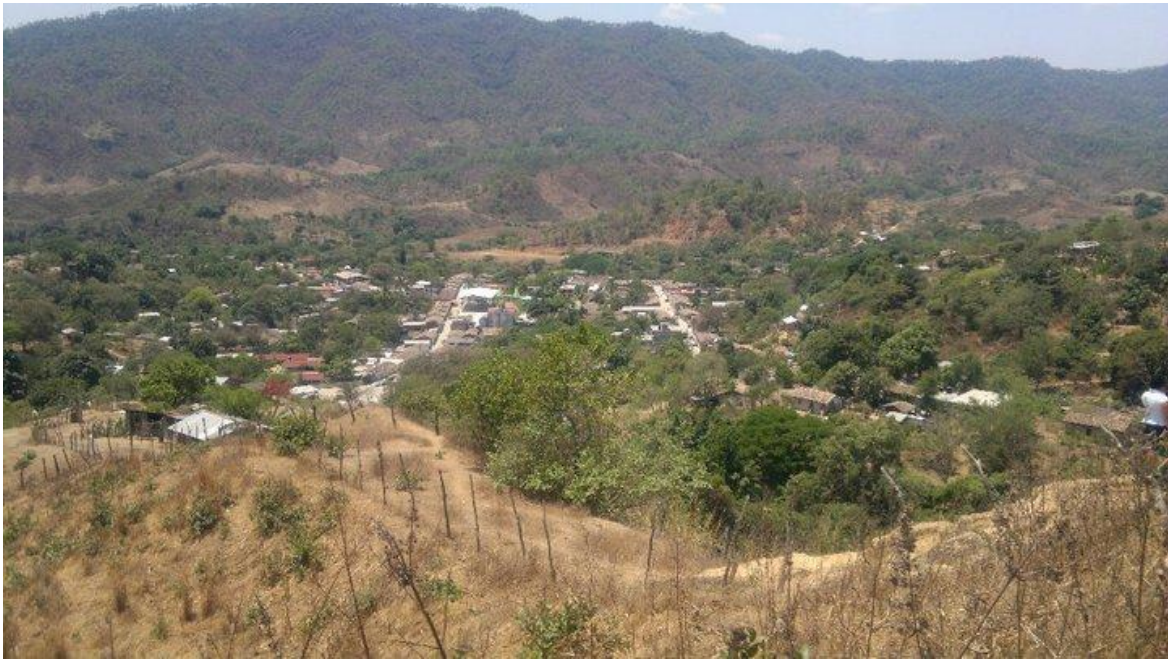


Fig.5.24 Deforestación visible en zonas aledañas de Jaleaca de Catalán, 2015.

Principales Hábitos Nocivos de las Comunidades Rurales.

- ❖ Descarga de desechos humanos y animales a los cuerpos de agua. Capítulo III
- ❖ Tala para el uso de leña en la cocción de alimentos. Capítulo III
- ❖ Uso excesivo de fertilizantes que contaminan el suelo y los cuerpos de agua.
- ❖ Quema de diversos plásticos como combustible propiciando la contaminación del aire.
- ❖ Disminución de los cuerpos de agua debido a la quema y tala inmoderadas. Capítulo III
- ❖ Explotación inmoderada de los recursos forestales impidiendo que estos se regeneren y a su vez dejen de retener agua .Capítulo III

El Costo de la Ignorancia

Las comunidades rurales son además de proveedoras de materias primas una fuente continua de recursos naturales y a escala de crecimiento poblacional no están siendo valoradas acorde a la importancia vital que poseen; pues es en ellas donde se generan la gran cantidad de medios para desarrollar la vida humana.

Tal cual se ha presentado en los capítulos III y IV todo los procesos están correlacionados y una acción o mal manejo de recursos conlleva a daños adversos;

es por esto que se debe poner especial interés en el deterioro que las comunidades rurales han venido propiciando a sus recursos naturales en los últimos años, esto debido al desconocimiento, descuido y desinterés por la falta de conciencia.

Siendo las comunidades rurales el punto de generación de materias primas y principales proveedoras de los recursos naturales primarios; son un punto crucial a considerar en busca de dar solución a la deficiente administración de recursos que no son siquiera explotados para beneficio propio de las comunidades (desperdiándose en talas y quemas innecesarias); mucho menos lo son para demás comunidades que los requieren para producir sus propios insumos y mucho menos para las poblaciones urbanas como lo es el caso del agua para consumo humano. Son estos algunos de los motivos por lo que es importante analizar la problemática que día con día crece siendo la desinformación una de sus principales razones.

Considerando las principales puntos que caracterizan a las comunidades rurales; como lo son la falta de recursos económicos y el difícil acceso a las mismas; en busca de una solución que mitigue a la par todos los problemas expuestos en los capítulos anteriores se propone el uso de Biodigestores; la implementación de los mismos permite aprovechar los residuos orgánicos, asimismo implementar las practicas tecnológicas como alternativas de fuente de energía y además reducir los efectos de la contaminación. Se evita conjuntamente las enfermedades patógenas transmitidas por los desechos animales y en el proceso se obtiene el biogás. Todos los productos son aprovechados en el caso del gas domestico (biogás) al igual que los lodos las cuales después de drenarse son útiles como abono en las parcelas agrícolas (Mentado, 2008).

Algunos de los principales factores ecológicos que se favorecerían con implementación de Biodigestores son:

- ✦ Reducción de la tala de árboles para el uso de leña en la cocción de alimentos.
- ✦ Canalizar los desechos animales (porcinos principalmente) evitando se destinen a los cuerpos de agua; ayudando a mitigar con esto la contaminación por esta razón.
- ✦ Producir abono orgánico, que reduciría el uso de fertilizantes artificiales.
- ✦ Coadyuvar a la preservación de cuerpos de agua evitando la tala y contaminación de los mismos.

- ✦ Además ser una tecnología ecológica, contrae beneficios económicos.
- ✦ Al generar conciencia de los beneficios ecológicos y económicos de esta tecnología en la comunidad; otras tecnologías pueden implementarse a la par.



Implementación de la Propuesta

La implementación de Biodigestores en la comunidad de Jaleaca de Catalán es una alternativa viable debido a que su uso además de solucionar varios factores ambientales (reducir la tala, tratar los desechos humanos y animales, aunados a la producción combustible) son una opción práctica y sustentable debido a que la inversión inicial que se haga tendrá un costo-beneficio a largo plazo.

Las propuestas considerando las características de la comunidad así como los requerimientos de un sistema Biodigestor son dos básicamente, las cuales serán expuestas a continuación:

1. Un Biodigestor por familia y/o casa: esta propuesta es viable a la vez que ambiciosa debido a que de esta manera cada hogar en la comunidad tendría la posibilidad de procesar sus desechos así como producir combustible (biogás) con lo cual se verían reducidos considerablemente los efectos adversos por tala y contaminación.

Biodigestor por Familia	
Requerimientos	Beneficios
Cada hogar debe tener animales para generar suficientes desechos a procesar. Requerimiento que algunas familias no pueden cumplir pues cuentan con muy pocos animales o no los tienen	En cada hogar se tendrá la posibilidad de procesar sus desechos.
La inversión necesaria será directa por familia. No sería posible entonces la suma de recursos por varias familias para reducir el costo directo por familia.	Se podrá obtener combustible y biofertilizante para beneficio propio
Se requiere espacio disponible, así como tiempo para atender diariamente el sistema	Los gastos por combustible y fertilizante se verían considerablemente reducidos

2. Un Biodigestor de gran tamaño o varios Biodigestores interconectados a la vez para los comedores Estudiantiles ubicados en las escuelas primarias y la comisaria municipal: esta propuesta sería económica debido a que los recursos necesarios serían divididos entre un mayor número de habitantes al igual que se beneficiarían los efectos ambientales aunque en una menor escala.

Biodigestor Comunitario	
Requerimientos	Beneficios
Debido a que en las escuelas y comisaría no se tienen animales, sería necesario trasladar los desechos hasta el lugar de tratamiento.	Los desechos localizados en la calle y corrales con pocos animales podrían ser tratados.
La organización para el suministro de desechos necesarios, así como el cuidado del sistema serán de gran importancia.	Esto contribuiría a la cooperación y organización comunitaria formando un ambiente distinto; el cual propiciaría una mejora en la comunidad
El espacio necesario para la implementación del sistema sería mayor, debido a que la demanda aumentaría.	Los espacios sin un uso en los centros comunales serían aprovechados además de generar los beneficios ya expuestos

Los distintos requerimiento y beneficios pueden ser valorados a su vez que mejorados con nuevas alternativas; por lo cual es preciso aclarar que las dos propuestas expuestas no son opuestas y pueden ser implementadas ambas a su vez; siempre y cuando se analicen para su mejora.

Análisis y Mejora de las Propuestas

Para la implementación de una o ambas propuestas los pasos previos son tan importantes como los subsecuentes; por ello la selección de un sistema Biodigestor así como del conocimiento de los requerimientos técnicos tanto como de un presupuesto serán indispensables.

De acuerdo a los tipos de Biodigestores expuestos así como de sus características considerando ventajas y desventajas en esta comunidad se propone el uso del sistema Biobolsa esto debido a que:

Los materiales permiten su fácil transportación hasta el sitio de instalación (geomembrana de polietileno) debido a que es un material prefabricado.

La compra del sistema incluye un seguimiento en instalación y mantenimiento por personal técnico capacitado.

El sistema cuenta con una garantía de 20 años, propiciando con esto el aseguramiento de la inversión. Siendo esta característica uno de los principales motivos por los que propone esta alternativa.

Las capacidades disponibles son moldurales; permitiendo con esto la elección de el sistema adecuado de acuerdo a los desechos disponibles los cuales varían entre un hogar y otro.

La venta del equipo incluye el sistema completo: el paquete incluye el reactor, reservorio para gas, válvula de alivio de presión, filtro para H_2S , trampas de agua, geotextil protector, todas las conexiones, línea de gas, registro de ingreso y tina para almacenamiento de bioabono.



Fig. 5.25 Fuente: Sistema Biobolsa 2015, Componentes del Sistema Biobolsa.

Es durable: el material primario tiene una vida útil superior a los 20 años en contacto directo con los rayos del sol.

Mezclable: el sistema está diseñado para la agitación manual o la fácil integración de bombas de agitación con lo que promueve el proceso de digestión anaerobia.

Eficiente: La orientación horizontal logra la ganancia de calor solar, permitiendo un proceso de digestión eficiente.

Considerando los puntos anteriores se realiza la cotización de un sistema Biodigestor que tiene una capacidad de procesar 50 kg de estiércol diario y producir 150 litros de biofertilizante (útil para abonar de 3.5 a 4 hectáreas de cultivo) con 2.0 m³ de biogás (suficiente para encender un quemador por 4 a 5 horas) esto para analizar las propuestas con un presupuesto base:

Cotización Sistema Biobolsa



ventas@sistemabiobolsa.com

Manuel Castorena
Jaleaca de Catalán
Chilpancingo, Guerrero, MEX


De acuerdo a su solicitud, le presento aquí la propuesta económica de un Paquete Biobolsa de 6 metros cúbicos de capacidad y sus accesorios.

Id	Concepto	Cantidad	P.U.	Total
BB-6	Paquete Tecnológico Biobolsa BB-6, con capacidad de 6,000 litros en fase líquida y flete a Chilpancingo, GUE	1	\$ 18,618.98	\$ 18,618.98
Total MXN				\$ 18,618.98



El Paquete Tecnológico Biobolsa BB-6 incluye un reactor anaeróbico de 6,000 litros en fase líquida, un reservorio para biogás de 1.5 metros cúbicos, un registro para mezcla e ingreso de desechos de 200 litros, una tina para biol de 2,250 litros, dos quemadores para biogás, dos trampas de agua, una manta de geotextil protector, dos "Y" de PVC de 4", una válvula de alivio, una válvula de paso, un filtro para impurezas en biogas, manguera transparente para conexión principal, manguera de poliducto para conducción de biogás, juego de abrazaderas y codos para conexiones, manual de usuario y póliza de garantía. El reactor, el reservorio, el registro de entrada y la tina para tratamiento aerobio están fabricadas en polietileno lineal de baja densidad LLDPE de 1.00 milímetro de espesor.

<p>Notas y Condiciones</p> <p>a) Esta cotización tiene vigencia de 30 días. b) La entrega se hace de 2 a 6 semanas posterior al pago de anticipo. c) Precios incluyen IVA.</p>	<p>e) Realizar pago a nombre de: BUEN MANEJO DEL CAMPO, S.A. DE C.V. en la cuenta de BANORTE 0643925456 con CLABE INTERBANCARIA 072180006439254560</p>
---	--

Atentamente,

Humza Arshad
Ventas Sistema Biobolsa

Teniendo en cuenta el presupuesto necesario y algunos gastos extras se considerara un presupuesto total de \$20, 000, con dicho total se analizaran nuevamente las propuestas expuestas anteriormente:

1. Un Biodigestor por familia o casa: esta opción sería más viable y menos costosa considerando la unión de dos familias interesadas, las cuales podrían reunir recursos económicos, así como materia prima para hacer más rentable y eficiente la implementación del sistema como se describe a continuación:

Un Biodigestor por Dos Familias	
Requerimientos	Solución
Cada hogar debe tener animales para generar suficientes desechos a procesar. Requerimiento que algunas familias no pueden cumplir pues cuentan con muy pocos animales o no los tienen	La unión de dos familias, reuniría los animales suficientes para producir los desechos necesarios.
La inversión necesaria será directa por familia. No sería posible entonces la suma de recursos por varias familias para reducir el costo directo por familia.	La suma de recursos aminoraría el costo haciendo económicamente posible la propuesta.
Se requiere espacio disponible, así como tiempo para atender diariamente el sistema	Siendo más los integrantes involucrados sería mayor la disponibilidad de tiempo para dedicar a la atención y cuidado del sistema.

2. Un Biodigestor de gran tamaño o varios Biodigestores interconectados a la vez para los comedores Estudiantiles ubicados en las escuelas primarias y la comisaría municipal: a su vez podría implementarse un comedor comunitario y/o una tortillería lo cual beneficiaría a mayor número de personas.

Biodigestor Comunitario	
Requerimientos	Solución
Debido a que en las escuelas y comisaría no se tienen animales, sería necesario trasladar los desechos hasta el lugar de tratamiento.	Al implementar la tortillería o comedor comunitario se tendría mayor participación por parte de la población; pues los beneficios serían directos.
La organización para el suministro de desechos necesarios, así como el cuidado del sistema serán de gran importancia.	Considerando los beneficios tangibles sería más sencilla la participación comunal.
El espacio necesario para la implementación del sistema sería mayor, debido a que la demanda aumentaría.	Los espacios sin un uso en los centros comunales serían aprovechados además de generar los beneficios ya expuestos

Tomando en cuenta todos los datos anteriores también se puede considerar la opción por parte de la SAGARPA, la cual tiene un programa de apoyo a proyectos comunitarios beneficiando con el 50% del presupuesto total; siempre y cuando se tenga un proyecto bien estructurado, así como contar con integrantes interesados en el mismo (opción que ya se analiza en la comunidad buscando reducir la inversión inicial).

Para iniciar con la implementación del sistema se propone la instalación de dos a tres Biodigestores en la modalidad por cada dos familias; esto con la finalidad de conocer más a fondo el funcionamiento del sistema en la comunidad y detectar posibles variantes o fallas teniendo a su vez la posibilidad de solucionarlas; mejorando con esto la eficiencia del sistema; dicho en otras palabras es recomendable iniciar con la instalación de un pequeño número de Biodigestores que permita tener un camino andado de conocimientos y recomendaciones que serán útiles cuando se haga instalación en serie o se tenga una mayor cantidad de Biodigestores instalados en la comunidad.

Considerando que esta propuesta no es exclusiva de la comunidad Jaleaca de Catalán; posterior a su implementación en ella podrá llevarse a comunidades vecinas; esto con acervo de experiencias prácticas que facilitarán su desarrollo en demás sitios; promoviendo con ello la mejora de las condiciones ambientales de toda la zona.

Si bien esta no es una tarea sencilla, es una propuesta sustentable y con un costo beneficio considerable por el cual se debe reconocer que aunque los requerimientos para su implementación serán muchos y variados; éstos tendrán a final de cuentas beneficios tanto ambientales como económicos.

Uso de Bioenergías Actualmente contraste Mundial.

Es claro que el siglo XX permitió desarrollar el desarrollo tecnológico. Muchas cosas quizás las más básicas como la electricidad o el transporte motorizado, no habrían sido posibles sin los combustibles fósiles; por ellos, un punto de vista conciliador en la visión del hombre sobre el planeta sería que se han tomado prestadas estas energías para acelerar el desarrollo, por que contrariamente a lo que se cree, las energías renovables, y por ello tradicionales, requieren de una implementación ardua y por lo tanto de tecnología más avanzada que las energías convencionales.

La oferta energética del Sol es variable, con la latitud, con la estación, con el día y la noche. Lo mismo pasa con el viento, la biomasa y todas las demás. Se debe

aprender a trabajarlas y almacenarlas, como en su momento se hizo con el petróleo, ya que la demanda no coincide con la oferta que directamente o indirectamente nos hacen las bioenergías. Se tiene que aprender a integrarlas, a hacer sistemas económicos y ubicuos, se debe mejorar su eficacia. Ello requiere mucha investigación, toda aquella que en el siglo XX no se ha hecho, y una fabricación masiva que las convierta económicamente alcanzable para todo el mundo. Cuanto más tarde se den estas condiciones, más difícil será gestionar los peligros medioambientales y sociales a los que el mundo se enfrenta en este siglo. Las guerras por los recursos escasos o las catástrofes medioambientales son ya comunes en este siglo. Aunque parezca poco evidente hoy, invertir masivamente en energías renovables es la mejor manera de invertir en la paz y en un futuro sostenible de la humanidad a largo plazo. (Valero, 2010).

“Debemos reconocer que en medio de la magnífica diversidad de culturas y formas de vida, somos una sola familia humana y una sola comunidad terrestre con un destino común. Debemos unirnos para crear una sociedad global sostenible fundada en el respeto hacia la naturaleza, los derechos humanos universales, la justicia económica y una cultura de paz. En torno a este fin, es imperativo que nosotros, los pueblos de la Tierra, declaremos nuestra responsabilidad unos hacia otros, hacia la gran comunidad de la vida y hacia las generaciones futuras”

La Carta de la Tierra, Río de Janeiro, 1992.

Porque y después de todo, esto son solo ideas y la realidad es tan fulminante que las mata antes de que vean la luz; pero impresas en papel, escuchadas por más de uno son latidos que comienzan a dar vida a nuevas realidades a un futuro menos incierto y una realidad sustentable.

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones



248

Fuente: taringa.net, El Futuro de la Tierra depende de Nosotros.

Conclusiones

Es del dominio mundial que actualmente no se goza de un equilibrio ambiental, y que de igual manera el calentamiento global hace estragos en los climas y ecosistemas viéndose en las afectaciones y alteraciones en los sistemas naturales; reflejándose en huracanes más agresivos, climas cambiantes, reducción en la calidad del agua así como del aire en respuesta a la contaminación solo por mencionar algunos (Capítulo III).

Es imperativo por todo lo anterior aunado a todos los problemas que aquejan a la población día con día, el encontrar una solución que cambie el actuar cotidiano dando como resultado una cultura de preservación del ambiente.

Las energías renovables son una clara respuesta a muchas de las agravantes que se viven en la actualidad, sin embargo a pesar de ser evidente su utilidad y beneficio; su implementación aún es escasa para el panorama que se vive. Siendo con esto necesaria la exigencia de su implementación por parte de la sociedad y con ello una participación más colaborativa; la cual no se podrá tener si se vive en el desconocimiento y el desinterés sobre el tema.

Siendo necesario antes que nada el crear un interés en el tema; y posteriormente ahondar en el conocimiento del mismo, dicho de otra manera, para encontrar la cura a este mal será primordial conocer a fondo los motivos que lo desencadenan, los problemas que conlleva y posterior a ellos empaparse de las posibles soluciones. Considerando esto, se entiende que se debe ir al meollo del asunto; tomando en cuenta que las comunidades rurales son las principales proveedoras de recursos naturales y materias primas; surge entonces la idea de partir desde ahí.

Ahora ¿cómo saber que opción es la más adecuada, viable u oportuna a elegir?, poniendo sobre la mesa que hay más de una alternativa posible; es entonces cuando se da a la tarea de analizar las principales y más adecuadas alternativas de acuerdo a los detalles característicos de la problemática en cuestión (Capítulo IV). Llegándose así a la conclusión de que el uso de la Biomasa como energía es una alternativa viable, práctica y sustentable

Pero no tan a prisa pues la Biomasa contiene aún una gran cantidad de posibilidades; y están entre ellas el uso de alimentos comestibles como el maíz o la caña de azúcar (los cuales no sería prudente utilizar pues se buscaría solucionar un problema generando otro en su lugar), a su vez está el uso de desechos orgánicos de

plantas como bagazo y hojas de árboles y también está el estiércol, desecho que al no tratarse es un contaminante más; por lo cual es casi obvia la opción a tomar pues sería ilógico utilizar productos comestibles necesarios en lugar de desechos que a su vez son contaminantes.

Es por todo lo anterior que se sugiere el uso de Biodigestores siendo éstos una solución completa que envuelve a la gran mayoría de agravantes (contaminación de agua y aire por desechos tanto humanos como animales, quema y talas inmoderadas de bosques que conllevan a más problemas expuestos anteriormente) generando a su vez beneficios directos (biogás, biofertilizante y procesamiento de desechos contaminantes) los cuales propician la disminución de las afectaciones ambientales.

Fueron estas las consideraciones de la presente investigación; la cual tiene como se mencionó en un inicio, su fundamento en la ley de la energía la cual versa “la energía no se crea ni se destruye solo se transforma” (Capítulo I) siendo los Biodigestores un claro ejemplo práctico de esta ley; haciendo un pequeño análisis se puede notar cómo al procesar desechos contaminantes, se produce energía y se logra generar fertilizante, poniéndose así en práctica esta fundamental ley.

Sería entonces interesante volver a valorar las leyes que rigen el mundo, contrastando la realidad actual con los motivos por los cuales fueron propuestas; y valorar así, si los beneficios que se obtienen actualmente con los avances tecnológicos valen el costo que se está y estará pagando en los años posteriores; se está a tiempo aún de redirigir los caminos ya tomados y vislumbrar en ellos a dónde se quiere llegar, considerando entonces que son los rumbos actuales los que están conduciendo a la humanidad a su propio suicidio.

Las alternativas siguen siendo bastas así como las posibilidades de que éstas funcionen o no; pero el éxito o fracaso dependerá del empeño que se dedique al análisis, implementación e inversión que se aplique a la alternativa seleccionada.

En cuanto a la valoración de la factibilidad de Biodigestores en la Comunidad de Jaleaca de Catalán se pueden considerar los siguientes aspectos; unos de los más importantes:

Los desechos orgánicos pasarían de ser un problema, convirtiéndose en una oportunidad de generar productos consumibles como el biogás y biofertilizante con el beneficio de reducir la contaminación por este tipo de desechos; lo cual representaría un beneficio tanto económico (al reducir gastos en insumos por combustible y

fertilizante) y ambiental (reduciendo la contaminación al igual que la tala para el uso de leña).

La problemática social generada por diferencias y descontentos podría verse mitigada; al tener opciones de trabajar en conjunto por un fin común; considerando que se tendrían beneficios tangibles tanto ambientales, y económicos principalmente. Como beneficio o apoyo a la propuesta; en la comunidad se ha conformado una asociación civil encabezada por distintos profesionistas, los cuales si bien no son del área de Ingeniería Civil están en pro de la incorporación de nuevos proyectos; haciéndose cargo de la concientización y busca de financiamiento para su implementación.

Considerando lo anterior sería práctico involucrar el apoyo de una organización civil al igual que de dependencias como la SAGARPA, que cuenta con financiamientos de hasta el 50% del total del presupuesto para proyectos en comunidades rurales; con lo cual al involucrar una institución gubernamental así como una asociación civil, se tendría mayor impacto tanto político como social. Políticamente podría verse aligerado el camino en cuanto a trámites burocráticos e incluso encontrar apoyo de terceros mediante la difusión.

El reto técnico está latente pues a pesar de lo expuesto a lo largo de este trabajo, el poder de ejecutar un obra reduciendo el impacto ambiental no siempre está bien aceptado y en ocasiones es considerado un costo innecesario, por ellos las habilidades de concientización, persuasión y capacitación se ponen a prueba en este tipo de proyectos sumándose a las habilidades básicas de observación, análisis y resolución de problemáticas. Para las cuales es bueno replantear la ideología partiendo del hecho de no ser sólo solucionadores de problemas sino en la medida de lo posible previsores de conflictos mayores.

La propuesta de esta temática para el área de Ingeniería Civil es básicamente porque el área está capacitada en los distintos terrenos (Planeación, Hidráulica, Medio Ambiente, Construcción), que conlleva una problemática de este tipo; que al momento de elaborar un proyecto ejecutivo serán las que permitan que éste se realice en forma, con las consideraciones de previsión y proyección a futuro para que sea factible y sustentable buscando evitar una inversión infructuosa.

Recomendaciones

Sabiendo que los Biodigestores son una alternativa ecológica prácticamente nueva en su implementación; es evidente que se tiene mucho por estudiar y aprender sobre el tema lo cual únicamente con la puesta en práctica se llevara a cabo, siendo entonces de utilidad exponer algunas recomendaciones para tener una mejor experiencia al implementar esta tecnología:

- ✿ Inicialmente para implementar esta tecnología se sugiere realizar un proyecto en el cual estén involucrados expertos técnicos e ingenieros los cuales pueden aportar conocimientos básicos en la elaboración de un proyecto.
- ✿ Hacer un estudio lo más completo posible; del lugar donde se llevará cabo la propuesta, esto para conocer a fondo las características con que se cuenta a favor y en contra.
- ✿ En base a los factores sociales, políticos y económicos obtenidos en el estudio; proponer más de una alternativa solución; esto considerando las disyuntivas que impliquen los distintos factores involucrados.
- ✿ El presupuesto será un factor determinante en el tipo de tecnología a implementar; pues éstos estarán relacionados directamente, es por esto que se deberá buscar la gran mayoría de posibilidades en cuanto a inversión y financiamiento, viendo por supuesto el resguardo de las mismas (considerando el uso de una garantía para resguardar los recursos invertidos). En cuanto a financiamiento se sugiere tomar la alternativa que ofrece la SAGARPA para el apoyo de proyectos, de igual forma se pueden implementar recursos de otras dependencias.
- ✿ Al momento de instalar los Biodigestores se recomienda hacer una instalación prototipo de uno o dos sistemas los cuales darán la pauta en cuanto a funcionamiento y posibles fallas o errores que se podrán ir perfeccionando a medida de adaptarlo a las condiciones ofrecidas en el lugar de instalación; propiciando con esto su eficiencia. Esto confirmara las omisiones de ciertos factores en el proyecto permitiendo reconsiderarlas.
- ✿ Considerando que en la Comunidad de Estudio en el presente trabajo, no se han implementado este tipo de proyectos; la recomendación anterior será de gran importancia; pudiéndose considerar como parte del anteproyecto o parte del estudio que permitiría tener un proyecto ejecutivo más certero.

- ✿ En el uso de Biodigestores está fundamentado en leyes muy básicas así como condiciones muy específicas (anaerobias); por tal motivo se deberá poner especial cuidado en los desechos que se seleccionen para realizar las cargas, como por ejemplo tomar en cuenta que el proceso se lleva a cabo por bacterias anaerobias se deberá procurar no introducir algún tipo de medicamentos o antibióticos que inhiban el crecimiento y a su vez actividad bacteriana. Para lo cual también es recomendable la consulta a un técnico o ingeniero.

- ✿ La presente investigación sugiere un rumbo a seguir pero no escatima el uso de literatura, ideas y experiencias que se agreguen con la consulta de terceros; siempre y cuando estos tengan un fundamento a la vez que sean útiles a su vez que en la medida de lo posible hayan sido llevados a la práctica.

- ✿ Finalmente se sugiere llevar un registro de datos (Bitácora) los cuales serán de utilidad para dar resolución a los problemas que vayan surgiendo en la operación del sistema; poniendo tener así en cuenta que es lo que se ha para solucionar ciertos problemas o cuáles son las alternativas que faltan por implementar.

Referencias

Adame Romero, Aurora, Salín, Daniel A. (1997). Contaminación Ambiental México, Trillas 65 páginas.

Alba Andrade, F. (1997). Introducción a los Energéticos: pasado, presente y futuro. México: El Colegio Nacional.

Alonso, R. (1996). Factibilidad técnico económica del uso del biogás obtenido de la digestión anaerobia de estiércol porcino para la generación de electricidad.

Aguirre, Alberto. (1998). Conceptos Básicos para la aplicación del caudal ecológico. Segundo Congreso Ibérico sobre Planificación y Gestión de Aguas.

Arriaga, L., Espinoza, C. Cabrera, J.M., Martínez, L. Gómez y E. Loa. (2000). Regiones Terrestres Prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México 609 páginas.

Ávila Orive, José. (1998). El suelo como elemento ambiental: perspectiva territorial y urbanística. Bilbao: Universidad de Deusto. 325 páginas.

Ayensa, J. M, Molledo, J. (1991). Física y Química un Aprendizaje cooperativo: un proyecto para la educación. Zaragoza, España: Mira. 646 páginas.

Aylward, B., Burgess, J.C., Barbier, E.B. (1998). The Economics of the Tropical Timber Trade. London: Earsthscan.

Balairón Pérez, L. (2000). Gestión de Recursos Hídricos. Ediciones UPC, Barcelona. 488 páginas.

Barbier, Andreas, S., Aylard, Martínez B., De Quirós, F. (1996). Como identificar y clasificar fácilmente todas las especies europeas. León, España: Everest. 61 páginas.

Barros Arana, D. (2004). El monedero de los Andes: Región Económica y Moneda Boliviana. Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora; México. 112 páginas.

Baskin, Jonathan. (1997). A History or corporate finance. New York: Cambrigde University Press. 350 páginas.

Bazán, G. (1988). Transporte y Energía: Consumo de Energía en el Sector Transporte. Fondo de Cultura Económica CONACYT, México 132 páginas.

Becerril Aguilar, G. (1999). Concentrado de equivalencias y formulas de física. Chapingo, Estado de México: Universidad Autónoma de Chapingo. 71 páginas.

Brown, L., Russell, Tatiana, M. (2011). El mundo al borde del abismo: como evitar el declive ecológico y el colapso de la economía. Bogotá, D.C: ECOE Ediciones: CEID. 268 páginas.

Brown L, Theodore, Lemay, Bursten, Murphy, E. (2004). Química: la ciencia central. Universitarios. México Pearson Educación. 1046 páginas.

Bu'lock, J y Kristiansen, B. (1987). Biotecnología básica. Editorial Acribia, S.A., España.

Burns Ralph, A. (2011). Fundamentos de Química. Pearson Education, México 739 páginas.

Carabias, J., Landa, R., Collado, J., Martínez, P., Tudela, F. (2005). Agua, Medio Ambiente y Sociedad: Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en México. UNAM: El colegio de México: Fundación Gonzalo Rio Arronte, México 221 páginas.

Carson, R. (1962). Silent Spring (Primavera Silenciosa). Barcelona: Critica, c2001. 255 páginas

CFE, Comisión Federal de Electricidad. (1992). Asamblea General Ordinaria que se Celebra el 17 de Junio de 1992 en el Museo Tecnológico. México: Cámara Minería. 119 páginas.

CFE, Comisión Federal de Electricidad. (2001). Calidad y Cambio organizacional: ambigüedad, fragmentación e Identidad. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. 459 páginas.

Challenger, Antony. (1998). Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México pasado, presente, futuro, Conabio, México. Instituto de Biología. Agrupación Sierra Madre S.C.

Chávez Hernández, A. (1998). La nueva relación entre el legislativo y ejecutivo: la política económica. México: El Colegio de México: Instituto de investigaciones Legislativas de la Cámara de Diputados: Instituto Politécnico Nacional: Fondo de Cultura Económica. 485 páginas.

Cervantes Francisco J., Saldivar Cabrales Jorge, Yescas José Francisco. (2007). Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. Estrategias para el Aprovechamiento de Desechos Porcinos.

Chynoweth, P e Isaacson, R. (1987). Anaerobic Digestion of Biomass Elsevier Applied Science. New York, EE.UU.

Cline Howar, F. (1992). Los elegidos de Dios: Etnografía de los Mayas de Quintana Roo. México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes: Instituto Nacional Indigenista. 571 páginas.

CNA, Comisión Nacional del Agua. (1996). Programa estatal hidráulico 1995-2000. Comisión Nacional del Agua. Gerencia Estatal Tlaxcala, México.

CNA, Comisión Nacional del Agua. (1997). Los Consejos de Cuenca en México, Definiciones y Alcances, Comisión Nacional del Agua. México.

CNA, Comisión Nacional del Agua. (1999). Compendio Básico del Agua en México. Comisión Nacional del Agua. México.

CNA, Comisión Nacional del Agua. (2001). Programa Nacional Hidráulico 2001-2006 Comisión Nacional del Agua, México D.F

CNA, Comisión Nacional del Agua. (2004). Estadísticas del Agua en México, Comisión Nacional del Agua, México.

CONAGUA, (2011). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Disponible en www.conagua.gob.mx/CONAGUA07. Diciembre.

Constant, M. (1989). Biogas end-use in the Europe community. Elsevier Science Publishers, New York.

Cowie, J. M. (2007). Polymers: chemistry and physics of modern materials. London: Blackie Academic & Professional. 436 páginas.

Curds, M., Cockburn, A. (1971). La suerte de la Selva: colonizadores, destructores y defensores del Amazonas. Santafé de Bogotá, Colombia: Tercer Mundo: Ediciones Uniandes. 323 páginas.

Curtis, H. (2000). Biología. Médica Panamericana; Buenos Aires Argentina 1496 páginas

Deléage, J., Souchon, C. (1996). La Energía como tema Interdisciplinar en la Educación Ambiental. Los Libros de la Catarata: Departamento de Ciencias Ambientales, Educación técnica y Medioambiental, Bilbao, España 125 páginas.

Dickson, Thomas R. (2005). Química: Enfoque Ecológico Limusa, México 406 páginas.

Dingrando, L., Gregg, A., Baron, C. (2005). Chemistry, matter and change. México: McGraw-Hill. 286 páginas.

DOF, Diario Oficial de la Federación. (2004). México: Publicación del 29 de Abril.

DOF, Diario Oficial de la Federación. (2014). Programa Nacional Forestal 2014-2018. México 28 de Abril 2014, 60 páginas.

Domínguez, José A. (2004). Energías Alternativas. Madrid: Equipo Sirius. 121 páginas.

Douglas, M., Canell, M., Robertson, P. (1992). The ecology of mixed stands of trees. Oxford: Blackwell Scientific. 312 páginas.

Earth. (2003). Biodigestores de bajo costo para la producción de combustibles y fertilizantes a partir de excretas. Publicación de la Fundación Earth, Ecuador.

El Financiero, (1998). Periódico El Financiero publicación de el 27 de Mayo.

Energía Hoy, (2007). Revista de divulgación e información sobre el sector energético en México. Año 2007, Año No. 11, Numero 113.

Enger Eldon, D., Smith, A. (2006). Ciencia Ambiental: un estudio de Interrelaciones. México: McGraw-Hill Interamericana. 476 páginas.

Energy Watch Group, Zittel, W., Schindler, J. (2007). The energy Watch Group consists of independent scientists and experts who investigate sustainable concepts for global energy supply. Ottobrunn, 28th March. 47 páginas.

Evenson, R. (1990). Crop variety improvement and its effect of productivity: the impact of international agricultural research. Wallingford, Oxon; Cambrigde. 522 páginas.

Exxon Mobil, Sliva, T. (2005). Corporate Citizenship Report. Irving, Texas. Annual Report. 72 páginas.

FAO, Materiales y métodos para el montaje de un biodigestor de flujo continuo. (2001). Publicación de la Organización de las Naciones Unidas para la Salud y la Alimentación. Ecuador.

Félix, A. (1979). Estudios, adaptación y pruebas de equipos comerciales para la utilización de biogás. Publicación del Instituto de Investigaciones Eléctricas (I.I.E). Cuernavaca Móreles, México.

Fernández Salgado, J.M. (2010). Guía Completa de la Energía Solar. AMV Edificaciones, Madrid.

Ferrari, B., Estrada, M. (2012). Reflexiones sobre la política comercial internacional de México 2006-2012. México: ITAM: Secretaria de Economía. 478 páginas.

Flannery, T. La amenaza del Cambio Climático: historia y futuro. México: Taurus: Santillana. 393 páginas (2006).

Flores Valdés, J. (2011). Panorama Energético de México. Secretaria Ejecutiva del Consejo Consultivo de Ciencias. 423 páginas.

Fregoso, M de J, Ferrera-Cerrato, Etchevers J, Alcantar G, Trinidad J, Borges L, Pereyda G. (2001). Producción de Biofertilizantes mediante biodigestion de excreta liquida de cerdo.

Forsius, J. (1993). Capítulo II. Libro V.C Centro del Tercer Milenio para el Manejo del Agua

Fundación Friedrich Ebert, Dauderstäd, M. (1995). Política comercial: sus límites ante los desafíos sociales y ecologicos globales. Buenos Aires: Fundación Friedrich Ebert.

González, C. (1998). Educación Ambiental, Valle de Cuatrociénegas. México: Protección de la fauna mexicana: Secretaria de Educación Pública de Coahuila.

Goodland, R. (1996). Environmentally sustainable economic development: building on brundtland. Santafé de Bogotá, Colombia: Uniandes: Tercer Mundo.

Gore, A. (2006). An inconvenient truth: the planetary emergency of global warming and what we can do about it. New York: Rodale.

Gordoa Bonilla, H., Sedano Flores, P. (2004). Agua en el Valle de México Presente y Futuro. Comisión Nacional del Agua.

Guerrero Legarreta, M. (2001). El Agua. México: Fondo de Cultura Económica: CONACYT. 118 páginas.

Guillen Solís, O. (2004). Energías Renovables: una perspectiva ingenieril. México Trillas. 128 páginas.

Hein, Morris, Arena, Susan. (2005). Fundamentos de Química. México: International Thomson. 560 páginas.

Hernández Millán, A. (1999). El cuidado del medio ambiental: análisis, reseñas, propuestas, crónicas, tesis, concepciones y paradigmas. Toluca, Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México. 138 páginas.

Hicks Gómez, Juan José. (2007). Bioquímica. México: McGraw-Hill Interamericana. 887 páginas.

Hill, John William, Kolb, Doris K. (1999). Química para el Nuevo Milenio. México: Prentice Hall Hispanoamericana. 651 páginas.

Hilbert, J. (2004). Manual de Producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural INTA Castelar.

Hubbert, M King. (1956). Energy from Fossil Fuels, Centennial, American Association Advancement Science.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (1998). SIMBAD en www.inegi.org.mx.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (1998a). Estadísticas del Medio Ambiente - México 1997. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, México.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2000). Indicadores de desarrollo sustentable en México, INEGI, SEMARNAP, Aguascalientes, México.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2007). Conjunto de datos vectoriales de la carta e uso de suelo y vegetación, serie IV (continuo nacional). Aguascalientes, México.

INEGI. (2013). Banco de Información Económica - Producto Interno Bruto trimestral 2008 a precios de 2008, consultado en www.inegi.org.mx/sistemas/bie.

IPCC, Climate change and Biodeversity, In H Gitavy, A. Suarez, R.T Watson, D.J. Dokken, eds. (2000). IPCC Technical Paper V, 76. Inter-Govermental Panel on Climate Change, WMO and UNEP.

IPCC, (2007). Climate Change: synthesis report. Inter-Govermental Panel on Climate Change.

Keenan, Charles William. (1992). Química General Universitaria. General college chemistry. 937 páginas.

Korenfeld Federman, D., Videgaray Caso, L., Benítez Treviño, H. (2009). Cultura del Agua Hacia un uso Eficiente del Recurso Vital. Colección Mayor, Estado de México: Patrimonio de un Pueblo. Consejo Editorial de la Administración Estatal, 511 páginas.

Landell-Mills, Natasha, Porras, J. (2002). La venta de servicios ambientales forestales: mecanismos basados en el mercado para la conservación y desarrollo. Coedición con SEMARNAP: Comisión Nacional Forestal. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología, 459 páginas.

Lippke, B., Bishop, J. Maintaining. (1999). Biodiversity in Forest Ecosystems. Edited by Malcolm L. Hunter. Printed in United Kingdom at the University Press, Cambridge. 716 páginas.

López, Alfredo. (2009). La desnacionalización de PEMEX. México: Orfila Valentini. 245 páginas.

Manual de Biol, Manual para manejo de Biofertilizante (Biol). (2015). Sistemas Biobolsa México D.F. Disponible en www.sistemabiobolsa.com (consultado en Mayo 2015), 24 páginas.

Manual Instalación Biobolsa, Manual Técnico de Instalación. (2015). Sistemas Biobolsa México D.F. Disponible en: sistemabiobolsa.com/wp-content/uploads, consultado en Abril 2015. 36 páginas.

Mandujano, M. (1981). Biogás: Energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos. Manual para el promotor de la tecnología. Organización latinoamericana de Energía. Cuernavaca Morelos, México.

Marcen, Carmelo., Romano, Dolores, Olza, Josefina. (2003). El Agua recurso limitado: sequia, desertificación y otros problemas. Coordinación Fundación Ecológica y Desarrollo. Madrid: Biblioteca Nueva, 196 páginas.

Masterton, William Lewis. (1979). Química General Superior. México: Interamericana, 760 páginas.

Mathews, K. E. Van Holde, Kevin G Ahern. Bioquímica. (2009). Madrid; México: Pearson Education: Addison Wesley, 1335 páginas.



Mellor, Joseph William. (1955). Química Inorgánica Moderna. Buenos Aires: "El Ateneo", 955 páginas.

Menéndez, E. (2001). Energías Renovables. Sustentabilidad y Creación de Empleo. Editorial Los Libros de la Catarata, Madrid España. 270 páginas.

Mentado, P. (2008). Excretas animales, explosivo crecimiento. Revista Energía Hoy. México.

Metcalf & Eddy, Inc. (2004). Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse. New York; Mexico: McGraw-Hill 4th Edition, 1334 páginas.

Morillón G. David, Rosas F Jorge. (2006). Saturation, Energy consumption, CO² emission and energy efficiency from urban and rural households appliances in Mexico, Energy and Buildings, Vol 43.

Nebel, Bernard J., Wright, Richard T. (1999). Ciencias Ambientales: Ecología y Desarrollo Sostenible, Sexta Edición. México: Prentice Hall, 689 páginas.

Niskanen, A. (1998). Value of external environmental impacts of reforestation, Ecological Economics, Vol. 26, 297 páginas

Newsweek, Artículos de la Revista (2007). "Environment: Easy to be Green", "Environment: Bears on Thin Ice". New York, N.Y published by Newsweek, January.

Ohanian, Hans C., Markert, Jhon T. (2009). Física para ingeniería y ciencias. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.

OPS, Organización Panamericana para la Salud. (1994). Centro Estratégico de Publicaciones de la OPS, Oficina Regional del OPS en América Latina.

Pachauri Kumar, R. (2009). El Mundo ante el calentamiento global: la situación del Mundo 2009. Barcelona: Icaria, 407 páginas.

Partington, James Ridick. (1952). Tratado de Química Inorgánica. México Porrúa, 929 páginas.

Perales Benito, Tomas. (2006). Guía del Instalador de energías renovables: energía fotovoltaica, energía térmica, energía eólica, climatización. México D.F.: Limusa, 254 páginas.

Pearce, D. W., D. Morán y W. Krug. (1999). The Global Value of Biological Diversity, A Report to the United Nations Environment Program. London: CSERGE.

Pearce, D. Puroshothaman, S. (1992). Protecting Biological Diversity: The Economic Value of Pharmaceutical Plants. Global Environmental Change. London: CSERGE, UEA and UCL.

Pérez Vázquez, Arturo., García Pérez, Eliseo. (2013). Energía Alternativa y Biocombustibles: Innovación e investigación para un desarrollo sustentable. Estado de México: Colegio de Postgraduados, México, 208 páginas.

Perló Cohen, Manuel. (2001). El Futuro del Agua en México. México: Banobras: Tama y lee, 143 páginas.

Phillips S. John, Stozak S. Victor, Wistrom Cheryl. (2000). Química: conceptos y aplicaciones. México: McGraw-Hill, 857 páginas.

Pointon, K & Langan, M. (2002). Distributed power generation using Biogas fuelled microturbines. Report, Advantica Technologies Ltd, disponible en www.berr.gov.uk/files/file14934.pdf.

Rzedowsky, J. (1986). Vegetación de México. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN, México: Limusa, 975 páginas.

SEMARNAP, Secretaria de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. (1995). Programa de Áreas Naturales Protegidas de México 1995-2000.

SEMARNAP, Secretaria de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. (1996). Programa para el Desarrollo Forestal, México.

SEMARNAP, Secretaria de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. (1997). Defensa de la Frontera Silvícola y lucha contra la desertificación. México.

SEMARNAP, Secretaria de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. (1998). Información estadística de incendios forestales por entidad federativa, informe al 31 de Diciembre

SEMARNAT, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). El ambiente en números. Selección de estadísticas ambientales para consulta rápida. México.

SENER, Secretaria de Energía (2010). Capacidad efectiva de generación 2009 y Capacidad bruta de energía eléctrica 1999-2009. Consultado en www.sener.gob.mx/webSener/res. 15 de Octubre.

Serway, Raymond A. & Faughn, Jerry S. (2005). Fundamentos de Física: Volumen 2. México: Thompson, 429 páginas.

Smil, Vaclav. (1999). Energías: una guía ilustrada de la biosfera y la civilización. Barcelona: Critica, 409 páginas.

Sosa Reyes, Ana María. (2011). Química 1. México: Pearson Education, 117 páginas.

Southgate, Douglas DeWitt. (1998). Tropical forest conservation: an economic assesment of the alternatives in Latin America. New York: Oxford University Press, 175 páginas.

Tagüeña J. Martínez M. (2009). Fuentes Renovables de Energía y Desarrollo Sustentable SEP/ADN Editores 110 paginas.

Tripler, Paul & Mosca, Gene. (2005). Física para la ciencia y tecnología. Barcelona: Reverté, 5ª Edición, 6 volúmenes.

Toledo de la Garza, Enrique. (1998). La Privatización en México: consecuencias sociales y laborales. México: Instituto de Estudios de la Revolución Democrática, 319 páginas.

Valero, Antonio. (2010). Director de CIRCE (Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos) Energía de la Biomasa Vol. I. Zaragoza España: Prensas Universitarias de Zaragoza.

Viqueira, Jacinto & Castillo, Heberto. (1980). Los energéticos, el Petróleo y ¿Nuestro Futuro? México: Representaciones y Servicios de Ingeniería, 156 páginas.

Zumdahl, Steven S. (2007). Química. México D.F.: Patria, 770 páginas.

Agradecimientos

Por inicio de cuentas a la vida que me dio la oportunidad de existir, por la cual he llegado hasta este punto y seguiré hasta que no allá mas por que vivir.

Anayanky por ser la mejor hermana mayor de quien aprendí más de lo que pedí y tuve más de lo que necesite; si a alguien puedo agradecer mi tenacidad es a ti quien encamino toda mi esencia; deseo podamos seguir escribiendo una mejor versión cada día de nuestra historia.

Aouda, Izair por formar parte de mi mundo y darle ese plus a nuestra convivencia, creando ese lado opuesto que complementa y crea la perfección.

Abuelos Teno y Rufi por permitir reconocerlos y contar una historia desde otro punto; viviendola, ha sido como reinventar la convivencia entre nosotros sin edad.

Abuelo Audon, por forjar en mi tantas experiencias sin siquiera vivirlas, por alimentar en mi las aspiraciones de crecer y salir de mi zona de confort para luchar por mis ideales y buscar cristalizar mis metas en la vida, te estaré por siempre agradecido.

Papa por tu manera y forma de ver así como de hacer las cosas me han enseñado lo que en verdad vale en esta vida, por lo que quiero seguir sin detenerme hasta el final.

Mama gracias por parecer esa estrella inalcanzable, esa meta que por mas intentos no se logra alcanzar; tus primeras enseñanzas me permitieron creer en mí y saber que lo voy a lograr tal vez no pronto ni como lo desee pero será y tal vez te sorprenda.

Verónica, Gustavo, Rubén amigos de carrera con quien compartí el gran empeño y tenacidad por estar en esta carrera, la cual disfrutamos a tope y aun sigue siendo un gran motivo de reunir pertenecer a la Ingeniería Civil.

Aurora, Yare, Tania Hugo, Cristian, Rosa el tiempo compartido siempre ha tenido un buen motivo y las charlas interminables; seguirán existiendo.

Tom amigo desde hace siglos, tal vez más, puedo decir que eres un hermano; todo lo compartido siempre será un motivo para seguir riendo y disfrutando grandes momentos, esto apenas inicia.

Al profesor Francisco Serrano, de quien guardo el recuerdo vivido de aquel momento en que me explico las leyes de la materia y energía, su forma de transmitir me dejo fascinado por el tema.

Biblioteca Vasconcelos y a todo su personal; preciso lugar que conocí en el momento indicado encontrando en el todo lo que necesitaba, en el momento que lo necesitaba.

Biblioteca Central en conjunto con la gran Familia UNAM, que fueron mi acobijo a mi llegada en busca de nuevos inicios y nuevos logros que deseo hoy ver concretados. Por siempre UNAM

Administrativos y Servicios Escolares FES Aragón porque entre su manera de ver el mundo y hacer vivir la burocracia nos alargan el camino pero nos hacen más tenaces.

Maestra Marjorie por su tiempo y sus consejos que de algo han servido, puede estar segura.

A los Maestros de la Carrera de Ingeniería Civil, por sus enseñanzas pero por sobre todo por sus consejos y experiencias, todas y cada una serán siempre apreciadas.

A los Maestros que forman el sínodo de este trabajo su tiempo y sus últimas recomendaciones serán bien valorados para llevar esta idea a la práctica.

A ti porque aun cuando el mundo deje de girar, seguiré respirando más vivo que nunca en espera muy latente pues lo que de ti obtuve me ha servido para sobrevivir ante la austeridad por eso esperare ese momento en el que tus ojos me vuelvan a iluminarme, lo demás esta vez no se lo dejare al destino.

A todas las personas que directa pero sobre todo indirectamente colaboraron con en el logro de este trabajo.

¡Afectuosamente Gracias!

Seas quien seas y estés donde estés, espero reencontrarte y mientras tanto que seas feliz...