



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y
AMBIENTAL PARA IMPLEMENTAR
TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES EN UNA CASA
URBANA DEL DISTRITO FEDERAL**

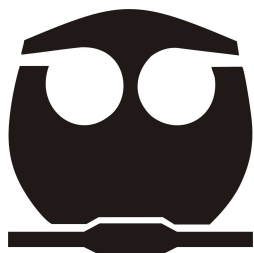
TESIS

PRESENTA

JAIME ENRIQUE PADILLA DE DIOS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO



MÉXICO, D.F.

2011



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 DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
RESUMEN.....	9
CAPÍTULO 1.....	10
1.1 Introducción.....	10
1.2 Objetivos.....	11
1.3 Hipótesis.....	11
CAPÍTULO 2 Fundamentación.....	12
2.1 Problemática Global.....	12
2.2 Tecnología energética eficiente y fuentes renovables de energía.....	12
2.2.1 Algunas desventajas e inconvenientes de la energía renovable.....	17
2.2.1.1 Energías ecológicas.....	17
2.2.1.2 Naturaleza difusa.....	18
2.2.1.3 Irregularidad.....	18
2.2.2 Las fuentes de energía renovables en la actualidad y a futuro.....	19
2.2.2.1 Sector doméstico.....	21
2.2.2.2 Sector industrial.....	21
2.2.2.3 Sector transporte.....	22
2.3 Conveniencia de la aplicación de tecnologías sostenibles.....	22
2.3.1 Algunas definiciones y conceptos de sostenibilidad.....	22
2.3.2 Algunos beneficios de la implementación de tecnologías sostenibles..	24
2.3.3 Principales condiciones ecológicas para la sostenibilidad.....	25
2.3.4 Casas sostenibles.....	26
2.4 Manejo sostenible en agua.....	29
2.4.1 Situación actual del agua, necesidad de su uso sostenible.....	29
2.4.2 Tecnologías para el ahorro y reciclaje de agua en casas sostenibles..	31
2.4.2.1 Sistema de captación de agua de lluvia.....	32
2.4.2.1.1 Captación de agua de lluvia.....	34
2.4.2.1.2 Tratamiento del agua de lluvia.....	37
2.4.2.2 Sistemas de disminución de consumo de agua.....	40
2.4.3 Comparación de consumo de agua entre una casa estándar y una casa sostenible.....	48
2.4.3.1 Sistemas de tratamiento y reutilización de agua residual.....	49
2.4.3.1.1 Humedales artificiales.....	54
2.4.3.1.1.1 Ejemplo de diseño de un humedal artificial de flujo vertical	57
2.4.3.2 Calidad del agua de reuso.....	61
2.5 Manejo sostenible en energía eléctrica y térmica.....	62
2.5.1 Situación actual de la generación y el consumo de energía.....	62
2.5.1.1 Estructura del consumo de electricidad para México.....	64
2.5.2 Tecnologías para el ahorro de electricidad en casas sostenibles.....	66
2.5.2.1 Captación de energía solar mediante paneles.....	67
2.5.2.1.1 Celdas fotovoltaicas.....	67

2.5.2.1.1.1 Componentes principales de los sistemas fotovoltaicos y sus características.....	69
2.5.2.1.1.2 Opciones de montaje de los sistemas fotovoltaicos.....	70
2.5.2.1.2 Celdas solares térmicas.....	71
2.5.2.1.3 Sistemas híbridos.....	76
2.5.2.2 Sistemas eólicos.....	76
2.5.2.2.1 Puntos principales a considerar de un aerogenerador.....	78
2.5.2.2.2 Costo de un sistema de energía eólica.....	78
2.5.2.2 Iluminación mediante lámparas LED.....	81
2.5.3 Reactores biológicos.....	83
2.5.3.1 Principales tipos de reactores biológicos.....	84
CAPÍTULO 3 Metodología.....	86
3.1 Propuesta de casa con uso de tecnologías sostenibles.....	86
3.2 Métodos para la comparación de gastos en agua, electricidad y energía térmica.....	87
3.2.1 Balance de agua.....	87
3.2.1.1 Estimación de consumo de agua en la casa sostenible en épocas de lluvia.....	87
3.2.1.2 Estimación de consumo de agua en la casa sostenible en épocas sin lluvia.....	92
3.2.2 Análisis energético.....	92
3.3 Análisis económico.....	97
CAPÍTULO 4 Resultados.....	100
4.1 Análisis de factibilidad técnica.....	100
4.2 Análisis de factibilidad económica.....	101
4.2.1 Sistemas de ahorro en el consumo de agua.....	101
4.2.2 Sistema de generación de energía térmica.....	102
4.2.3 Sistema eólico.....	102
4.2.4 Bombillas LED.....	103
4.3 Análisis de factibilidad ambiental.....	107
CAPÍTULO 5 Conclusiones.....	110
Referencias bibliográficas.....	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Nombre	Página
Figura 2.1	Evolución de las emisiones GEI en México	13
Figura 2.2	Emisión nacional de GEI por fuente	13
Figura 2.3	Inventario nacional de emisiones por sectores	14
Figura 2.4	Futuro de la energía en el mundo, escenario posible hasta el 2050 de uso mundial de energía primaria	16
Figura 2.5	Algunos tipos de energía renovable	17
Figura 2.6	Paneles Solares	18
Figura 2.7	Cantidad de energía primaria obtenida en México medida en petajoules (PJ)	19
Figura 2.8	Parque eólico de Tarifa en Cádiz Colombia	22
Figura 2.9	Modelo de las Tres E's para el desarrollo sostenible	23
Figura 2.10	Modelo de sostenibilidad	27
Figura 2.11	Principales partes de un tipo de casa auto sostenible	29
Figura 2.12	Indicadores socioeconómicos de la distribución irregular del agua en México	30
Figura 2.13	Grado de presión sobre el agua	31
Figura 2.14	Acuíferos sobreexplotados en 2006	32
Figura 2.15	Canaletas de recolección	36
Figura 2.16	Canaletas con malla para evitar la contaminación por hojas	36
Figura 2.17	Interceptor de primeras aguas	37
Figura 2.18	Componentes del filtro de mesa	38
Figura 2.19	Perlizadores para grifos	43
Figura 2.20	Limitadores de caudal para grifos	43
Figura 2.21	Contadores individuales	44
Figura 2.22	Dispositivo de pulsación doble	44
Figura 2.23	Partes principales de un inodoro seco	45
Figura 2.24	Arreglos para reutilización de agua en el inodoro	45
Figura 2.25	Arreglo para reutilización de agua en el inodoro	46
Figura 2.26	Arreglo para ahorro de agua en una regadera	46
Figura 2.27	Válvulas de desvío en regadera	47
Figura 2.28	Regadera con interruptor de bloqueo	47
Figura 2.29	Proporción promedio del uso de agua en una casa	48
Figura 2.30	Sistema de tanque séptico y zanja de absorción	52

Cont. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Nombre	Página
Figura 2.31	Sistema de tratamiento de aguas residuales por aireación	52
Figura 2.32	Sistema primario de reuso de aguas grises	53
Figura 2.33	Sistema de agua superficial libre	55
Figura 2.34	Sistema de flujo bajo la superficie	55
Figura 2.35	Procesos de depuración de los humedales artificiales	57
Figura 2.36	Sistema de humedal artificial en Perú	59
Figura 2.37	Sistema de humedal artificial en Ruanda	60
Figura 2.38	Sistema de humedal artificial en Canadá	60
Figura 2.39	Generación de electricidad por fuente para países seleccionados (porcentajes)	63
Figura 2.40	Tarifas residenciales en México de 1-75 kWh (Tarifa baja tensión), 2000-2008	65
Figura 2.41	Correlación entre el crecimiento económico y el consumo de electricidad residencial en México	65
Figura 2.42	Correlación entre la demanda y la oferta de electricidad residencial en México	66
Figura 2.43	Recorrido del Sol del hemisferio norte	70
Figura 2.44	Sistema por circulación natural o termosifónico	74
Figura 2.45	Sistema por circulación forzada	75
Figura 2.46	Sistema de almacenamiento de agua caliente	75
Figura 2.47	Sistema de generación de energía eólica instalado en una casa	77
Figura 2.48	Sistema de generación de energía eólica en Santa Cruz, Argentina	80
Figura 2.49	Sistema de generación de energía eólica instalado en la Patagonia, Argentina	80
Figura 2.50	Lámpara LED	82
Figura 2.51	Bombillas LED comunes para uso doméstico	83
Figura 2.52	Sistema de un reactor biológico	84
Figura 2.53	Sistema de reactor anaerobio	85
Figura 3.1	Consumo de energía eléctrica en el sector residencial y saturación de los principales electrodomésticos en México	93
Figura 3.2	Consumo per cápita de energía	94
Figura 3.3	Comparación entre energía térmica consumida en una casa y la entregada por un panel solar	95
Figura 4.1	Diagrama de casa con tecnologías propuestas	100
Figura 4.2	Tiempo de recuperación de la inversión (TRI)	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Nombre	Página
Tabla 2.1	Principales problemas globales	12
Tabla 2.2	Principios de sostenibilidad de los ecosistemas	24
Tabla 2.3	Principales partes de un tipo de casa auto sostenible	28
Tabla 2.4	Algunos factores a considerar antes del establecimiento de un sistema de captación de agua de lluvia	33
Tabla 2.5	Elementos principales que componen un sistema de captación de agua pluvial y sus características	35
Tabla 2.6	Algunos tipos de filtro	38
Tabla 2.7	Algunos tipos de tratamiento de la corrosión en agua de lluvia	40
Tabla 2.8	Principales sistemas de disminución de consumo de agua	41
Tabla 2.9	Comparación de consumos de agua en los dos tipos de casa	49
Tabla 2.10	Principales características de algunos sistemas de tratamiento de aguas domésticas	50
Tabla 2.11	Principales arreglos de humedal artificial	54
Tabla 2.12	Funciones de las plantas en los sistemas de tratamiento acuático	56
Tabla 2.13	Porcentaje de remoción obtenido por humedales artificiales	56
Tabla 2.14	Criterios típicos de diseño de un HAFV	58
Tabla 2.15	Periodos de supervivencia de distintos organismos patógenos en diversas superficies	62
Tabla 2.16	Capacidad instalada de generación eléctrica en MW	63
Tabla 2.17	Consumo final total de energía en petajoules por sectores	64
Tabla 2.18	Los diferentes tipos de celdas fotovoltaicas y sus eficiencias	68
Tabla 2.19	Componentes de los sistemas fotovoltaicos domésticos	69
Tabla 2.20	Principales formas de montaje de sistemas fotovoltaicos domésticos	71
Tabla 2.21	Principales tipos de instalación para generación de agua caliente	72
Tabla 2.22	Características de los sistemas de circulación natural y forzada para calentamiento de agua	73
Tabla 2.23	Puntos y partes de un aerogenerador	79
Tabla 3.1	Listado de tecnologías de uso en la casa propuesta	88
Tabla 3.2	Consumos de agua promedio en diferentes áreas de una casa común	90
Tabla 3.3	Consumos de agua promedio en diferentes áreas de una casa sostenible comparada con los de una casa común	92
Tabla 4.1	Ejemplo de cálculo de costos de inversión para la casa sostenible propuesta	101
Tabla 4.2	Precios de servicios a 23 años con $i = 2.5\%$	104
Tabla 4.3	Beneficios en \$/año obtenidos para cada sistema a 23 años	105
Tabla 4.4	Comparación de principales datos de tecnologías propuestas obtenidos de fuentes similares	109

RESUMEN

El presente proyecto trata acerca de la necesidad de llevar a cabo actividades sustentables que coadyuven a la mejora del medio ambiente y habla del uso de algunas estrategias para llevar a cabo la implementación de tecnologías que permitan convertir una casa común en una casa sostenible, así como de la factibilidad de esta implementación.

En sí, el trabajo presenta algunas tecnologías que permiten promover una cultura de ahorro de servicios, tales como agua, energía eléctrica y térmica. Al lograr un ahorro considerable, se evita la contaminación y la pérdida de una gran cantidad de recursos naturales, debido a que se impide la emisión de gases tóxicos a la atmósfera, así como también la contaminación de las aguas de ríos, lagos y mares; se evita la sobreexplotación de recursos minerales, se ayuda a combatir la deforestación, entre otros.

Los principales sistemas tratados en el trabajo son: Sistemas de captación de agua pluvial así como su tratamiento, sistemas de ahorro en consumo de agua, sistemas que funcionan sin necesidad de uso de agua; tecnologías de ahorro en consumo de energía eléctrica tales como sistemas eólicos, celdas solares, celdas fotovoltaicas y lámparas LED; además de tecnologías de ahorro en consumo de energía térmica tales como celdas solares y reactores biológicos.

El trabajo analiza la factibilidad de invertir en estas tecnologías para la implementación de una casa en el Distrito Federal, así como de los beneficios que se obtienen, tanto económicos como ambientales. En el aspecto económico se tiene que llevar a cabo una inversión considerable, sin embargo ésta se recupera a los 6 años.

Además se tiene que el proyecto de inversión en las tecnologías de ahorro de agua logra una disminución en el consumo de alrededor de 385.7 L/día, lo que significa que se evita la contaminación de 141,437.5 L/año*casa para el caso considerado en el trabajo. Lo que trae un ahorro monetario de cerca de \$214/año. Además se ahorran en energía térmica cerca de 67,328.59 kJ/día, lo que evita la emisión de gases tóxicos a la atmósfera, tales como: CO₂, NO_x, CO y CH₄.

También se logra un ahorro en energía eléctrica de cerca de 10,140 kWh al año, lo que tomando en cuenta las tarifas del Distrito Federal significan un ahorro para la casa de \$6,591. Además se dejan de emitir y gastar: CO₂: 6,905.340 Kg/año, SO₂: 58.812 Kg/año, NO_x: 25.35 Kg/año, polvo y partículas suspendidas: 3.549 Kg/año y uso de agua: 36,504 m³/año.

Todo esto con una inversión total que va desde los 70,000 a los 170,000 pesos aproximadamente.

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

Durante mucho tiempo, el cuidado del medio ambiente ha sido un tema del que se ha hablado y discutido bastante; sin embargo no se le ha dado la importancia que requiere. Lo anterior debido a dos principales situaciones: La primera es debido a que no es un problema el cual tenga consecuencias inmediatas, y la segunda es la falta de conocimiento sobre las repercusiones que nos puede traer.

Es por ello que no se han llevado a cabo acciones que en verdad repercutan en una mejora del medio ambiente, y si se han llevado a cabo han sido en pequeña medida.

La destrucción de bosques, la contaminación de lagos, mares y ríos, el exterminio de animales y el descuido de los recursos naturales a través de los años; han conducido al planeta a un desequilibrio extremo que sin duda traerá como consecuencia final la destrucción de todo ente vivo que conocemos.

La falta de conciencia y la ambición en demasía por parte del único culpable de esta problemática, no permiten acciones que mejoren la calidad de vida de todos los habitantes del planeta. Es increíble observar como lo que ha sido el hogar de la humanidad durante miles de años se resquebraja a pedazos sin que este último no haga algo para impedirlo, sino por el contrario, realiza acciones destructivas en contra de su medio.

La implementación de una cultura del cuidado del medio ambiente entre la sociedad ha ido cobrando cada vez mayor importancia conforme pasa el tiempo, ya que las repercusiones en nuestro planeta son cada día de mayor escala.

La época actual, una época de adelantos y descubrimientos nos permite la creación de tecnologías que no solo evitan el deterioro del medio ambiente, sino que también ayudan a su mejora. Los sistemas de captación pluvial, los de aprovechamiento de la energía que proporciona el viento, los de uso de energía solar; el uso de materiales diversos en la construcción de casas entre otros, son conocidos desde ya hace varias décadas y han sido implementados por países de la unión europea, principalmente Alemania y España, los cuales han sido pioneros en la fabricación de tecnologías que ayudan al cuidado del medio ambiente. Sin embargo en nuestro país no se han implementado al 100% debido a la falta de cultura ambiental mencionada anteriormente, el poco desarrollo económico y el desgaste cada vez mayor de la moral humana entre otras razones.

Muchas personas en el país han realizado esfuerzos importantes para lograr que estas tecnologías se implementen de forma definitiva a la hora de construir una casa, sin embargo aun falta mucha difusión para que puedan ser conocidas en su

totalidad, además de que aun no es posible instalarlas todas por los altos costos de algunas de ellas.

En la actualidad algunas compañías constructoras han adicionado a sus edificaciones tecnologías sostenibles, sin embargo con mucha lentitud debido a la poca difusión y conocimiento que se mencionó anteriormente. La Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) es una de las instituciones que lleva a cabo programas de financiamiento (Programa Específico para el Desarrollo Habitacional Sustentable ante el Cambio Climático), con el fin de promover la instalación de tecnologías sostenibles en casas.

Hace unas décadas era muy difícil la implementación de un sistema de ahorro energético debido a los altos costos que había que cubrir, sin embargo como se mencionó anteriormente, los niveles de inversión para el uso de estos sistemas ha disminuido. No obstante se deben llevar a cabo todavía esfuerzos que conduzcan a una mayor factibilidad de uso.

Es por ello que es importante tomar conciencia de que nuestro planeta es el único lugar en donde se puede vivir sin medios de adaptación y que se deben realizar acciones de forma urgente para cuidarlo.

1.2 Objetivos

Los principales objetivos a alcanzar en la realización de este trabajo, son los siguientes:

- Verificar la factibilidad de implementar tecnologías disponibles en el mercado mexicano en una casa del Distrito Federal, que permitan un buen uso de los principales recursos de consumo del ser humano, tal como agua, energía eléctrica y energía térmica.
- Proponer los usos de éstas tecnologías e ilustrar su adaptación en las casas.
- Dar a conocer algunas de las posibilidades que tienen las personas para llevar a cabo la implementación de nuevas tecnologías para el cuidado del ambiente.
- Realizar un balance de energía y agua en la implementación de las tecnologías.

1.3 Hipótesis

La implementación de nuevas tecnologías en una casa común, da como resultado un mejoramiento del ambiente y promueve ahorros financieros y ambientales en el consumidor.

CAPÍTULO 2 Fundamentación

2.1 Problemática Global

Con el calificativo de globales se aluden aquellos problemas de ámbito global cuyo enfoque requiere la colaboración de todos los países. Se caracterizan por su heterogeneidad y por la incertidumbre sobre su existencia real y sobre las consecuencias que se derivarían de ello, como se manifiesta en los desacuerdos que reproducen en las diversas reuniones de expertos. Se agrupan bajo la expresión *cambio global* y se refiere a los expuestos en la **Tabla 2.1**.

Tabla 2.1 Principales problemas globales (Gómez, 1999)

Nombre	Efecto
El efecto invernadero	Crea una trampa unidireccional que impide la devolución de la energía al espacio y lleva a un calentamiento progresivo de la Tierra (Figuras 2.1, 2.2. y 2.3.)
La reducción del espesor de la capa de ozono	Permite el paso de mayor cantidad de radiación de onda corta, especialmente ultravioleta.
La pérdida de biodiversidad	Desaparición de especies vegetales y animales con consecuente empobrecimiento del patrimonio genético.
El aumento de la población humana	Una destrucción creciente del medio natural frágil y una mayor tasa de descenso de la diversidad biológica.
La contaminación de diferentes clases	Alteración de los ciclos naturales de materia y energía, repercusiones variadas en el funcionamiento de los ecosistemas y de la biosfera.
El uso y abuso de los recursos naturales	Disminución de la cantidad y calidad de los recursos naturales.

2.2 Tecnología energética eficiente y fuentes renovables de energía

Como es sabido desde hace muchos años, el hombre ha requerido siempre de la energía obtenida de diferentes fuentes, ésto para poder llevar a cabo actividades que hacen posible su supervivencia. De tal manera que para obtener la energía necesaria para realizarlas ha tenido que llevar a cabo una explotación de casi todas las fuentes naturales disponibles.

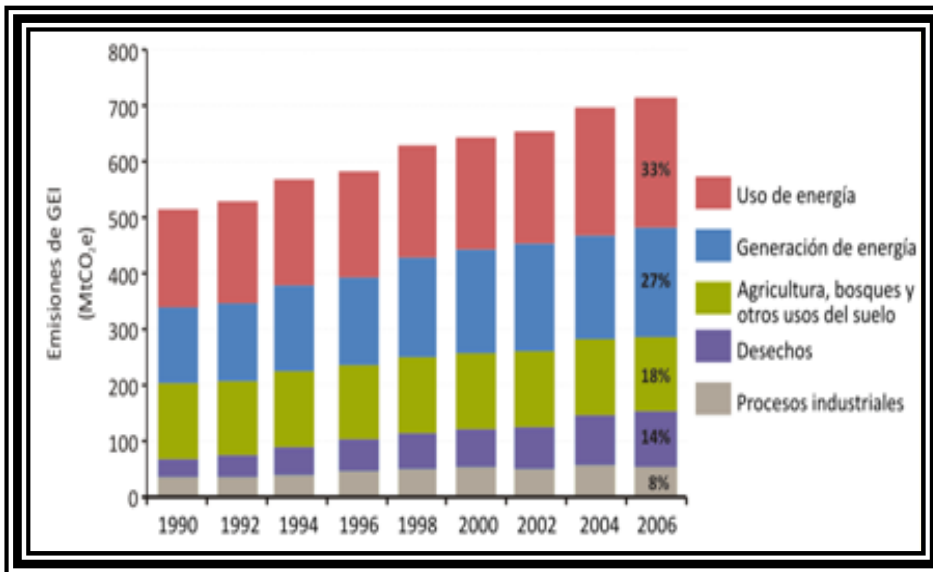


Figura 2.1 Evolución de las emisiones GEI en México (INE, 2006)

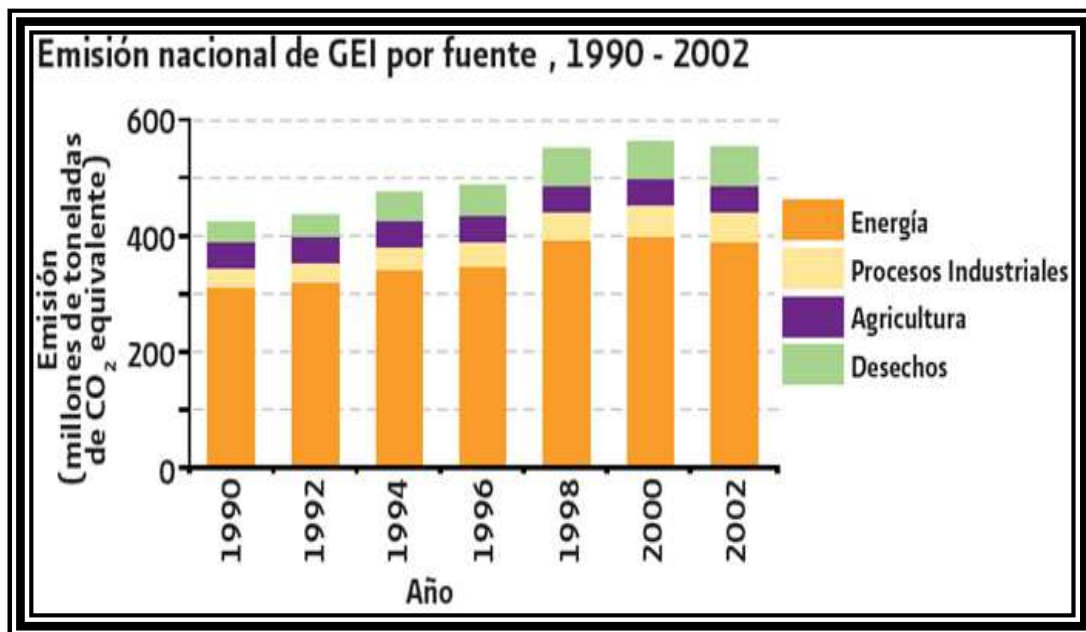


Figura 2.2 Emisión nacional de GEI por fuente en México (SEMARNAT, 2009)

La obtención de la energía empieza en la naturaleza, en la tierra, en el sol y en la interacción entre ellos, donde se encuentran las fuentes primarias de energía, tanto las agotables como las renovables. Las fuentes energéticas primarias agotables son aquellas de las cuales hay una cantidad limitada y las renovables son las que se nos presentan a nuestra disposición en periodos de tiempo fijos o variables.

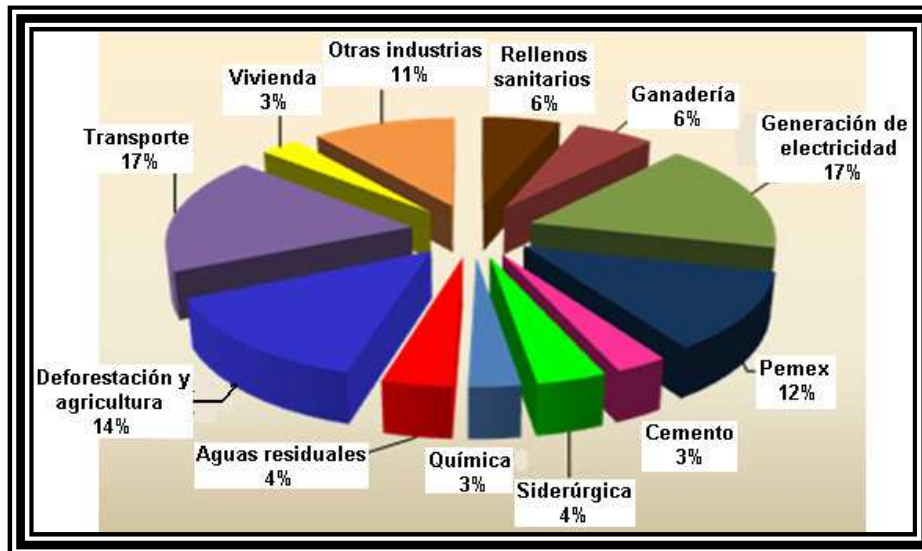


Figura 2.3 Inventario nacional de emisiones por sectores en México (INE, 2002)

Las fuentes primarias agotables almacenadas en la tierra son difícilmente evaluables y por ello, hay una gran disparidad en las cifras de reservas que se facilitan, sobre todo cuando en la evaluación, se tienen en cuenta criterios económicos.

La distribución por países de la utilización de las fuentes primarias de energía que abastecen al sistema energético actual no corresponde con la de las reservas. Depende de la comodidad de uso y a su vez, de las tecnologías, sobre todo de las leyes económicas del mercado.

El sistema energético implica la transformación de estas fuentes primarias en otras que se pueden llamar fuentes intermedias de energía, la que llaman energía final. Ésta en realidad se trata de los productos intermedios del sistema, combustibles y electricidad principalmente (oferta del sistema), que se emplean para conseguir los efectos que se necesitan y que se pueden llamar consumo final:

- Agua caliente
- Calefacción y aire acondicionado
- Calor para cocinar
- Frío para conservar alimentos
- Luz artificial
- Sonido

Debido a que la explotación de estas fuentes de energía ha sido llevada a cabo de una forma cada vez más irracional, se ha conducido a un desabasto mundial, lo que nos ha conducido a un punto en el que cada vez son menos y han traído como consecuencia un gran desequilibrio ecológico. Lamentablemente la

influencia humana sobre la vegetación natural en México ha sido muy destructiva. La alteración de los ecosistemas se inició desde los primeros asentamientos humanos en el país, pero se acentuó con el desarrollo agrícola y ganadero, la desmedida explotación forestal, la actividad minera, el crecimiento urbano y el desarrollo industrial (Gutiérrez y col., 1997).

Es por ello que para evitar esto se han tenido que ir tomando en cuenta las diversas posibilidades de obtención de energía renovable, las cuales son tecnologías nuevas que el ser humano ha ido descubriendo y dominando debido a la necesidad que se le ha presentado en la actualidad, ya que cada vez la sociedad, los procesos y demás factores que demandan energía son más exigentes.

El uso de tecnologías eficientes, es un rubro principal para intentar frenar el desequilibrio ecológico que se está presentando. La eficiencia energética se puede lograr tanto en la producción, transporte y distribución de la energía.

En el caso de una casa sostenible se necesita llevar a cabo la producción de esta energía de tal manera que sea de utilidad para el suministro en toda la casa; logrando así satisfacer las necesidades y requerimientos que pudiera tener.

Es preciso tener presente que la eficiencia energética en su concepción más amplia pretende mantener el servicio que presta, reduciendo al mismo tiempo el consumo de energía.

Por otro lado, la eficiencia energética comprende las acciones más importantes para reducción del calentamiento global, pues mientras menos energía se utiliza menos producción de contaminantes se originan en el sector energético. Por lo tanto, una casa sostenible debe involucrar tecnologías eficientes que le permitan ahorrar energía o si es posible generarla.

Para generarla se vale de lo que son las fuentes renovables de energía que virtualmente son inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen y otras por que son capaces de regenerarse por medios naturales.

Las fuentes renovables de energía pueden dividirse en dos categorías: No contaminantes y contaminantes. Entre las primeras se encuentran:

- El sol: El cual proporciona energía solar.
- El viento: Del que se obtiene la energía eólica.
- Los ríos y corrientes de agua dulce: De donde se obtiene la energía hidráulica.
- Los mares y océanos: De la que se obtiene la energía mareomotriz.
- El calor de la tierra: El cual proporciona la energía geotérmica.
- Las olas: Las que proporcionan la energía undimotriz.

El futuro de la energía en nuestro planeta basándonos en la energía primaria sólo está garantizado hasta el 2050 (**Figura 2.4**), por lo que se deben considerar el uso de las energías alternativas, tales como las renovables.

En la **Figura 2.5** se muestran algunos tipos de fuentes de energía renovable no contaminantes. Tal como se puede observar en la imagen, se puede llevar a cabo un buen aprovechamiento de los recursos naturales no contaminantes promoviendo la utilización de tecnología que tenga la capacidad de obtener energía de los diferentes tipos de fuentes renovables disponibles en la naturaleza, logrando una obtención eficiente de energía y evitando la contaminación irracional de la Tierra.

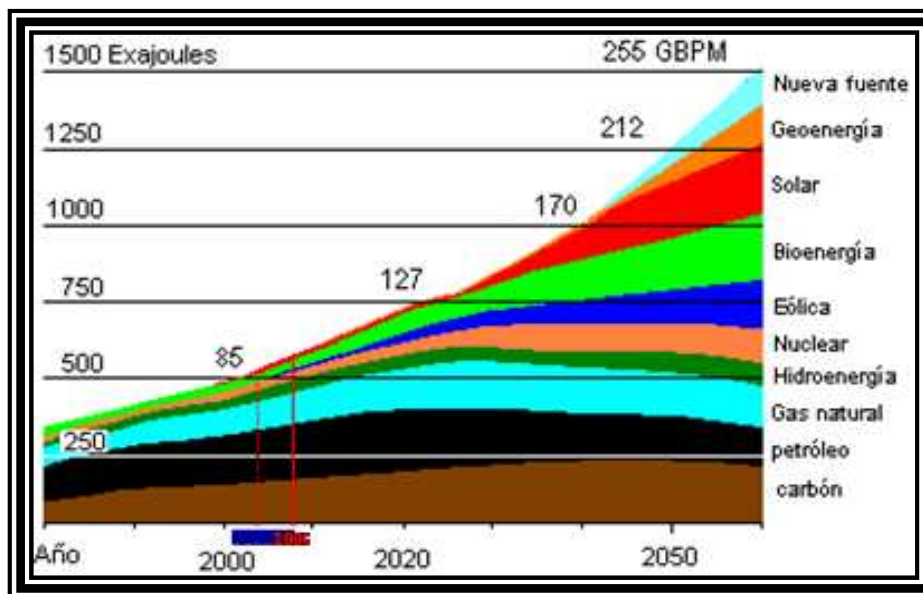


Figura 2.4 Futuro de la energía en el mundo, escenario posible hasta el 2050 de uso mundial de energía primaria (SIL, 2004)

La energía que se obtiene a partir de la materia orgánica o biomasa se puede utilizar directamente como combustible (madera u otra materia vegetal sólida), o bien, convertida en bioetanol o biogás mediante procesos de fermentación orgánica, mediante reacciones de trans-esterificación y de los residuos urbanos.

Las energías de fuentes renovables contaminantes tienen el mismo problema que la energía producida por combustibles fósiles: En la combustión emiten dióxido de carbono (gas de efecto invernadero), y a menudo son aún más contaminantes puesto que la combustión no es tan limpia, emitiendo hollines y otras partículas sólidas. Se encuadran dentro de las energías renovables porque mientras puedan cultivarse los vegetales que las producen, no se agotarán. También se consideran más limpias que sus equivalentes fósiles, porque teóricamente el dióxido de carbono emitido en la combustión ha sido previamente absorbido al transformarse en materia orgánica mediante fotosíntesis. En realidad no es

equivalente la cantidad absorbida previamente con la emitida en la combustión, porque en los procesos de siembra, recolección, tratamiento y transformación, también se consume energía, con sus correspondientes emisiones.



Figura 2.5 Algunos tipos de energía renovable (Durán, 2008)

También se puede obtener energía a partir de los residuos sólidos urbanos y de los lodos de las centrales depuradoras y potabilizadoras de agua; energía que también es contaminante, pero que también lo sería en gran medida si no se aprovechara, pues los procesos de descomposición de la materia orgánica se realizan con emisión de gas natural y de dióxido de carbono.

2.2.1 Algunas desventajas e inconvenientes de la energía renovable

2.2.1.1 Energías ecológicas

Las fuentes de energía renovables son distintas a las de combustibles fósiles o centrales nucleares debido a su diversidad y abundancia. Se considera que el Sol abastecerá estas fuentes de energía (radiación solar, viento, lluvia, etc.) durante los próximos cuatro mil millones de años. La primera ventaja de una cierta cantidad de fuentes de energía renovables es que no producen gases de efecto invernadero ni otras emisiones, contrariamente a lo que ocurre con los combustibles, sean fósiles o renovables.

2.2.1.2 Naturaleza difusa

Un problema inherente a las energías renovables es su naturaleza difusa, con la excepción de la energía geotérmica, sin embargo, sólo es accesible donde la corteza terrestre es fina, como las fuentes calientes y los géiseres.

Puesto que ciertas fuentes de energía renovable proporcionan una energía de una intensidad relativamente baja, distribuida sobre grandes superficies, son necesarios nuevos tipos de "centrales" para convertirlas en fuentes utilizables. Con cuatro metros cuadrados de colector solar térmico, un hogar puede obtener gran parte de la energía para solventar sus necesidades básicas (Goswami, 2007).

En la **Figura 2.6** se observan los paneles solares, dispositivos que funcionan para llevar a cabo la captación de la energía solar y así convertir a ésta en energía eléctrica, estos dispositivos ayudan bastante al ahorro de energía y a la disminución de las emisiones de partículas a la atmósfera, además de que coadyuvan a la disminución de gastos por facturación.



Figura 2.6 Paneles Solares (Monniaux, 2005)

2.2.1.3 Irregularidad

La producción de energía eléctrica permanente exige fuentes de alimentación fiables o medios de almacenamiento (sistemas hidráulicos de almacenamiento por bomba, baterías, futuras pilas de combustible de hidrógeno, etc.). Así pues, debido al elevado costo de almacenamiento de la energía, un pequeño sistema autónomo no resulta económico, excepto en situaciones aisladas, cuando la conexión a la red de energía implica costos más elevados (Goswami, 2007).

2.2.2 Las fuentes de energía renovables en la actualidad y a futuro

El principal problema que tiene la Humanidad, en el futuro inmediato, es su propia supervivencia, condicionada por las modificaciones físicas, químicas y biológicas que el propio ser humano origina en su entorno natural. En estas condiciones, vivimos 11.7 seres humanos por cada km² de superficie terrestre. Si a ese dato unimos la capacidad de intervención de los seres humanos actuales, se comprende fácilmente que el planeta Tierra esté seriamente amenazado.

Las fuentes primarias de energía representan un 20% del consumo mundial de electricidad, siendo el 90% de origen hidráulico. El resto es muy marginal: biomasa 5.5%, geotérmica 1.5%, eólica 0.5% y solar 0.05%. La **Figura 2.7** muestra la cantidad de energía primaria a transformación por tipo de energético, y de ella se puede observar que la cantidad de energía obtenida por medio del aprovechamiento de las corrientes de aire es muy baja, a pesar de la creación de la nueva planta energía eólica de la Venta III (SENER, 2007).

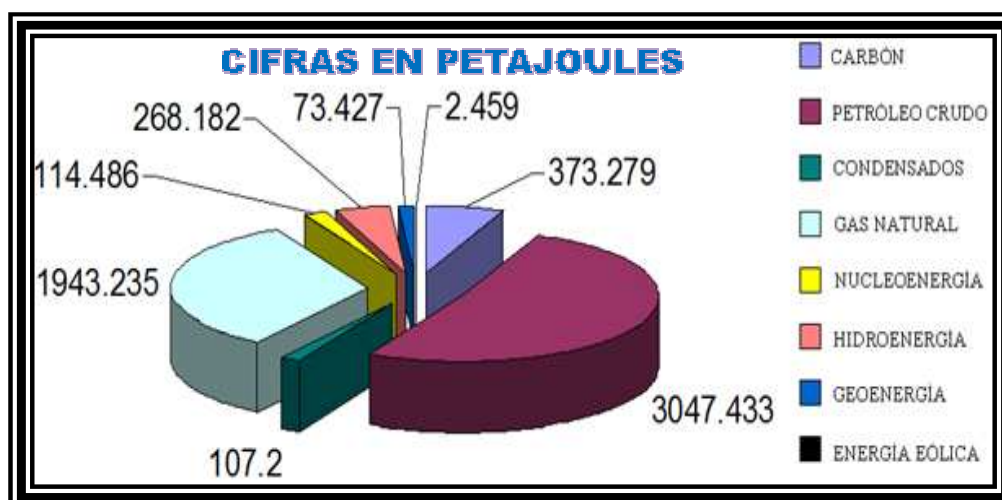


Figura 2.7 Cantidad de energía primaria obtenida en México medida en petajoules (PJ) (SENER, 2007)

Alrededor de un 80% de las necesidades de energía en las sociedades industriales occidentales se centran en torno a la industria, la calefacción, la climatización de los edificios y el transporte (coches, trenes, aviones). Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones a gran escala de la energía renovable se concentra en la producción de electricidad.

En México, las fuentes renovables fueron responsables del 5.8% de la producción eléctrica. La generación de electricidad con energías renovables superó en el año 2007 a la de origen nuclear (SENER, 2007).

Greenpeace presentó un informe en el que sostiene que la utilización de energías renovables para producir el 100% de la energía es técnicamente viable y económicamente asumible. Para lograrlo, son necesarios dos desarrollos

paralelos: de las energías renovables y de la eficiencia energética (eliminación del consumo superfluo) (García, 2006).

Curiosamente, en el pasado el sistema energético funcionaba de forma parecida a como tendrá que hacerlo en el futuro. Desde luego se debe ser consciente de que las necesidades de energía para satisfacer la demanda de los seres humanos no van a disminuir. En todo caso, van a aumentar, por dos razones fundamentales:

- Los seres humanos que hoy no llegan a los mínimos razonables de consumo tienen la lógica aspiración de conseguir los mismos niveles de calidad de vida que los más privilegiados. Sobre todo porque el desarrollo de las comunicaciones les presenta un “mundo feliz” basado en el consumo a ultranza, incluida la energía.
- Los privilegiados del llamado “primer mundo” van a seguir creándose nuevas “necesidades” energéticas.

Por eso, desde ese punto de vista, lo que se plantea en primer lugar es una racionalización del consumo, es decir, aproximar el consumo real a la demanda teóricamente optimizada; ya que la mínima imprescindible para satisfacer las necesidades a las que se ha referido con anterioridad.

Es obvio que este objetivo solo se puede conseguir a través de una profunda concienciación de la cuestión energética de los habitantes del planeta. Está claro que eso incluye muchos aspectos sociales (educación, información, etc.)

Con este cambio se puede aproximar al concepto de desarrollo sostenible. Dos componentes importantes del cambio de sistema energético que se propone:

- Consumo optimizado y racional
- Sustitución de las fuentes primarias

A estas dos medidas, absolutamente fundamentales, hay que añadirle otra, aún más difícil de conseguir:

- Cambio de la estructura del sistema. El objetivo es acercar la producción de energía intermedia al consumo de energía final. Para conseguirlo es necesario pasar del actual sistema altamente centralizado a otro, mucho más descentralizado.

Esta medida lleva aparejada muchas otras consecuencias que no conviene olvidar:

- El usuario gana en autonomía y seguridad del suministro ya que, en muchos casos el servicio depende de sí mismo y no de una empresa cuyo objetivo más importante suele ser el beneficio propio.

- El tamaño de las instalaciones de producción suele ser menor, por lo que el número de ellas será mayor.
- El montaje de estas instalaciones más pequeñas y más distribuidas son accesibles a mayor número de empresas más pequeñas y, por tanto, locales.

2.2.2.1 Sector doméstico

Siguiendo, para la descripción el esquema indicado con anterioridad, el primer paso es el consumo “responsable”, es decir, consumir lo estrictamente necesario, de manera eficiente.

Para ello, un aspecto fundamental es tener una vivienda optimizada desde el punto de vista energético. Esto se consigue con un diseño arquitectónico que tenga en cuenta las cuestiones energéticas. Lo siguiente es disponer de dispositivos de consumo altamente eficientes, es decir, frigoríficos de alta eficiencia, lámparas de alta eficiencia; todos los dispositivos con ahorro energético que ya existen en el mercado. Y desde luego, hábitos coherentes con este planteamiento general.

Obviamente, el aspecto fundamental de este planteamiento es la producción de la energía necesaria para satisfacer este consumo con dispositivos lo más próximos al usuario que sea posible. Ejemplos clarísimos son sistemas solares (calentamiento de agua y producción de electricidad), de aprovechamiento de la biomasa, eólicos, microhidráulicos y desde luego cogeneración doméstica, almacenamiento en forma de hidrógeno, etc.

Todo esto que se indica se puede realizar ya, aunque alguna de estas tecnologías energéticas todavía están en un estado incipiente. Otra cuestión es su costo y, sobre todo, su competitividad con un sistema convencional que ha estado, está y seguirá estando fuertemente subsidiado por los Estados.

Para que un sistema energético sea eficiente no se puede olvidar la acumulación y el control del sistema. Es bien claro que, en general, el consumo no se produce al mismo tiempo que la producción de la energía que lo abastece. También es claro que hay formas energéticas que no son almacenables como, por ejemplo, la electricidad.

2.2.2.2 Sector industrial

El sector industrial es el que tiene mejores pautas de consumo energético. En efecto, se deben emplear los mismos principios y las mismas tecnologías aunque sea a un tamaño diferente.

Lo mismo que en el sector doméstico se puede emplear la arquitectura bioclimática y, desde luego, dispositivos energéticamente eficientes, la

cogeneración y la bomba de calor reversible así como la producción de calor, frío y electricidad a partir de energía solar, eólica, hidráulica y biomasa (como se muestra en la **Figura 2.8**, la energía eólica es uno de los tipos de energía que se obtiene a través de mecanismos que aprovechan la velocidad del viento para producir energía).



Figura 2.8 Parque eólico de Tarifa en Cádiz Colombia (Ruiz, 2007)

2.2.2.3 Sector transporte

Este sector es bastante diferente de los anteriores aunque los principios básicos a emplear son muy similares. Se tiene que pensar en conceptos de transporte diferentes, empezando por racionalizar la forma de vida de los seres humanos con una mayor influencia de las telecomunicaciones.

2.3 Conveniencia de la aplicación de tecnologías sostenibles

2.3.1 Algunas definiciones y conceptos de sostenibilidad

- Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades (Comisión Brundtland, 1987).
- Desarrollo agropecuario y rural sostenible, es la administración y conservación de la base de recursos naturales y la orientación de los cambios tecnológicos e institucionales de tal forma que, aseguren el logro y la satisfacción permanentes de las necesidades humanas para el presente y las futuras generaciones (FAO, 1992).

- El elusivo objetivo del desarrollo sostenible, también llamado sostenibilidad, es tomar decisiones y llevar a cabo programas y proyectos de manera tal que maximice los beneficios para el ambiente natural y los hombres y sus culturas y comunidades y, a la vez, mantener o mejorar la viabilidad financiera (McDonald y col., 2001).
- En el fondo, la sostenibilidad no implica otra cosa que seguir los ciclos naturales de la propia biósfera. En la medida en que la actuación humana violenta, sobrepasa, aquellos ciclos genera reacciones que interrumpen aquellos procesos naturales. Por ello, debemos enjuiciar la sostenibilidad de un sistema económico no tanto por la intensidad que hace el uso de los recursos no renovables, como por su capacidad de cerrar los ciclos de materiales mediante la recuperación y el reciclaje, con la ayuda de fuente renovables (Bono, 2006).
- Se define en principio como la conservación de los recursos naturales en un sistema ecológico, sin embargo la correcta conservación de los recursos naturales tiene grandes nexos con el manejo de los recursos económicos y los energéticos, razón por la cual, el desarrollo sostenible se refiere al desarrollo armónico de la sociedad con la óptima utilización de recursos ecológicos, económicos y energéticos. En la **Figura 2.9** se puede observar el modelo de las tres E's, que es la base sobre la que se ha construido el concepto de desarrollo sostenible. Sin embargo poco a poco se ha tenido un modelo más ampliado de éste (Jiménez, 2001).

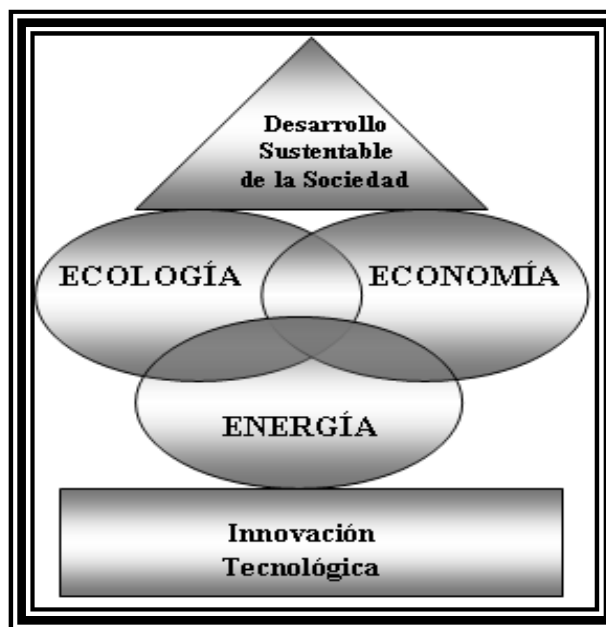


Figura 2.9 Modelo de las Tres E's para el desarrollo sostenible (Jiménez, 2001)

Nebel menciona en su libro Ciencias Ambientales, lo necesario para mantener una sostenibilidad en un ecosistema, lo cual se resume a continuación en la **Tabla 2.2.**

Tabla 2.2 Principios de sostenibilidad de los ecosistemas (Nebel, 1999)

Para un sostenimiento

- Los ecosistemas reciclan todos los elementos de modo que se libran de los desechos y reponen los nutrientes.
- Los ecosistemas aprovechan la luz solar como fuente de energía.
- El tamaño de las poblaciones de consumidores debe ser tal que no haya consumos en exceso.
- Se mantiene la biodiversidad.

2.3.2 Algunos beneficios de la implementación de tecnologías sostenibles

Tener una edificación sostenible tiene beneficios conocidos ya por muchos sectores de la industria de la construcción. Se sabe con claridad y se remiten a tener ahorro de energía, de gas, agua y de dinero en la operación de la vivienda y hasta en el recibo de energía eléctrica. Si se mejora la calidad térmica de la vivienda, sobre todo en las costas y el norte del país, el edificio será más fresco y no necesitará aire acondicionado (Porrás, 2007).

A continuación se enlistan la mayoría de los beneficios ambientales a partir del uso de fuentes renovables:

- Con respecto a calefacción y agua caliente solar: Se obtienen cada vez mejores rendimientos (Pesci, 1993).
- Energía solar: Los paneles están rindiendo cada vez más kW/m² y su costo es cada vez menor.
- La energía solar térmica cubre el 100% de agua caliente en verano y entre 10-40% en invierno dependiendo del costo de la tecnología y el clima, (Sánchez, 2005).
- Energía eólica: Además de su uso individual hay especialmente para áreas remotas con poca población (donde no es rentable para las compañías en tendido de líneas), ha aumentado su producción para consumo masivo. Hay países como Holanda, Bélgica, Inglaterra, o Alemania donde están muy desarrollados los campos de molinos de gran tamaño.
- Vidrios dobles y triples: Son cada vez más accesibles y se está creando el hábito de su uso.

- Uso de materiales naturales reciclables y de recursos renovables: Entre este grupo de materiales probablemente el más destacado es el de los nuevos usos y las nuevas tecnologías usadas a partir de la madera. El uso de este material a partir de bosques certificados, las nuevas técnicas de fabricación de elementos y piezas que utilizan hasta el último m³ de material y los avances en métodos de construcción han permitido que se utilice nuevamente este material para grandes construcciones (comerciales, industriales o de viviendas) y no sólo para casas.
- Los nuevos combustibles basados en insumos renovables como los biocombustibles (a base de aceites derivados de plantas o biogases originados por la descomposición de materia orgánica) están ya siendo usados masivamente.

2.3.3 Principales condiciones ecológicas para la sostenibilidad

El soporte del desarrollo son la actividades humanas; cuando se desciende al nivel de éstas, es posible concretar las formulaciones conceptuales abstractas del concepto de sostenibilidad en criterios técnicos medibles y controlables, según explica el razonamiento que sigue. Parte de la idea de que una actividad se ubica necesariamente en un entorno con el que interacciona en términos de entradas, salidas y ocupación, y con el que debe formar un sistema armónico y funcional; en la medida en que la actividad esté integrada en el entorno será sostenible y contribuirá a la sostenibilidad del desarrollo. En este sentido, y de acuerdo con un modelo de tipo metabólico, toda actividad, se puede entender en términos de:

- Los insumos (influentes) que utiliza: agua, energía, recursos naturales, materias primas, mano de obra, etc.
- Los elementos físicos que la forman, los cuales ocupan y transforman un espacio: edificios, infraestructuras, instalaciones y equipos de todo tipo.
- Los efluentes que emite en forma de materiales: emisiones, vertidos, residuos y energía.

Esta interpretación metabólica de la actividad, requiere del entorno en que se ubican tres funciones indispensables:

- Fuente de recursos naturales y materias primas que utilizará la actividad.
- Soporte de los elementos físicos que forman la actividad.
- Receptor de los efluentes que emite la actividad.

Como se señaló, las tres funciones tienen en la actualidad la consideración de recursos ambientales, por que cumplen la doble condición de utilidad y escasez. Se trata de la "oferta" que hace el medio, la cual, a su vez, define las actividades razonables desde el punto de vista de éste; la función "fuente de recursos y

materia primas” sugiere las actividades a través de las cuales se pueden aprovechar dichos recursos, mientras las otras dos informa sobre las que serían tolerantes por el medio.

Las interacciones ambientales entre la actividad y su entorno deben entenderse en términos de estos seis conceptos; en la **Figura 2.10** se señalan las interacciones que existen entre las actividades humanas y su entorno, esto es señalado en términos de influentes, elementos físicos y efluentes. De tal interacción surgen conceptos y criterios de sostenibilidad. El razonamiento expuesto en la figura, es básico para la comprensión y utilización de todos los instrumentos disponibles de gestión ambiental, ya que sugiere unas relaciones biunívocas entre los tres requerimientos de las actividades y las tres funciones paralelas del entorno.

En consecuencia los problemas ambientales no se producen por la utilización del medio ambiente y sus recursos para el desarrollo, sino que surgen cuando no se respetan los criterios de sostenibilidad expuestos y representados en la **Figura 2.7** (Gómez, 1999).

2.3.4 Casas sostenibles

La arquitectura sostenible se asocia en ocasiones con la definición del Reporte Brundtland de desarrollo sostenible, mencionado anteriormente. Pero por lo general la vía de entrada al tema de las casas auto sostenibles está relacionada a dos temas: “El que involucra la noción de que el diseño de casas auto sostenibles es fundamentalmente tomando en cuenta las relaciones que existen entre éstas y su impacto en la naturaleza” o “El concepto de la disminución del uso de los combustibles fósiles en las casas” (Knudstrup y col., 2009).

Una casa autosostenible es un hogar que está en armonía con el medio ambiente y utiliza energías limpias. De este concepto nacen las viviendas ecológicas, las viviendas autosuficientes y la arquitectura bioclimática.

Las viviendas ecológicas básicamente son viviendas que tratan de maximizar el uso de los materiales reciclados y de la zona, las viviendas autosuficientes son las que no necesitan dependencia de sistemas externos, o sea, obtienen su propia agua y su propia electricidad.

Al pensar en una casa autosuficiente se debe tener en claro que el objetivo de una casa es dar confort y cobijo, y además maximizar el uso de la energía y evitar dependencias externas de redes de agua potable y de electricidad. Debido a que el principal objetivo es la optimización de recursos, entonces es indispensable la implementación de sistemas y dispositivos ahorradores que contribuyan a alcanzar esta meta. Entre los principales, destacan:

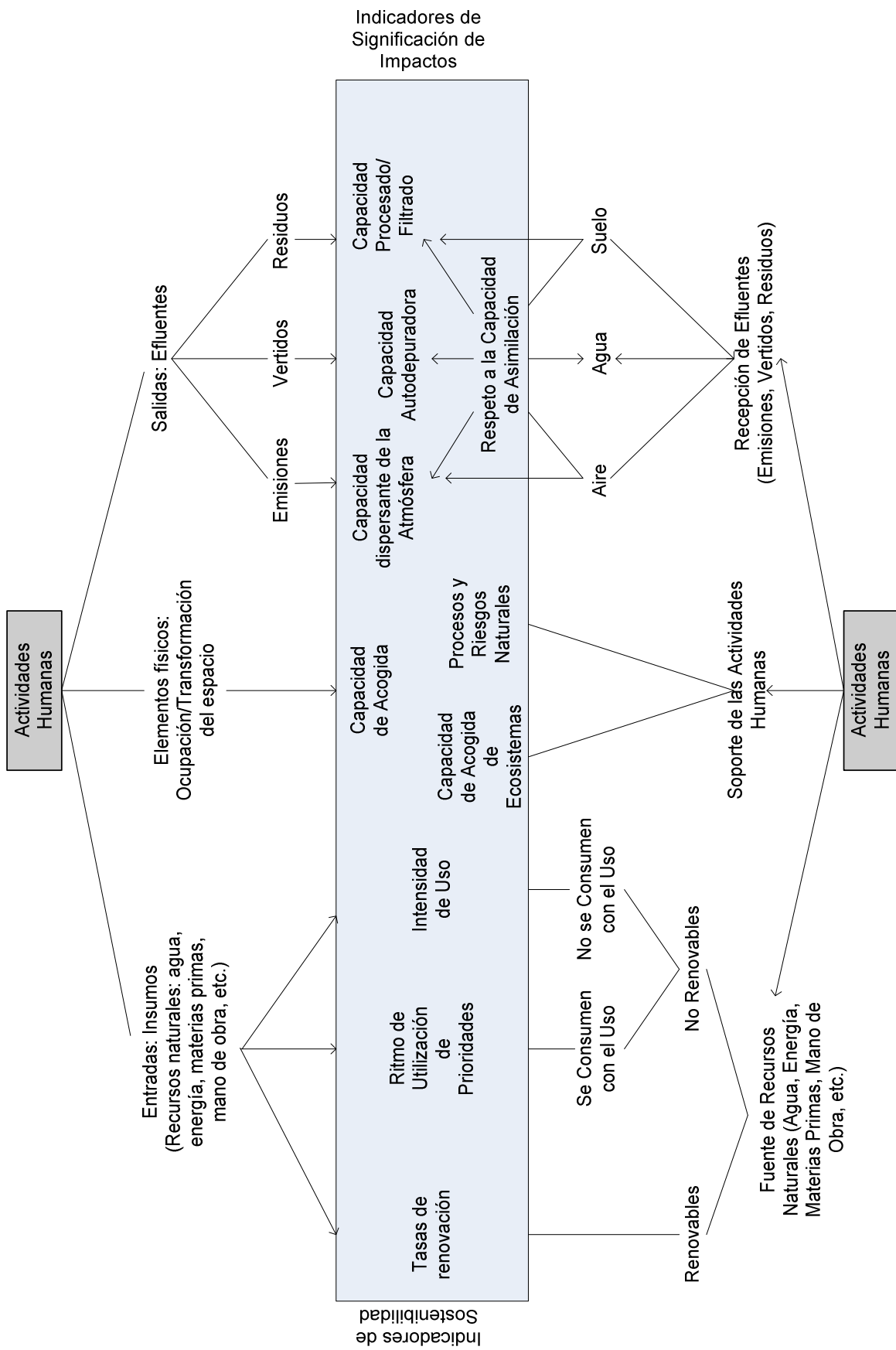


Figura 2.10 Las actividades humanas interactúan con su entorno en términos de influentes, elementos físicos y efluentes, y de tal interacción surgen conceptos y criterios de sustentabilidad (Gómez, 1999)

- Materiales térmicos y aislantes
- Focos ahorradores
- Tratamiento de aguas grises
- Sanitarios ecológicos

A esta lista, debemos sumar la captación, almacenamiento y reutilización de aguas pluviales; calentadores a base de celdas solares; eficiencia en los depósitos de desperdicios y alcantarillado; aprovechamiento y transformación de la energía natural para utilizarla en aparatos que requieren energía eléctrica. La mayoría de estos componentes se puede apreciar en el siguiente modelo de casa sostenible mostrado en la **Figura 2.11**, y en la **Tabla 2.3** se describen sus partes (Cerde, 2008).

Tabla 2.3 Principales partes de un tipo de casa auto sostenible (Cerde, 2008)

Ubicación	Tecnología
1	Páneles solares para calentamiento de agua
2	Aislamiento de tejado de 300-400 mm de espesor, hecho de excedentes de periódico en tiras
3	Tragaluz con vidrio aislante (de baja emisividad)
4	Paredes de yeso natural y arcilla
5	Tanque de agua caliente super aislado
6	Forro para superficie frontal de 100 mm de espesor para mantener la apariencia exterior como enladrillado
7	Muro aislado exterior de 150 mm con vertido final
8	Ahorro de espacio en baño y control de regadera termostática con ahorro de agua
9	Ventiladores para recuperación de calor
10	Pintura ecológica
11	Vestíbulo ventilado
12	Doble o triple cristal y ventanas de madera
13	Accesorios eficientes en ahorro de energía
14	Muebles reutilizados (opcional)
15	Entarimado
16	Tubería de cobre con filtro para residuos en el agua de lluvia colectada
17	Aislamiento del piso natural de 160 mm de espesor
18	Almacenamiento de agua de lluvia para su uso en baños, lavadora y grifos externos
19	Baños de bajo consumo
20	Tuberías de PVC para desperdicios
21	Cámara de compostaje para desperdicios sólidos del baño
22	Separador de líquidos y sólidos en la cámara de compostaje
23	Cubierta de roble inglés provisto de alta durabilidad
24	Administración orgánica de la tierra utilizando principios de permacultura.



Figura 2.11 Principales partes de un tipo de casa auto sostenible (Cerde, 2008)

2.4 Manejo sostenible en agua

2.4.1 Situación actual del agua, necesidad de su uso sostenible

Por desgracia, de las aparentemente inagotables reservas de agua de la Tierra, solamente se pueden emplear de forma eficiente pequeñas partes para la producción de agua potable.

El 97% de las existencias de agua de la Tierra comprenden el agua salada no potable de los océanos y mares. La mayoría de los restantes 36 millones de kilómetros cúbicos de agua dulce, está aglomerada sólidamente en forma de hielo en los glaciales y en los casquetes polares de la Tierra. De manera que sólo queda aproximadamente el 0,5 % de la totalidad de las existencias de agua para la explotación de agua potable (Ruíz, 2005).

La situación del agua en México es particularmente delicada por factores como su distribución irregular en el territorio nacional. Las zonas más desfavorecidas en términos de precipitación pluvial son las áreas donde más necesidad hay, por ejemplo el 76% de la población y el 70% de la industria se concentran allí (Hieronimi y col., 2006).

En la **Figura 2.12** se pueden apreciar los indicadores tanto sociales y económicos, así como la distribución irregular del agua en nuestro país, lo que hace ver lo mencionado anteriormente.

En el 2000, más de 900 millones de habitantes de zonas urbanas (casi un tercio de la población urbana mundial) vivían en barrios marginales. Un residente de un barrio marginal dispone de 5 a 10 litros de agua al día, mientras que un hogar de ingresos medios o altos de la misma ciudad puede consumir entre 50 y 150 o más litros al día.

Los sistemas de aguas subterráneas proporcionan, a nivel global, entre el 25 y el 40% del agua potable del mundo. Los últimos 5 años del siglo XX se caracterizaron por una tendencia global a la fusión continua de los glaciares. Este deterioro tendrá impacto tanto en la sostenibilidad de los recursos hídricos de las cuencas que dependen de los glaciares como en sus ecosistemas.

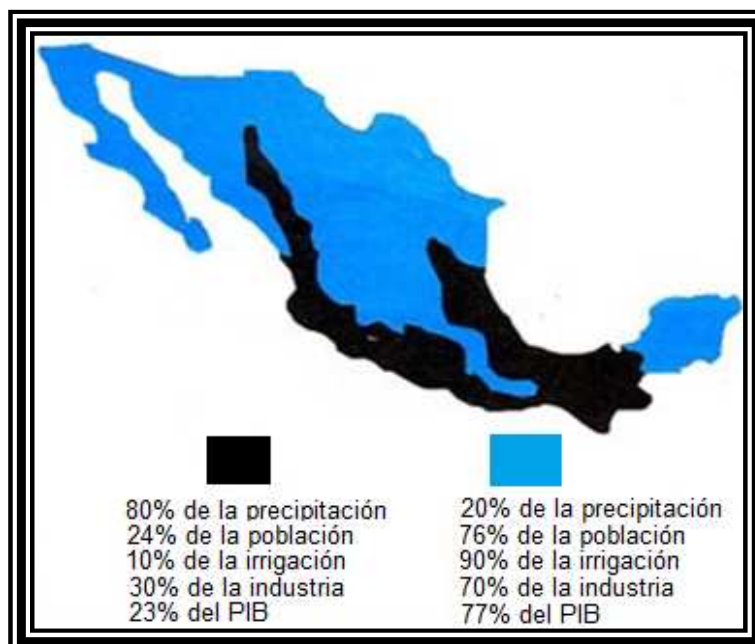


Figura 2.12 Indicadores socioeconómicos de la distribución irregular del agua en México (Hieronimi y col., 2006)

Para tener una mejor comprensión del problema se tiene que llevar a cabo un análisis de cuánta agua se utiliza en México, ésto se logra relacionando el agua que se utiliza entre el agua disponible. Este indicador obtenido se conoce como “grado de presión”, y lo que significa es el porcentaje que representa el volumen de agua extraído tanto de aguas superficiales como subterráneas con respecto al agua disponible.

En 2005 en el país se utilizó 16% del volumen disponible de agua, valor que es considerado como un grado de presión “moderado” de los recursos hídricos. Sin embargo, ese valor representa muy poco lo que ocurre dentro del país. En la

porción norte, que incluye a los estados de Sonora, Chihuahua y Baja California, por ejemplo, se utiliza más de 40% del agua disponible, lo que ya es considerado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), como una fuerte presión sobre el recurso hídrico. El caso más extremo se tiene en la región del Valle de México, donde el grado de presión alcanza un valor de 119%; esto es, se utiliza más agua de la que se dispone de manera natural, lo que se puede ver en la **Figura 2.13**.

Las aguas subterráneas representan entre 25 y 40% del agua potable del mundo. Hoy en día, la mitad de las grandes ciudades del mundo, entre las que se encuentra México, dependen de las aguas subterráneas, o bien, consumen un gran volumen de las mismas. En el país, con el agua subterránea se cubre 75% de la demanda en las zonas urbanas, 61% de la industria y 33% de la agricultura. No es extraño que ante este intenso uso, un número importante de acuíferos ya presenten problemas de sobreexplotación.

En la **Figura 2.14** se pueden observar la cantidad acuíferos sobreexplotados durante el 2006 (SEMARNAT, 2008).

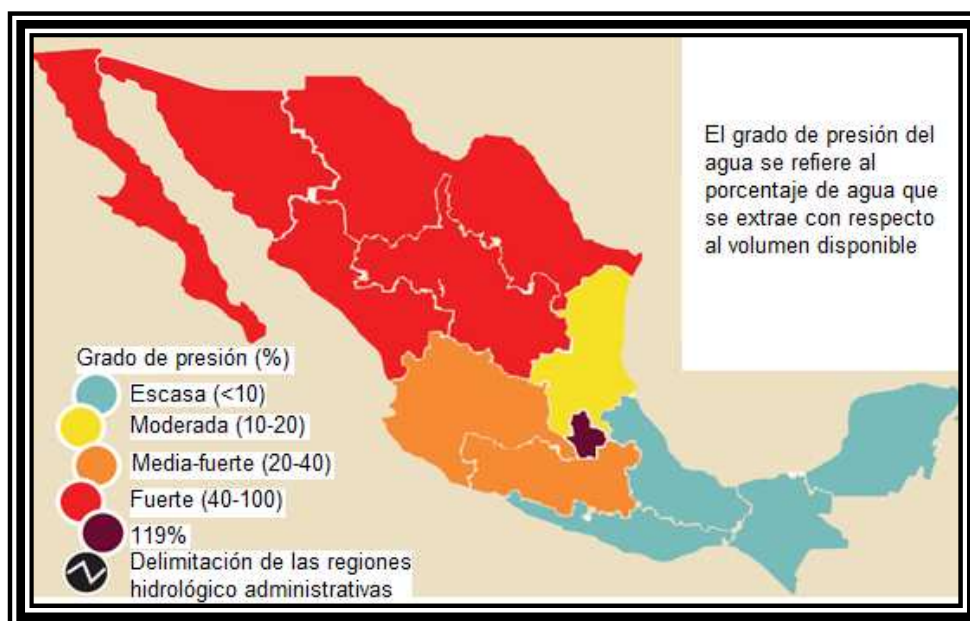


Figura 2.13 Grado de presión sobre el agua (SEMARNAT, 2008)

2.4.2 Tecnologías para el ahorro y reciclaje de agua en casas sostenibles

Para el ahorro de agua en una residencia, es necesario considerar tecnologías avanzadas (y no por ello complicadas), diferentes a las ya comúnmente conocidas tales como cerrar el grifo durante el aseo dental o de las manos, cerrar la regadera durante el enjabonado en la ducha, etc. Para estas tecnologías es necesario hacer una inversión extra, la cual es mínima o en su defecto aceptable

y muy redituable, ya que a la larga se obtienen beneficios tanto económicos como ambientales que ayudan a tener una mejor calidad de vida.

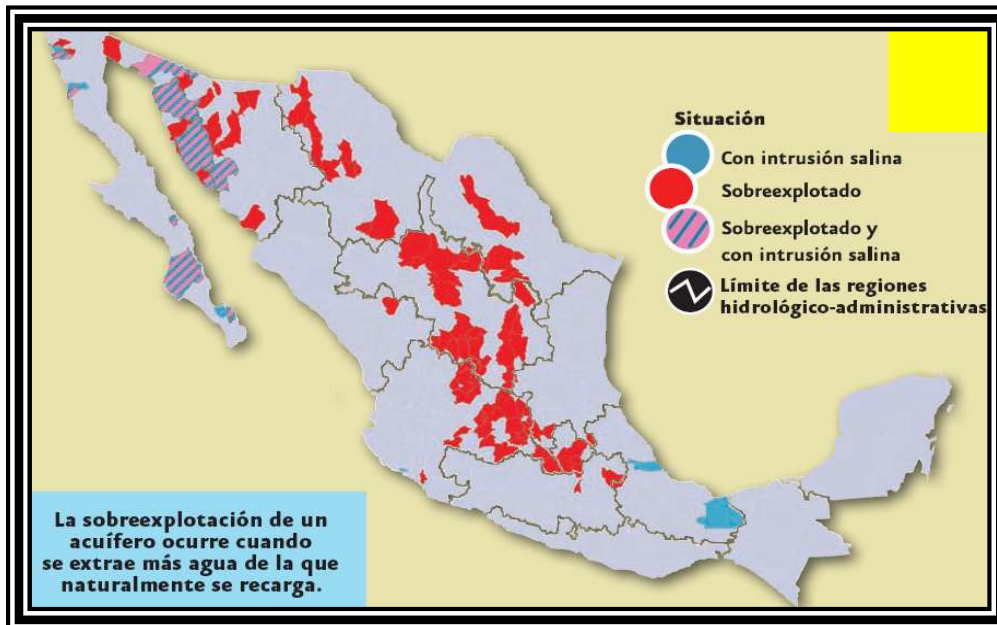


Figura 2.14 Acuíferos sobreexplotados en 2006 (SEMARNAT, 2008)

2.4.2.1 Sistema de captación de agua de lluvia

El agua de lluvia es la fuente primaria para la obtención de agua fresca en todo el planeta. La práctica de captación de agua de lluvia se puede clasificar en dos categorías: 1) La captación que se lleva a cabo de la tierra, es decir, el agua que se obtiene del escurrimiento de cuencas y montañas; y la que se obtiene por medio de los techos de las casas. 2) La captación de agua de lluvia de las vertientes ocurre cuando desciende de las superficies inclinadas y es almacenada en diques, estanques y tanques. Como su nombre lo indica, el agua de lluvia obtenida de los techos de las casas se refiere a su captación de las superficies de los techos. Esta forma de captar el agua de lluvia resulta ser una fuente mucho más limpia que además provee de agua que se puede utilizar tanto en el riego de jardines como para propósitos domésticos. Por lo que este trabajo está enfocado al estudio del agua captada a través de los techos de las casas (TRHEC, 2006).

Los siguientes son diversos motivos por lo que es bueno captar el agua de lluvia:

- Mejor calidad de agua, debido a que solo requiere un tratamiento mínimo el cual permite tener un agua de calidad similar a la de la red pública, incluso un 15% más pura si se considera que el agua de la red en ocasiones contiene residuos de hierro de las tuberías y algunos otros materiales contaminantes.

- Independencia relativa del sistema – apropiado para asentamientos poblacionales dispersos o rurales. En un 90% de los sistemas se puede tener una independencia del 100% de las redes de suministro público, como lo es el agua y la electricidad. Es relativa debido a que se depende del clima del agua.
- Los materiales para la construcción del sistema se pueden encontrar en la localidad; tales como canaletas, tubos de PVC, tejas de arcilla, madera, tanques de plástico, etc.
- Tecnología relativamente simple, debido a que la instalación no es complicada. En México se puede usar a la perfección debido a que prácticamente se pueden encontrar todos los materiales necesarios. La única limitante en ocasiones puede ser el espacio disponible para el almacenamiento del agua captada.
- Facilidad de mantenimiento.
- Fácil acceso al agua y ahorro de tiempo al tratar de utilizarla.

Una de las limitaciones principales es el costo de las tecnologías empleadas para la captación del agua de lluvia, ya que por lo regular se tienen que cubrir ciertos costos de instalación y construcción de tanquería de almacenamiento.

Para llevar a cabo la construcción de un sistema de captación de agua de lluvia, primero lo que se tiene que tomar en cuenta es la factibilidad del proyecto y los factores a considerar, los cuales son mostrados en la **Tabla 2.4**. Dentro de los factores técnicos, la oferta de agua está relacionada directamente con la precipitación durante el año y con las variaciones estacionales de la misma. Por ello, en el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia es altamente recomendable trabajar con datos suministrados por la autoridad competente y normalmente representada por la oficina meteorológica del país o de la región donde se pretende ejecutar el proyecto.

La demanda de agua; a su vez, depende de las necesidades del interesado y que puede estar representada por solamente el agua para consumo humano, hasta llegar a disponer de agua para todas sus necesidades básicas como son preparación de alimentos, higiene personal, lavado de vajillas y de ropa e inclusive riego de jardines.

Tabla 2.4 Algunos factores a considerar antes del establecimiento de un sistema de captación de agua de lluvia (UNATSABAR, 2001)

Factor	Descripción
Técnico	<ul style="list-style-type: none"> • Oferta de agua • Demanda de agua
Económico	Comparaciones con otros sistemas de captación
Social	Selección de tecnologías por conveniencia tomando en cuenta hábitos personales

Por el lado del factor económico, al existir una relación directa entre la oferta y la demanda de agua, las cuales inciden en el área de captación y el volumen de almacenamiento, se encuentra que ambas consideraciones están íntimamente ligadas con el aspecto económico, lo que habitualmente resulta una restricción para la mayor parte de los interesados, lo que imposibilita acceder a un sistema de abastecimiento de esta naturaleza.

En la evaluación económica es necesario tener presente que en ningún caso la dotación de agua debe ser menor a 20 litros de agua por familia y por día, la misma que permite satisfacer sus necesidades básicas elementales, debiendo atenderse los aspectos de higiene personal y lavado de ropa por otras fuentes de agua. Así mismo, los costos del sistema propuesto deben ser comparados con los costos de otras alternativas destinadas al mejoramiento del abastecimiento de agua, teniendo presente el impacto que representa la cantidad de agua en la salud de las personas beneficiadas por el servicio de agua.

Debido a la evaluación de las obras de ingeniería a nivel comunitario, siempre se deben tener presente los factores sociales, representados por los hábitos y costumbres que puedan afectar la sostenibilidad de la intervención (UNATSABAR, 2001).

2.4.2.1.1 Captación de agua de lluvia

El área de captación es la superficie sobre la cual cae la lluvia. Es importante que los materiales con que están construidas estas superficies, no desprendan olores, colores y sustancias que puedan contaminar el agua pluvial o alterar la eficiencia de los sistemas de tratamiento. Además la superficie debe ser de tamaño suficiente para cumplir la demanda y tener la pendiente requerida para facilitar el escurrimiento pluvial al sistema de conducción (Phillips, 2008).

El sistema de captación de agua de lluvia está conformado principalmente por los elementos siguientes y sus características se muestran en la **Tabla 2.5**.

- Superficie de captación.
- Sistema de recolección y conducción.
- Dispositivos de intercepción de materiales presentes en el agua.
- Almacenamiento.

La captación de agua de lluvia es uno de los sistemas más importantes para el funcionamiento de una casa sostenible, esto debido a que de este tipo de instalaciones se puede llegar a recolectar agua suficiente como para cubrir todas las necesidades de una familia, tales como el lavado de ropa, trastes, autos, el uso para el sanitario, lavado de patios, riego de jardines y con un tratamiento adecuado el agua se puede llegar a utilizar para higiene personal y consumo humano. Con esto se logra disminuir el uso de agua limpia de la red evitando su contaminación.

Tabla 2.5 Elementos principales que componen un sistema de captación de agua pluvial y sus características (UNATSABAR, 2001; NT, 2006)

Elemento	Características
Superficie de captación-Techo	<ul style="list-style-type: none"> • De superficie y pendiente adecuados. • De material metálico, de tejas o paja (en su caso). • En el cálculo para la colocación del techo se debe considerar solamente la proyección horizontal de éste.
Recolección y conducción de agua de lluvia – Canaletas, Figura 2.15	<ul style="list-style-type: none"> • Conduce el agua captada por el techo directamente hasta el tanque de almacenamiento. • El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí. <ul style="list-style-type: none"> • Se usan materiales como bambú, madera, metal o PVC. • Las de metal son las más durables pero también las más costosas, alrededor de \$1,500/tramo de 3 metros. • Las de madera y bambú son baratas y fáciles de instalar pero se deterioran con rapidez. <ul style="list-style-type: none"> • Las canaletas de PVC son fáciles de obtener, durables y no son muy costosas (entre \$200 y \$400 pesos el tramo de 3 metros). • El costo de instalación por una empresa va de los \$3,000 a los \$15,000 pesos. <ul style="list-style-type: none"> • Las canaletas se fijan al techo con alambre, madera y clavos. • El sistema debe tener mallas que retengan los objetos para evitar que obturen la tubería (Figura 2.16). • El ancho mínimo de las canaletas debe ser de 75 mm y el máximo de 150 mm. • El techo debe prolongarse hacia el interior de la canaleta, como mínimo en un 20% del ancho de la canaleta. • La inclinación debe ser la adecuada para asegurar una velocidad mínima de 1 m/s, esto calculado con la fórmula de Manning, ver Anexo 1 y Anexo 2
Dispositivo de intercepción de materiales contenidos en el agua de lluvia	<ul style="list-style-type: none"> • Este dispositivo impide que el material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento. <ul style="list-style-type: none"> • Minimiza la contaminación del agua almacenada (Figura 2.17). • Se debe tomar en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo (1 L/m² aproximadamente). • El agua de lavado debe ser recolectada en un tanque de plástico.
Almacenamiento de agua de lluvia	<ul style="list-style-type: none"> • El tanque debe ser impermeable. • De no más de dos metros de altura. • Debe estar dotado de tapa y disponer de una escotilla con tapa sanitaria. • Debe estar dotado de dispositivos como válvulas de drene. Ver Anexo 3

Como se indica en la **Tabla 2.5**, el sistema de captación debe tener mallas que retengan objetos para evitar que obstruyan la tubería montante o el dispositivo de descarga de las primeras aguas, esto mostrado en la **Figura 2.16**.

Por otro lado, el dispositivo de intercepción de materiales contenidos en el agua de lluvia, mostrado en la **Figura 2.17**, es el dispositivo que evita que el agua

captada transporte además ciertos contaminantes que las mallas de retención no lograron filtrar, tal como se mencionó en la **Tabla 2.5**.



Figura 2.15 Canaletas de recolección (Phillips, 2008)

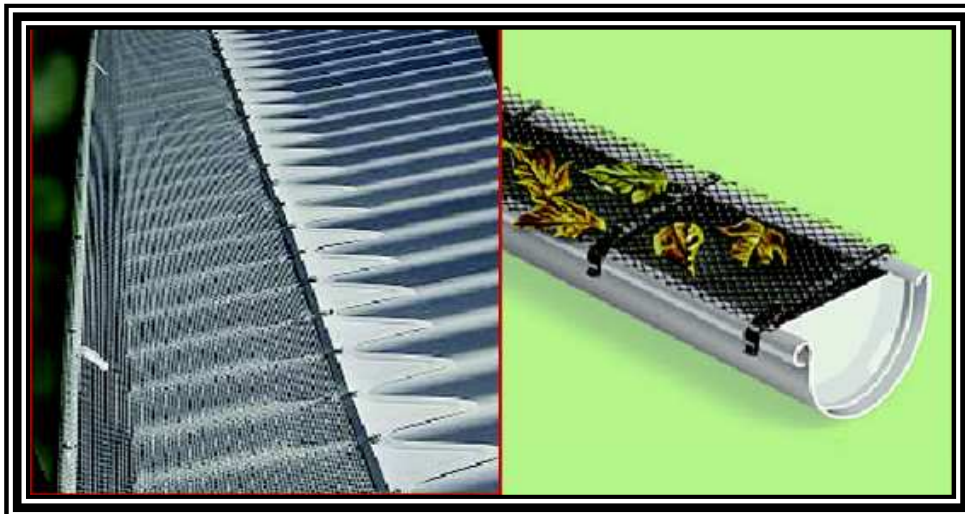


Figura 2.16 Canaletas con malla para evitar la contaminación por hojas (Phillips, 2008)

En la actualidad el almacenamiento del agua de lluvia puede llevarse a cabo mediante tinacos de uso común debido a que es muy práctico y económico, sin embargo se presenta en el **Anexo 3**, el procedimiento de construcción de un tanque de almacenamiento como forma alternativa.

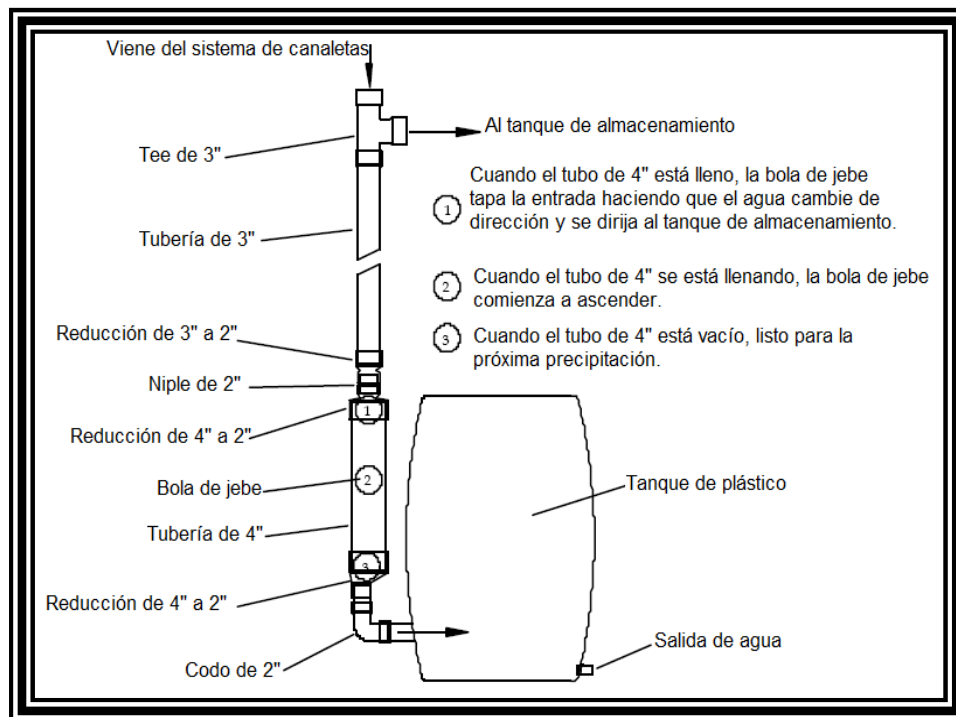


Figura 2.17 Interceptor de primeras aguas (UNATSABAR, 2001)

2.4.2.1.2 Tratamiento del agua de lluvia

Es necesario que el agua retirada y destinada al consumo directo de las personas sea tratada antes de su uso. El tratamiento debe estar dirigido a la remoción de las partículas que no fueron retenidas por el dispositivo de intercepción de las primeras aguas, y en segundo lugar al acondicionamiento bacteriológico. El tratamiento puede efectuarse por medio de un filtro de mesa de arena seguido de la desinfección con cloro o algún otro método de desinfección.

Este filtro de mesa permite obtener, en promedio, 3.75 litros de agua por hora. El filtro tiene una pieza geotextil y arena, éstas se encargan de remover la turbiedad del agua en grado diferente. También posee un reductor de caudal el cual se encarga de controlar la tasa de filtración permitiendo obtener de este modo agua clara para realizar la desinfección (UNATSABAR, 2001).

En la **Figura 2.18** se pueden observar los componentes del filtro de mesa, tales como la pieza geotextil, el arena y el reductor de caudal, además de otros componentes necesarios (UNATSABAR, 2001).

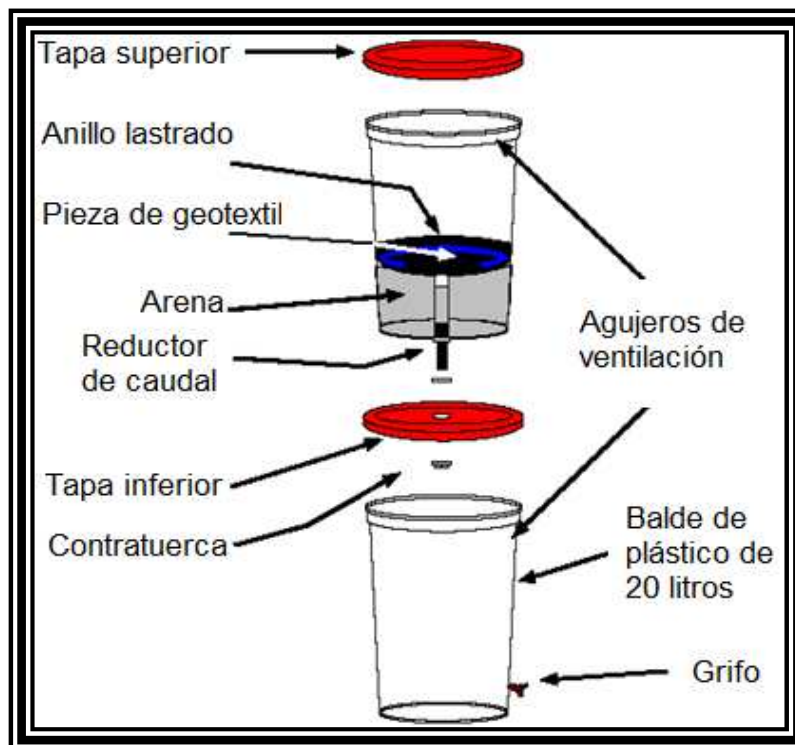


Figura 2.18 Componentes del filtro de mesa (UNATSABAR, 2001)

Tal como se mostró anteriormente, se pueden utilizar una amplia variedad de filtros para poder tratar el agua de lluvia, la **Tabla 2.6** enlista algunas de las tecnologías de filtración que se pueden considerar a parte del filtro de mesa casero, además de su capacidad de remoción.

Tabla 2.6 Algunos tipos de filtro (Hartner y col., 2007)

Sistema de filtración	Tipos de patógenos removidos
Algunos tipos de filtros de bolsa	Algunos parásitos
Algunos tipos de filtros de cartucho	Parásitos
Membranas de microfiltración	Parásitos, la mayoría de las bacterias
Membranas de ultrafiltración	Parásitos, bacterias, algunos virus
Membranas de nanofiltración	Parásitos, bacterias, virus

Para elegir la tecnología de filtración adecuada se necesita considerar por lo menos lo siguiente:

- Las rejillas para canaletas y los pre-filtros sólo remueven partículas grandes, por lo tanto no remueven microbios en general.
- No todas las bolsas y filtros de cartucho quitan la mayoría de los parásitos. Se necesita seleccionar uno en específico.
- Los filtros de cartucho son más baratos que los de bolsa, sin embargo los primeros deben ser reemplazados periódicamente.

- Algunos materiales de membranas, tal como el acetato de celulosa, son extremadamente susceptibles al cloro y a otros desinfectantes. Para utilizar este tipo de filtros se requiere de un dispositivo de eliminación de los desinfectantes; el cual debe contener carbón activado.
- La nano-filtración, así como la ósmosis inversa, requieren de altos niveles de presión para poder trabajar.

Para la desinfección, aunque hay numerosas tecnologías, algunas de éstas son más apropiadas para el uso doméstico que otras. Es recomendable para este propósito utilizar una combinación de luz ultravioleta (UV) y cloro por las siguientes razones:

- La luz ultravioleta es extremadamente efectiva en la eliminación del parásito *Cryptosporidium*, pero se requieren altas dosis para la eliminación de otro tipo de parásitos. En suma, el sistema UV no deja ningún residuo en las tuberías.
- El uso del cloro solo, es muy efectivo contra los virus pero es virtualmente inefectivo contra el *Cryptosporidium*. En suma, el cloro por lo regular deja algunos residuos en las tuberías que permiten seguir desinfectando por algún tiempo.

Para la desinfección en tuberías resultaría recomendable la utilización de ozono, el cual es más caro pero más efectivo. Tal como los rayos UV, el ozono no produce residuos en las tuberías que permitan seguir desinfectando. Sin embargo, es efectivo contra parásitos y virus. Sin embargo, no se tiene la certeza de que el ozono sea saludable para su uso en agua potable.

Hay otros procesos de tratamiento que se pueden considerar para mejorar la calidad tanto química como estética del agua para uso doméstico. Tal es el caso del tratamiento de corrosión del agua, que puede resultar benéfico debido a que el agua de lluvia es ligeramente ácida, ya que contiene muy pocos minerales disueltos y puede llegar a ser muy corrosiva.

Debido a que la tubería de plástico no es atacada por la corrosión, no es necesario tratar el agua de lluvia si las tuberías de la casa son de este material. Por otro lado, el tratamiento para el control de la corrosión es especialmente importante si las tuberías de la casa son de cobre, ya que este material es especialmente susceptible a ser atacado por la corrosión.

Algunos tratamientos contra la corrosión se pueden observar en la **Tabla 2.7**.

Otra característica que debe ser considerada para el tratamiento del agua de lluvia para uso doméstico son los químicos orgánicos volátiles (QOV) y los químicos orgánicos sintéticos (QOS), los cuales no se encuentran en mayor cantidad en el agua, sin embargo se puede llevar a cabo la instalación de un filtro de carbón activado para eliminarlos.

Tabla 2.7 Algunos tipos de tratamiento de la corrosión en agua de lluvia (Hartner y col., 2007)

Tipo de tratamiento	Función	Ventaja
Adición de NaHCO ₃ a los tanques de almacenamiento	Incrementa el nivel de alcalinidad en el agua reduciendo la corrosividad.	Ayuda a proteger los tanques de almacenamiento de la corrosión. No requiere de equipo especial Económico
Uso de filtros con CaCO ₃ , CaO ó Na ₂ CO ₃	Incrementa la dureza del agua reduciendo la corrosividad.	Económico
Uso de Ortofosfato de Zinc	Recubre la tubería previniendo la corrosión.	Ayuda a prevenir incrustaciones en la lámpara de rayos UV (si es que ésta se utiliza)

Es importante considerar que éste debe ser instalado antes del sistema de cloración del agua, ya que si es instalado después el carbón activado remueve las partículas de cloro disminuyendo la capacidad de desinfección, además de que el tiempo de vida del carbón activado también disminuye.

En este tópico también se toman en cuenta la utilización de humedales artificiales, el factor que se debe tomar en cuenta para esto es la utilización que se le piense dar al agua que se ha tratado (Hartner y col., 2007).

2.4.2.2 Sistemas de disminución de consumo de agua

Los sistemas de disminución de consumo de agua nos permiten ahorrar grandes cantidades de este líquido, tanto la que se usa para las actividades diarias de aseo de la casa como la que es utilizada para consumo humano. Esto se logra mediante varios dispositivos que son instalados en las instalaciones de la casa que requieren del uso de agua. Estos dispositivos son principalmente grifos, reductores de caudal, dispositivos antifugas, etc. Estos dispositivos, junto con sus principales características son enlistados en la **Tabla 2.8**.

Los grifos han evolucionado en su fabricación, tanto por los materiales utilizados como por el diseño y por la incorporación de las nuevas tecnologías. Se están desarrollando y comercializando nuevos productos más eficientes y ecológicos. En la **Tabla 2.8** se encuentran los perlizadores, dispositivo mencionado como de adaptación para grifos y que ahorran hasta el 40% del consumo de agua. **Figura 2.19**.

Tabla 2.8 Principales sistemas de disminución de consumo de agua (ACS, 2007; Torres, 2005; Vargas, 2004)

Tipo de sistema	Dispositivos	Características	Referencia
Sistema de ahorro de agua vía grifería	Grifos con aireador	Consiguen aumentar el volumen del agua generando burbujas en el caudal. Hay modelos que consiguen un ahorro de hasta un 90%	ACS, 2007
	Grifos con regulador de caudal	Disponen de un dispositivo que permite limitar el paso máximo de agua. Permiten modificar el caudal máximo un 50%	ACS, 2007
	Grifos con temporizador o push-button	Se accionan mediante un pulsador y se cierran después de un tiempo establecido	ACS, 2007
	Grifos con sensores infrarojos	Funcionan mediante infrarojos que se activan por proximidad. Éstos necesitan instalación eléctrica o pilas. Se consiguen ahorros de entre 70% y 80%. Su precio oscila entre los \$1,000 a los \$1,700.	ACS, 2007
	Perlizadores	Se enrosca en el grifo y mezcla el agua con el aire, de manera que el agua sale como si fuera un chorro de agua en forma de perlas, Figura 2.19. Permiten un ahorro del 40% y tienen un costo aproximado de \$155 pesos.	ACS, 2007
	Limitadores de caudal	Se instalan en la toma de la grifería de los lavabos. Funcionan a presiones de servicio comunes (1-3 bar). Limitan el consumo de agua en grifos de 15 a 8 L/min. Figura 2.20	ACS, 2007
	Dispositivos antifugas	Son electroválvulas cuya función es cortar el paso en caso de producirse una depresión, evitando así inundaciones en caso de presentarse alguna fuga.	ACS, 2007
	Contadores individuales	Controlan el gasto de agua a través de la lectura periódica de los mismos, fomentando una política de ahorro. Éstos tienen una escala numérica que muestra el caudal utilizado. Su precio es de \$1,000 a los \$1,500 pesos aproximadamente. Figura 2.21	ACS, 2007

(Continuación) Tabla 2.8 Principales sistemas de disminución de consumo de agua (ACS, 2007; Torres, 2005; Vargas, 2004)

Tipo de sistema	Dispositivos	Características	Referencia
Sistemas de ahorro de agua vía sanitarios	Pulsador doble para sanitario	Cada botón corresponde a un volumen determinado de agua, 3 ó 6 litros generalmente. Con este dispositivo se puede llegar a ahorrar cerca del 25%. Figura 2.22	ACS, 2007
	Fluxores temporizados	Se accionan mediante un grifo de cierre automático (mecánico o electrónico) instalado sobre una derivación de la red interior de agua.	ACS, 2007
	Fluxores electrónicos	Igual a los temporizados, únicamente que se activan mediante un sistema electrónico basado en detectores de presencia.	ACS, 2007
	Inodoro seco	Se basa en la separación de sólidos y líquidos. Su precio oscila entre los \$7,000 a los \$10,000 pesos. Figura 2.23.	ACS, 2007
	Lavabo adaptado a sanitario	El excusado funciona al abastecerse con agua jabonosa procedente del lavabo y puede funcionar también con agua de la red. El consumo se reduce al 50%. Su costo es de alrededor de \$4,500 a los \$7,000 pesos. Figuras 2.24 y 2.25	Torres, 2005
Sistemas de ahorro de agua vía regaderas	Recuperador	Dispositivo casero que impide que al abrir la llave de la regadera ésta toque el suelo, lo captado se envía a un depósito ex profeso o se regresa a la cisterna. Se ahorran en promedio 20 L de agua por ducha. Figura 2.26.	Vargas, 2004
	Llave de retorno	Se coloca antes de las llaves de agua caliente y fría. Desvía el agua que se dirige a la regadera hacia la cisterna nuevamente para su reuso. Figura 2.27.	Vargas, 2004
	Switch interruptor	La regadera posee un tipo de switch que interrumpe el flujo del agua mientras no se utiliza manteniéndola caliente. Figura 2.28.	Vargas, 2004



Figura 2.19 Perlizadores para grifos (ACS, 2007)

Por otra lado, en la **Figura 2.20**, se muestran algunos limitadores de caudal mencionados en la tabla anterior.



Figura 2.20 Limitadores de caudal para grifos (ACS, 2007)

Los contadores individuales mencionados en la **Tabla 2.8**, se muestran en la **Figura 2.21**.



Figura 2.21 Contadores individuales (ACS, 2007)

Para los sistemas de ahorro vía sanitarios es importante el uso de los dispositivos mencionados en la tabla anterior. El primer dispositivo mencionado es el pulsador de doble botón, el cual se muestra en la **Figura 2.22**.



Figura 2.22 Dispositivo de pulsación doble (ACS, 2007)

Una familia de cinco miembros que usa excusado con agua contamina más de 150 litros de agua al transportar unos 250 litros de excremento al año. Los sanitarios ecológicos secos producen unos 500 litros de abono y 5 mil litros de fertilizante, al transformar el excremento y la orina de una familia en un año. Las partes principales del sanitario, mencionado anteriormente en la **Tabla 2.8** se muestra en la **Figura 2.23**. Cabe mencionar que el sanitario comúnmente se trata de un cubo de chapa perforada que se sitúa debajo del sanitario en una fosa de fácil acceso. La parte líquida discurre a través de la placa base de hormigón perforado y se filtra en la tierra. A la parte sólida se le puede añadir desechos del jardín o basura orgánica, que así mismo facilitará la absorción de líquidos (ACS, 2007).

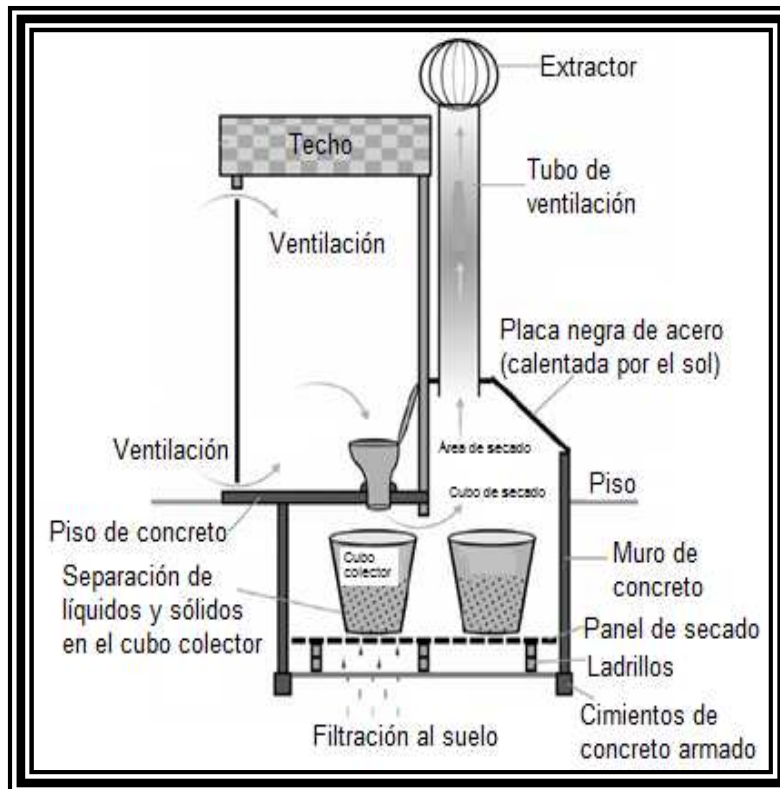


Figura 2.23 Partes principales de un inodoro seco (ACS, 2007)

Otro dispositivo de ahorro de agua es el mencionado en la tabla anterior, el lavabo adaptado al sanitario. Con este dispositivo las fugas se controlan mediante una llave de paso y un tramo de tubería transparente para indicar el nivel (Torres, 2005). El dispositivo se muestra en las **Figuras 2.24 y 2.25**.

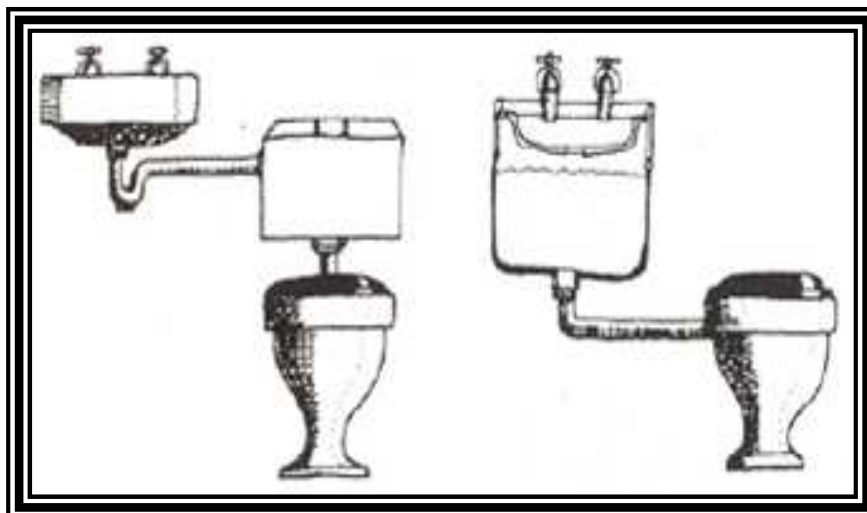


Figura 2.24 Arreglos para reutilización de agua en el inodoro (Torres, 2005)



Figura 2.25 Arreglo para reutilización de agua en el inodoro (Torres, 2005)

Para sistemas de ahorro de agua mediante las regaderas en la **Tabla 2.8** se mencionó un dispositivo casero “recuperador”, el cual se coloca debajo de la regadera impidiendo que al abrir la llave del agua ésta toque el suelo. Este dispositivo se observa en la **Figura 2.26**.



Figura 2.26 Arreglo para ahorro de agua en una regadera (Vargas, 2004)

Por otro lado, la llave de retorno, dispositivo mencionado en la tabla anterior tiene dos pasos; el primero desvía el agua a una tubería que la acumula en un

depósito o preferentemente a la cisterna. El segundo paso la envía a la regadera, como se aprecia en la **Figura 2.27**.

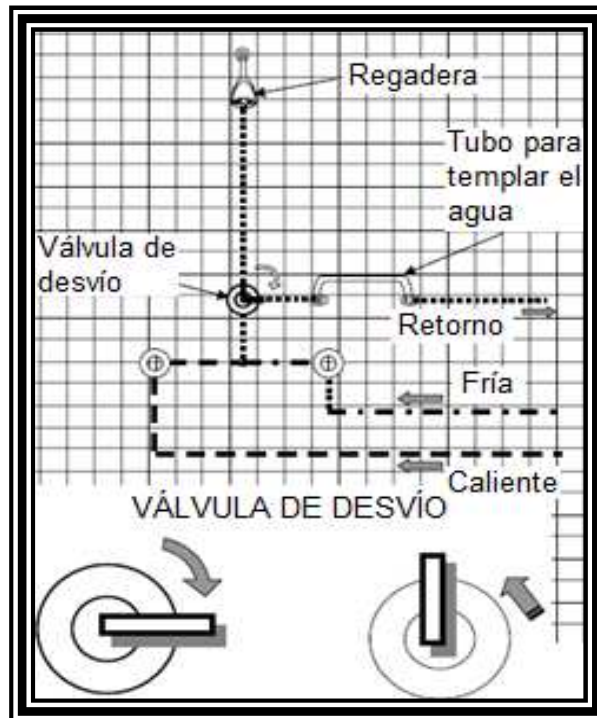


Figura 2.27 Válvulas de desvío en regadera (Vargas, 2004)

El último dispositivo mencionado en la **Tabla 2.8** es el switch interruptor que se encuentra incorporado en la regadera, el cual permite que ésta utilice menos agua (alrededor de 9 L/min), la regadera se aprecia en la **Figura 2.28**.



Figura 2.28 Regadera con interruptor de bloqueo (Vargas, 2004)

2.4.3 Comparación de consumo de agua entre una casa estándar y una casa sostenible

Cada día se utilizan grandes cantidades de agua, pues ésta responde a muchos propósitos diferentes. El agua se utiliza para beber, para lavar los platos, para tomar una ducha, para el sanitario, para cocinar y para muchos otros propósitos. Pero la distribución en el consumo del agua en una casa es diverso, ya que se consume mayor cantidad de agua en el baño que en el jardín o en otros lugares, los principales lugares de consumo de agua en una casa se muestran en la **Figura 2.29**, así como los porcentajes de consumo en promedio.

En la **Figura 2.29**, se puede observar que el uso del agua dentro de la vivienda está notablemente concentrado en la regadera y en el sanitario (alrededor de un 70% del consumo total).

Es obvia la contribución que la vivienda puede hacer al uso eficiente del agua en México. Existen alternativas tecnológicas que pueden ayudar de manera significativa en este objetivo. Se estima que el uso de un conjunto relativamente sencillo de dispositivos tecnológicos en la vivienda puede ahorrar más de un 40% del agua sin reducir el nivel de confort en los usuarios. En la **Tabla 2.9** se muestran las diferencias entre una casa común estándar y una casa auto sostenible.

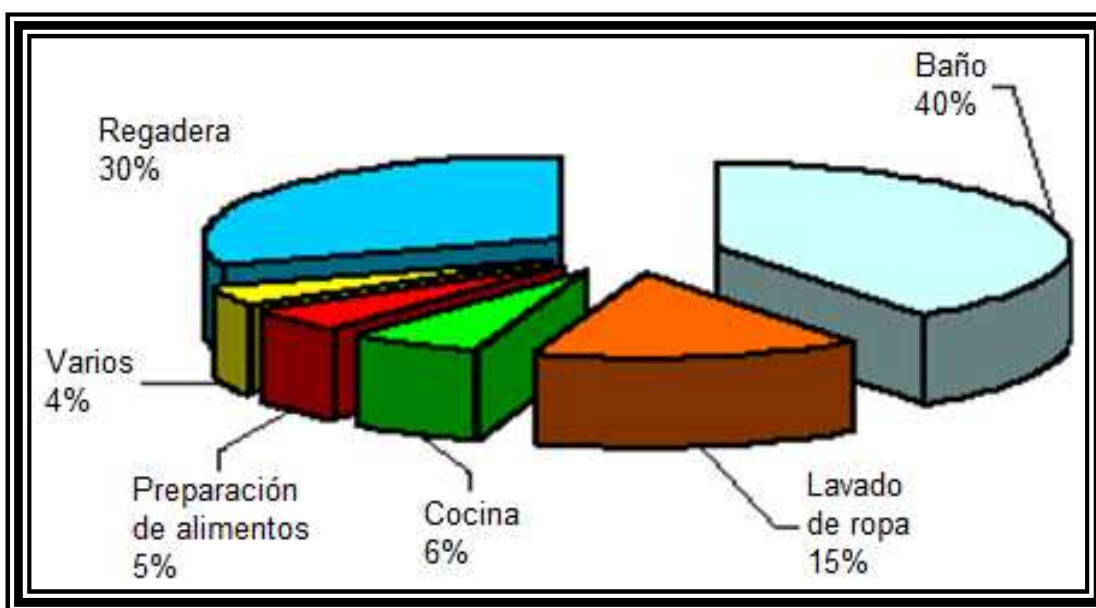


Figura 2.29 Proporción promedio del uso de agua en una casa (CONAVI, 2008)

Tabla 2.9 Comparación de consumos de agua en los dos tipos de casa (CONAVI, 2008)

Lugares y actividades de mayor consumo (140 L/día*persona)	Casa común (L)	Casa auto sostenible/Tecnologías de la casa (% ahorro)/Costo
Baño (lavabo y sanitario)	56	Grifos (70%): 39.2, \$1,000 - \$1,700 Perlizadores (57%): 31.92, \$155 Lavabo adaptado a inodoro (50%): 28, \$4,500 Inodoro seco (100%): 0
Regadera	42	Dispositivo desvío (48%): 20, \$800 Dispositivo captador de agua en regadera (48%): 20
Lavado de ropa	21	Grifos (70%): 14.7 Perlizadores (57%): 11.97
Cocina	8.4	Grifos (70%): 5.88 Perlizadores (57%): 4.788
Preparación de alimentos	7	-----
Varios	5.6	-----

2.4.3.1 Sistemas de tratamiento y reutilización de agua residual

Hay dos tipos principales de agua residual doméstica:

- Aguas negras: aguas provenientes del sanitario
- Aguas grises: cualquier otro tipo de agua residual doméstica, incluyendo aguas residuales del cuarto de baño, cocinas y lavadoras.

Una descarga típica de aguas domésticas tira aproximadamente 35 litros de aguas negras, y 105 litros de aguas grises por persona al día. La posibilidad de su tratamiento en sitio, así como su reuso dependerá en gran medida de su calidad.

Las aguas grises contribuyen con cerca del 65% del volumen de aguas residuales domésticas, el 70% de fósforo total y el 63% del DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), mientras que las aguas negras contribuyen con cerca del 35% del volumen de agua residual, el 61% de sólidos suspendidos, el 82% de nitrógeno total y 37% de DBO.

La presencia de potenciales patógenos en las aguas grises es sustancialmente más baja que en las aguas negras. Sin embargo, varios investigadores han mostrado que las aguas grises pueden contener patógenos. En consecuencia, tanto las aguas grises como las aguas negras requieren de un tratamiento adecuado antes de ser reutilizadas.

Las opciones de tratamiento en sitio y el reuso incluyen tanques sépticos, sistemas de aireación, y sistemas de reuso de aguas grises. Estas opciones se aplican principalmente en zonas rurales y en zonas residenciales rurales (Coombes, 2003).

Sus principales características se enlistan en la **Tabla 2.10**.

Tabla 2.10 Principales características de algunos sistemas de tratamiento de aguas domésticas (Coombes, 2003)

Sistema	Características	Deficiencias y/o inconvenientes
Tanques sépticos. Figura 2.30	<ul style="list-style-type: none"> Cerca del 12% de todas las casas en el mundo cuentan con tanque sépticos. 	<ul style="list-style-type: none"> Cerca del 40% de los sistemas de tanques no operan correctamente.
	<ul style="list-style-type: none"> Involucra la instalación subterránea de un tanque de concreto y una zanja de absorción. 	<ul style="list-style-type: none"> Los nutrientes obtenidos contribuyen a la contaminación de los ríos.
	<ul style="list-style-type: none"> El agua residual es tratada parcialmente por un proceso anaeróbico. 	<ul style="list-style-type: none"> Sus deficiencias son debido a: ↓
	<ul style="list-style-type: none"> Remueve cerca del 30% de los fosfatos, 20% de nitratos, 60% de los sólidos suspendidos totales y 50% de la DBO y la concentración de contaminantes biológicos. 	1) El volumen de agua residual descargada al tanque séptico es superior al volumen de éste, 2) Falta de remoción periódica de lodos,
	<ul style="list-style-type: none"> El tratamiento final es por medio de la absorción. 	3) Un área insuficiente de la zanja de absorción y 4) Un tipo de suelo inapropiado para la absorción.
Sistemas de tratamiento por aireación. Figura 2.31.	<ul style="list-style-type: none"> Cuentan con dispositivos mecánicos para mezclar, airear y bombear el efluente. 	<ul style="list-style-type: none"> Se requiere comúnmente de un mínimo de área de irrigación de 200 m².
	<ul style="list-style-type: none"> Somete al efluente a una descomposición aeróbica y anaeróbica. 	<ul style="list-style-type: none"> El sistema debe incluir una remoción periódica de lodos.

(Continuación) Tabla 2.10 Principales características de algunos sistemas de tratamiento de aguas domésticas (Coombes, 2003)

Sistema	Características	Deficiencias y/o inconvenientes
Sistemas de reutilización de aguas grises. Hay dos tipos de sistemas: Primario y secundario.		
Primario. Figura 2.32.	<ul style="list-style-type: none"> Las aguas grises son recolectadas y distribuidas por gravedad o mediante bombeo a un césped subterráneo. 	<ul style="list-style-type: none"> Se requiere completamente de la selección de los detergentes y productos de lavado.
	<ul style="list-style-type: none"> El agua obtenida puede ser usada para el riego de jardín, lavado de patios y para sanitario. 	<ul style="list-style-type: none"> Las aguas grises sin tratamiento no se pueden usar directamente en los vegetales.
Secundario.	<ul style="list-style-type: none"> Incorporan un tanque de almacenamiento para tratamiento de aguas grises. 	<ul style="list-style-type: none"> Se requiere completamente de la selección de los detergentes y productos de lavado.
	<ul style="list-style-type: none"> El suministro de aguas grises para sanitario y riego del jardín es a través de una bomba. 	<ul style="list-style-type: none"> Las aguas grises sin tratamiento no se pueden usar directamente en los vegetales.

Los tanques sépticos son ampliamente utilizados en varios países del mundo, tal como Estados Unidos, España y Brasil (Coombes, 2003). Se puede apreciar un esquema en la **Figura 2.30**.

El agua residual ingresa al tanque donde es tratada por un proceso anaeróbico, posteriormente el efluente es sacado del tanque mediante bombeo o por gravedad hacia una zanja previamente llenada con grava para llevar a cabo la absorción de contaminantes remanentes. Por último el efluente es filtrado al suelo donde es sujeto a un proceso de remoción de contaminantes por organismos subterráneos antes de alcanzar la superficie.

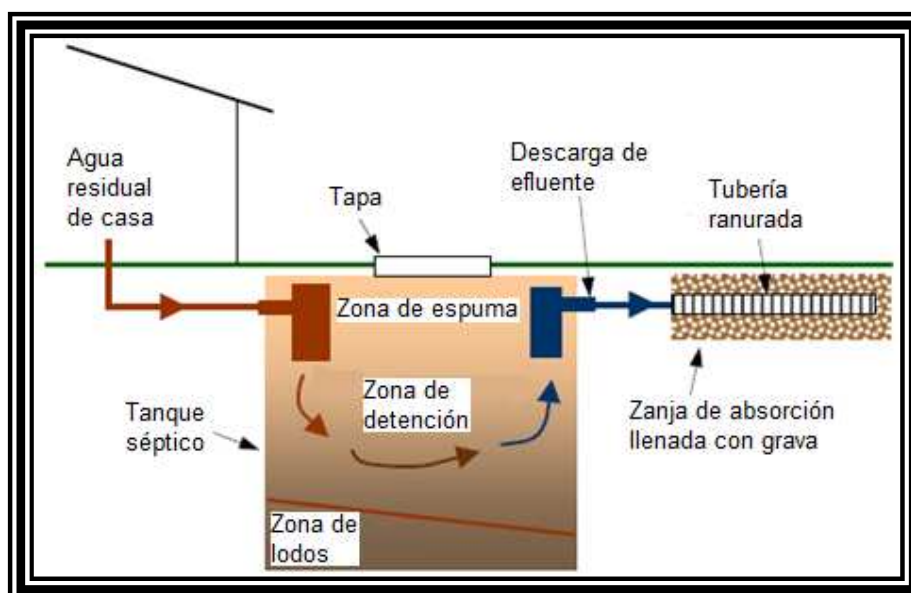


Figura 2.30 Sistema de tanque séptico y zanja de absorción (Coombes, 2003)

Otros sistemas son los de aireación, los cuales someten al efluente a un tratamiento aeróbico y anaeróbico. **Figura 2.31.**

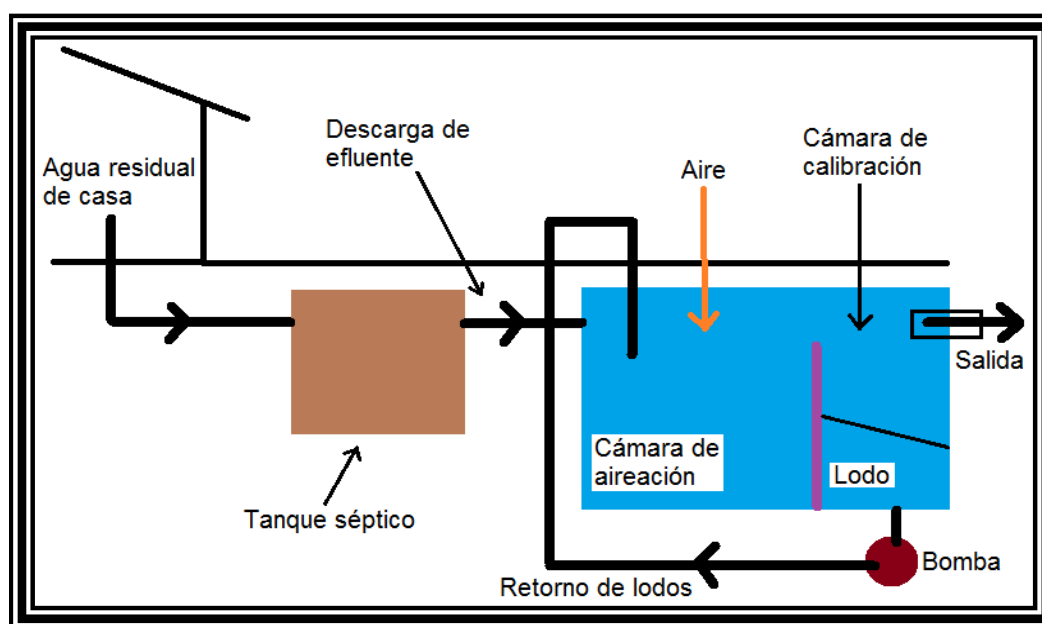


Figura 2.31 Sistema de tratamiento de aguas residuales por aireación (Coombes, 2003)

Por otro lado, hay dos tipos principales de sistemas de reutilización de las aguas grises: el sistema primario y secundario como se mencionó en la **Tabla 2.10.**

En un sistema primario, las aguas grises son recolectadas y distribuidas por gravedad o mediante bombeo a un césped subterráneo para así regar el jardín, como se muestra en la **Figura 2.32**.

Sin embargo este sistema ya es algo complejo debido a que ya incluye aireación y bombeo del efluente.

Los sistemas secundarios incorporan un tanque de almacenamiento para tratamiento de aguas grises. El suministro de aguas grises para sanitario y riego del jardín es a través de una bomba (Coombes, 2003).

Los costos de construcción para los sistemas de agua residual pueden variar de manera considerable. Por lo regular el costo promedio para la instalación de un tanque séptico es de alrededor de \$45,000 pesos, y el costo promedio de un sistema reticulado de aguas residuales es de alrededor de \$140,000 pesos. El costo por instalar un sistema de aireación para aguas residuales es de aproximadamente \$60,000 a \$80,000 pesos con un costo de mantenimiento de \$2,600 pesos por año (Coombes, 2003).

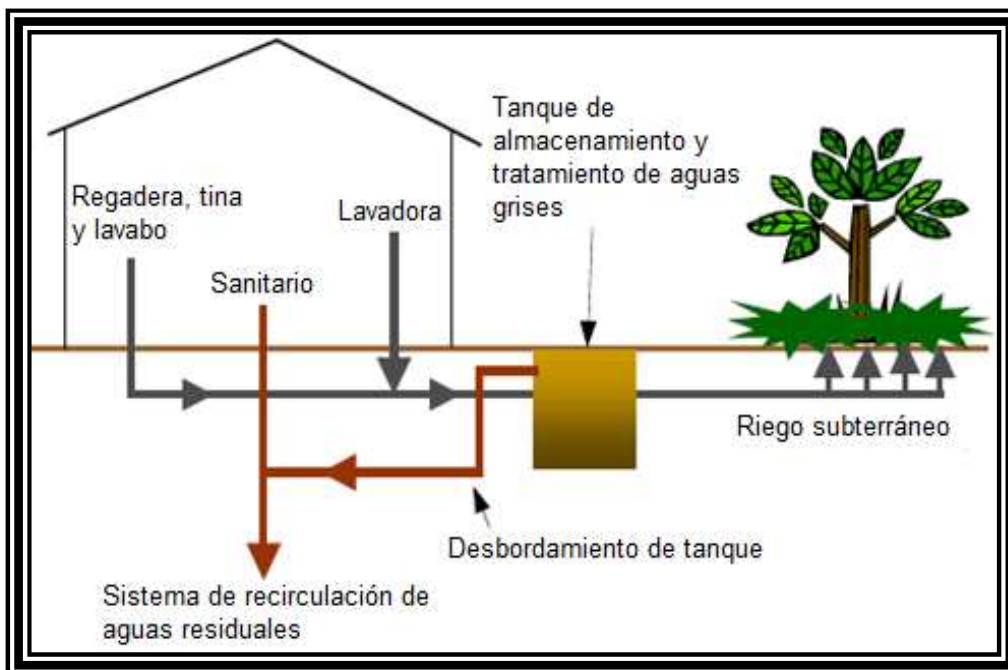


Figura 2.32 Sistema primario de reuso de aguas grises (Coombes, 2003)

2.4.3.1.1 Humedales artificiales

Por su extensión e importancia, el tema de los humedales artificiales se trata a parte de los otros sistemas de tratamiento de aguas domésticas.

Los humedales artificiales son una alternativa más para el tratamiento de las aguas residuales desechadas por una casa, ya sean negras o grises. Un humedal artificial es un sistema de tratamiento de agua residual (estanque o cauce) poco profundo, construido por el hombre, en el que se han sembrado plantas acuáticas, y contado con los procesos naturales para tratar el agua residual. Este sistema tiene una ventaja con respecto a los otros sistemas de tratamiento alternativos, ya que no requiere de energía para funcionar y solo se requiere de cierto espacio.

Hay dos tipos básicos de humedales artificiales, estos se muestran en la **Tabla 2.11**.

Tabla 2.11 Principales arreglos de humedal artificial (Llagas y col., 2006; Kadlec y col., 1993)

Sistema de humedal artificial	Características
Sistema de agua superficial libre (SASL) Figura 2.33.	<ul style="list-style-type: none"> • Consisten típicamente de un estanque o canales, con una clase de barrera subterránea para prevenir la filtración a fin de soportar la vegetación emergente, y agua en una profundidad relativamente baja (0.1 a 0.6 m). • La profundidad baja del agua, la velocidad baja del flujo, y la presencia de tallos de planta y basura regulan el flujo del agua. • Se aplica agua residual pre-tratada a estos sistemas. • El tratamiento ocurre cuando el flujo de agua atraviesa lentamente el tallo y la raíz de la vegetación emergente.
Sistema de flujo bajo la superficie (SFBS) Figura 2.34.	<ul style="list-style-type: none"> • Son similares a los filtros horizontales por goteo. • Se caracterizan por el crecimiento de plantas emergentes usando el suelo, grava o piedras como sustrato de crecimiento en el lecho del canal. • Dentro del lecho los microbios facultativos atacan al medio y las raíces de las plantas, contactando de este modo el agua residual que fluye horizontalmente a través del lecho. • Son diseñados con el propósito de obtener niveles de tratamiento secundarios.

En la **Figura 2.33** se puede apreciar el sistema superficial libre, el cual se mencionó en la **Tabla 2.11**.

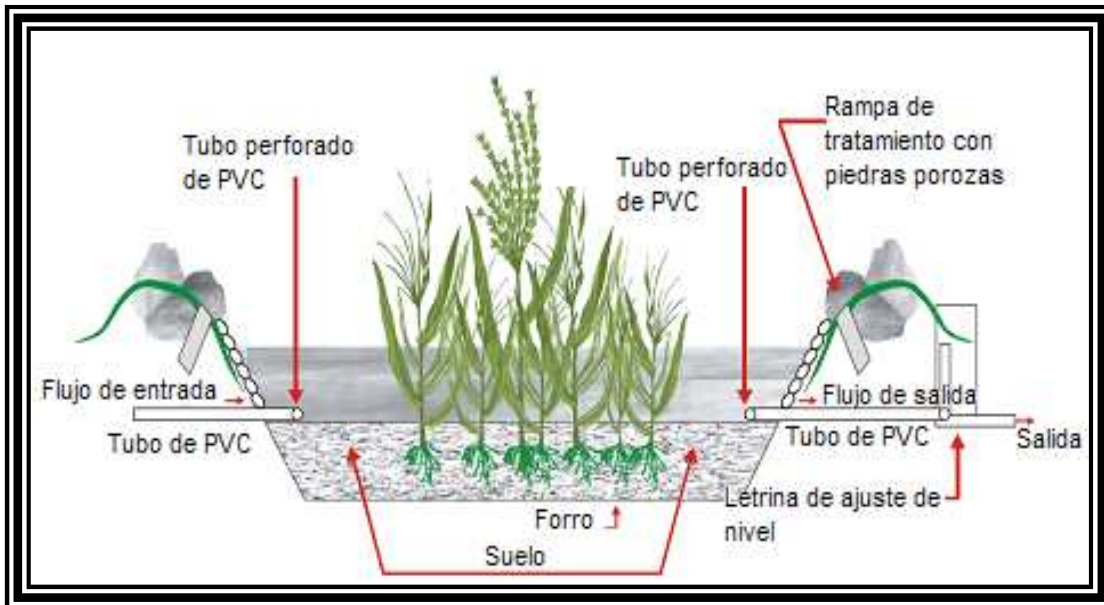


Figura 2.33 Sistema de agua superficial libre (Llagas y col., 2006)

Por otra parte, en la **Figura 2.34** se muestra el sistema alterno de humedal artificial el cual es bajo superficie.

Las funciones de las plantas flotantes o sumergidas en los humedales artificiales, es derivar el dióxido de carbono y las necesidades de oxígenos de la atmósfera, además de absorber oxígeno, dióxido de carbono y minerales de la columna de agua, esto se ilustra en la **Tabla 2.12** (Llagas y col., 2006).

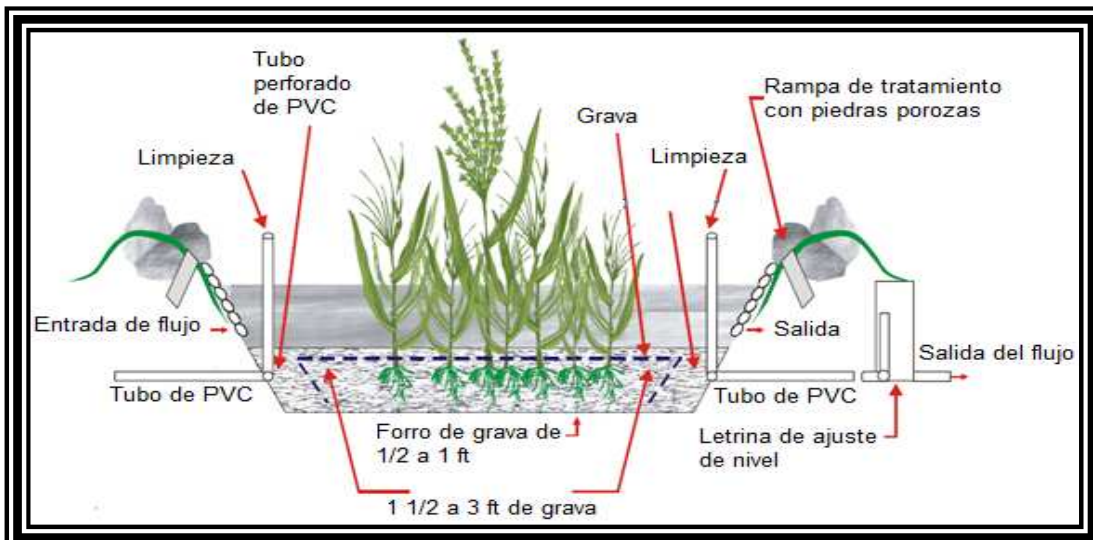


Figura 2.34 Sistema de flujo bajo la superficie (Llagas y col., 2006)

Tabla 2.12 Funciones de las plantas en los sistemas de tratamiento acuático (Llagas y col., 2006)

Familia	Nombre Latino	Nombres comunes más usuales	Temperatura (°C)		Máxima salinidad tolerable (ppt)	Rango efectivo de pH
			Deseable	Germinación de las semillas		
Ciperáceas	<i>Carex sp.</i>	--	14-32		20	5-7.5 4-9
	<i>Eleocharis sp.</i>	--	18-27			
	<i>Scirpus lacustris L.</i>	Junco de laguna				
Gramíneas	<i>Glyceria fluitans L.</i>	Hierba del Maná	12-23	10-30	45	2-8
	<i>Phragmites Australis</i>	Carrizo				
Iridáceas	<i>Iris pseudacorus L.</i>	Lirio amarillo, espadaña fina				
Juncáceas	<i>Juncus sp.</i>	Juncos	16-26		20	5-7.5
Tifáceas	<i>Thypha sp</i>	Eneas, aneas, espadañas	10-30	12-24	30	4-10

Es sabido que el porcentaje de remoción de los humedales artificiales es el que se presenta en la **Tabla 2.13**.

Tabla 2.13 Porcentaje de remoción obtenido por humedales artificiales (Tesillos y col., 2007)

Contaminante	Porcentaje de remoción
DBO ₅	70-96
Sólidos suspendidos	60-90
Nitrógenos	40-90
Fósforos	Depende de la estación del año

Los humedales pueden tratar con efectividad altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos (SS) y nitrógeno, así como niveles significativos de metales, trazas orgánicas y patógenos. La remoción de fósforo es mínima debido a las limitadas oportunidades de contacto del agua residual con el suelo. Los mecanismos básicos de tratamiento son por lo regular como se mencionó, la sedimentación, precipitación química, absorción e interacción biológica.

En la **Figura 2.35** se observan los principales procesos que se llevan a cabo en un humedal artificial y que permiten la depuración del agua residual. Los humedales artificiales se han instalado en un sinnúmero de países, debido a que ya ha sido probada su eficiencia y su bajo costo.

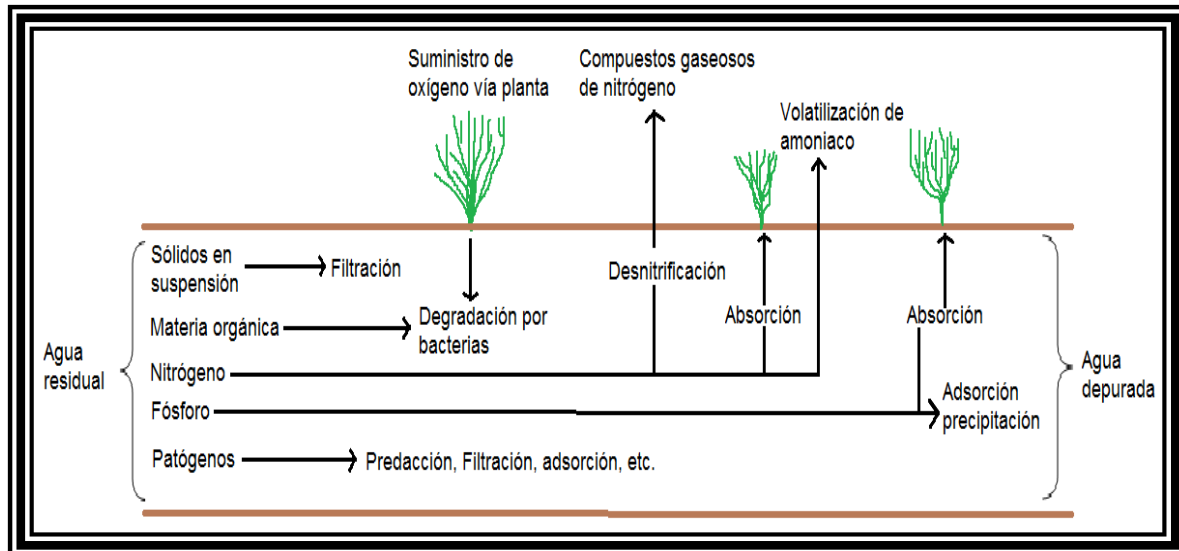


Figura 2.35 Procesos de depuración de los humedales artificiales (Llagas y col., 2006)

2.4.3.1.1 Ejemplo de diseño de un humedal artificial de flujo vertical

La mayoría de los humedales artificiales de flujo vertical (HAFV), que han estado en operación por varios años, han sido diseñados basándose en reglas empíricas. El cálculo de las dimensiones de los HAFV, tales como la longitud, el ancho y la profundidad se obtiene geoméricamente (Marble, 1997). La diferencia más significativa en las numerosas metodologías que existen para diseñar HAFV, radica en el cálculo del área superficial tomando en cuenta los criterios típicos de diseño de un humedal artificial **Tabla 2.14**. Por un lado, un método determina el área basándose en el criterio de la carga hidráulica, el cual es frecuentemente un valor constante, esperando mantener las condiciones de flujo subterráneo. La otra manera comúnmente usada para determinar el área superficial es basándose en la carga orgánica que entrará al sistema, calculando la eliminación de la DBO_5 descrita por una cinética de primer orden y un flujo uniforme (Gelt, 1997), si bien es cierto que el diseño basado en esta suposición ideal ha demostrado ser menos adecuado, debido a los patrones de flujo altamente no ideal que invariablemente se presentan en todo el HAFV.

Tabla 2.14 Criterios típicos de diseño de un HAFV (Tesillos y col., 2007)

Dimensión	Criterio 1	Criterio 2
Sección transversal	Criterio de la carga orgánica o Ley de Darcy	Ley de Darcy
Área superficial	Criterio de la carga hidráulica	Carga orgánica
Ancho	Geometría	Geometría
Longitud	Geometría	Geometría
Profundidad	0.3-0.5 m	≈ 0.6 m

Por otro lado, el dimensionamiento para tratar agua residual doméstica se lleva a cabo por un sistema integrado por dos etapas de flujo vertical, el área total de las celdas de la etapa 1 debe ser de 0.6 a 1 m²/ft³ y las camas de la etapa 2 son diseñadas comúnmente de 0.3 a 0.5 m²/ft³. Las dimensiones más grandes han sido utilizadas en los diseños más antiguos, cuando la alimentación consistía frecuentemente de agua sin pre-tratamiento. Las camas de la etapa 2 son construidas con la misma profundidad que la etapa 1, pero su número corresponde a la mitad del número de camas de la primera etapa. Cuando las cargas hidráulicas manejadas son muy grandes, puede ser necesario incrementar la superficie de infiltración. En el caso de la adición de subsecuentes celdas, éstas deben ser dimensionadas de 0.3 a 0.7 m²/ft³.

Los humedales artificiales han sido instalados en diversas partes del mundo, tal como en el Perú, en donde ya se ha implementado su uso en casas. Esto se puede apreciar en la **Figura 2.36**. El agua tratada en estos humedales es utilizada generalmente para el lavado de ropa y la limpieza de las casas, además del riego de las áreas verdes de las casas. El caudal promedio tratado es de 1.2 m³/día.

En Ruanda, también se han llevado a cabo la instalación de humedales artificiales en las casas para el tratamiento de sus aguas residuales **Figura 2.37**, estos proyectos comprenden la instalación de diversos sistemas de tratamiento de aguas. El humedal instalado trata las aguas provenientes de una cámara de tratamiento, así en condiciones de pendiente favorable se lleva cabo la conducción por gravedad, ahorrando así costos de electricidad.

Otro caso de humedal artificial instalado en el jardín de una casa es en Canadá **Figura 2.38**. Este humedal artificial es utilizado para el tratamiento de aguas grises provenientes de la sala de lavado de la casa, de la cocina y la regadera. Este humedal artificial es de flujo vertical y trata alrededor de 2.4 m³/día.



Figura 2.36 Sistema de humedal artificial en Perú (Miglio, 2006)

Algunas ventajas por las cuales se deben tomar en cuenta los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas son:

- Son de técnica sencilla.
- Bajo costo de inversión en comparación con tecnologías de tratamiento convencionales.
- Costos de mantenimiento y operación prácticamente despreciables
- No requieren de la adición de productos químicos.
- Gasto energético nulo o muy bajo en dependencia de la topografía
- Vida útil superior a los 40 años.
- Sistema versátil y altamente flexible que permite tratar muchos tipos de aguas residuales, así como amplias variaciones en las características del agua residual.
- Sistema compacto que en forma integral agrupa procesos de bio-filtración, degradación aerobia, degradación anaerobia y tratamiento de lodos en un mismo elemento de tratamiento.

No producen malos olores, dado que el flujo de agua residual fluye sub-superficialmente.



Figura 2.37 Sistema de humedal artificial en Ruanda (DWC, 2004)



Figura 2.38 Sistema de humedal artificial en Canadá (Miglio, 2006)

El sistema puede integrarse al paisaje natural de la zona donde se ubique.

El costo de los humedales artificiales varía dependiendo del área en la que se planea instalar, la capacidad de tratamiento y el tipo de plantas que se requiera utilizar, sin embargo, este sistema es bastante económico en comparación con otros sistemas de tratamiento; así como también sirve para darle un toque diferente al jardín. La inversión promedio que se hace para un humedal de flujo vertical con dimensiones de 8 m² es de cerca de \$4,500 pesos.

2.4.3.2 Calidad del agua de reuso

A pesar de la larga historia que tiene la cultura de reuso de las aguas residuales en muchas partes del mundo, la seguridad sobre el reuso de éstas sigue siendo un enigma, principalmente por la calidad del agua.

Sin embargo, un estudio específico de los científicos de la ciudad de St. Petesburgo, Florida; estimó el riesgo al que está expuesta la población, concluyendo que:

- No hay evidencia de enfermedades intestinales en los habitantes de casas de regiones urbanas debido al riego con aguas residuales tratadas; y
- No hay evidencia de riesgos significativos de enfermedades virales como resultado de la exposición a las aguas residuales tratadas.

Sin embargo, el estudio recomendó que el adecuado tratamiento de las aguas debe estar destinado siempre a eliminar, o por lo menos minimizar el riesgo potencial de transmisión de enfermedades.

La salud de las personas al reutilizar el agua residual está muy relacionada con la cantidad de organismos patógenos presentes en ésta. La supervivencia de patógenos en las aguas residuales es muy variable. La **Tabla 2.15** muestra los periodos de supervivencia de varios tipos de organismos patógenos bajo diversas condiciones, los números dentro de los paréntesis muestran el tiempo de supervivencia normal.

Otros parámetros que muestran la calidad del agua con respecto a su reutilización son la acumulación de metales pesados, la salinidad, el pH, el contenido de materia orgánica, etc. Estos parámetros por lo regular varían, ya que dependen del uso que se le haya dado a las aguas residuales en el hogar. Sin embargo, también se pueden disminuir por diversos métodos.

Tratada de forma adecuada, el agua residual de las casas puede ser reutilizada para muchos propósitos, a excepción de su uso como agua potable (Feachem y col., 1993)

Tabla 2.15 Periodos de supervivencia de distintos organismos patógenos en diversas superficies (Feachem y col., 1993)

Tipo de patógeno	Tiempo de supervivencia (días)			
	En heces y lodo	En aguas residuales y agua dulce	En el suelo	En cultivos
Virus	<100 (<20)	<120 (<50)	<100 (<30)	<60 (<15)
Bacterias				
Coliformes fecales	<90(<50)	<60(<30)	<70(<20)	<30(<15)
Salmonela	<60(<30)	<60(<30)	<70(<20)	<30(<15)
Cólera	<30(<5)	<30(<10)	<20(<10)	<5(<2)
Protozoarios	<30(<15)	<30(<15)	<20(<10)	<10(<2)
Huevos de helminto	Muchos meses	Muchos meses	Muchos meses	<60(<30)

2.5 Manejo sostenible en energía eléctrica y térmica

2.5.1 Situación actual de la generación y el consumo de energía

En los últimos años se han registrado grandes fluctuaciones en el precio de los energéticos, particularmente en el gas natural. También se ha experimentado un aumento continuo en las tarifas eléctricas. El escenario descrito obliga a buscar alternativas confiables para el suministro energético, tales como combustibles alternativos, generación propia de electricidad por parte de las empresas y las casas, privilegiando los esquemas de cogeneración, y la implementación de medidas de ahorro y uso eficiente de energía.

La gran mayoría de los proyectos nuevos de generación a gran escala (PIE's y autoabastecimiento) usan gas natural como combustible, operando plantas de ciclo combinado. También los proyectos de cogeneración se han enfocado casi exclusivamente a este combustible. Lo anterior implica una creciente sensibilidad del sector eléctrico a los precios del gas natural.

El consumo de combustibles para la generación de electricidad en México fue equivalente a 1,691.14 PJ disminuyendo 4.6% entre 2007 y 2008. Se aprecia una gran variedad de combustibles y fuentes de energía utilizados para generar electricidad. La **Figura 2.39** presenta la generación de electricidad por fuente en algunos países. Esto obedece a la disponibilidad que se tiene de combustibles, así como a las medidas adoptadas por cada gobierno. De esta manera, se puede ver que varios países, entre ellos México, dependen de combustibles fósiles para la generación de electricidad.

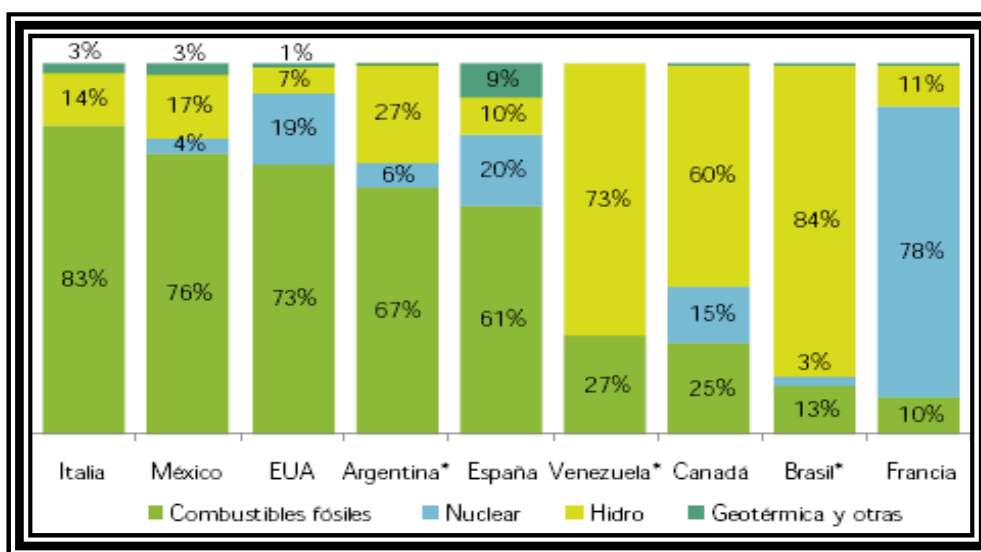


Figura 2.39 Generación de electricidad por fuente para países seleccionados (porcentajes) (SENER, 2008)

La producción de electricidad primaria aumentó 23.5% respecto a 2007, al alcanzar 566.12 PJ. Destaca el incremento de 44.2% en la generación de electricidad a partir de hidroenergía. Este crecimiento fue posible debido a la operación continua durante 2008 de la nueva central El Cajón de 750 MW en Nayarit, que incrementó en 7.3% la capacidad instalada de hidroeléctricas y a un mayor uso del recurso hidráulico derivado de los niveles de almacenamiento de agua en los embalses. La energía eólica también tuvo un crecimiento de 3.1%, debido a la operación de la central La Venta II de 83 MW, la cual inició operaciones en 2007. No obstante, tanto la nucleenergía como la geoenergía disminuyeron 6.9% y 4.4%, respectivamente (SENER, 2008).

Sin embargo en la **Tabla 2.16** se observa que la capacidad instalada del año 2000 al año 2008 ha aumentado considerablemente capacidad instalada de generación eléctrica.

Tabla 2.16 Capacidad instalada de generación eléctrica en MW (SENER, 2008)

Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Carboeléctrica	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600
Nucleoeléctrica	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365
Hidroeléctrica	9,619	9,619	9,608	9,608	10,530	10,536	10,566	11,343	1,343
Geotermoeléctrica	855	838	843	960	960	960	960	960	965
Eoloeléctrica	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Térmica convencional	14,283	14,283	14,283	14,283	13,983	12,935	12,895	12,865	12,865
Turbogas	2,360	2,381	2,890	2,890	2,818	2,599	2,509	2,831	2,653
Combustión interna	116	143	144	143	153	182	182	217	216
Total	36,698	38,520	41,178	44,554	46,552	46,534	48,769	51,029	51,105

2.5.1.1 Estructura del consumo de electricidad para México

De acuerdo con la **Tabla 2.17**, México tiene una estructura de consumo diferente a Estados Unidos y Canadá, puesto que la demanda de electricidad en el país está altamente concentrada en el sector transporte que aumentó 12.4% con respecto al año 2007; esto debido en mayor medida al aumento de 10.3% en el poder calorífico neto de las gasolinas y naftas.

Tabla 2.17 Consumo final total de energía en Pjoules por sectores (SENER, 2008)

Sector	Consumo final total	Variación porcentual (%) 2008/2007
Residencial, comercial y público	893.03	0.9
Transporte	2,158.90	12.4
Agropecuario	134.05	8.0
Industrial	1,369.53	-2.0

Si al análisis del consumo se le agrega un breve estudio de tarifas para el suministro eléctrico, se puede observar que el precio de la electricidad residencial va en aumento conforme a los años (**Figura 2.40**), es por ello que es bueno tener en cuenta un plan de ahorro energético en casa, el cual debe contemplar todos los aspectos necesarios para ahorrar electricidad.

Aún con el aumento de las tarifas de electricidad, la demanda de ésta aumenta cuando se presenta una expansión de la actividad económica del país. Esto se debe principalmente a que una mayor dinámica económica mejora el ingreso familiar, lo cual implica incrementos en el consumo de bienes electrodomésticos (refrigeradores, televisores, estéreos, hornos de microondas, planchas, licuadoras, etc.) lo que se traduce en mayor demanda de electricidad residencial, esto se puede ver en la **Figura 2.41**.

Como consecuencia de este crecimiento en la demanda de electricidad residencial, la generación (oferta) ha presentado una cierta tendencia a disminuir, lo que nos muestra la necesidad de la disminución de la demanda eléctrica. En la **Figura 2.42** se ve la disminución que se menciona líneas arriba. La oferta de electricidad considerada involucra la llamada electricidad primaria, misma que encierra sectores como la generación nuclear, hidroeléctrica, geotérmica y eólica.

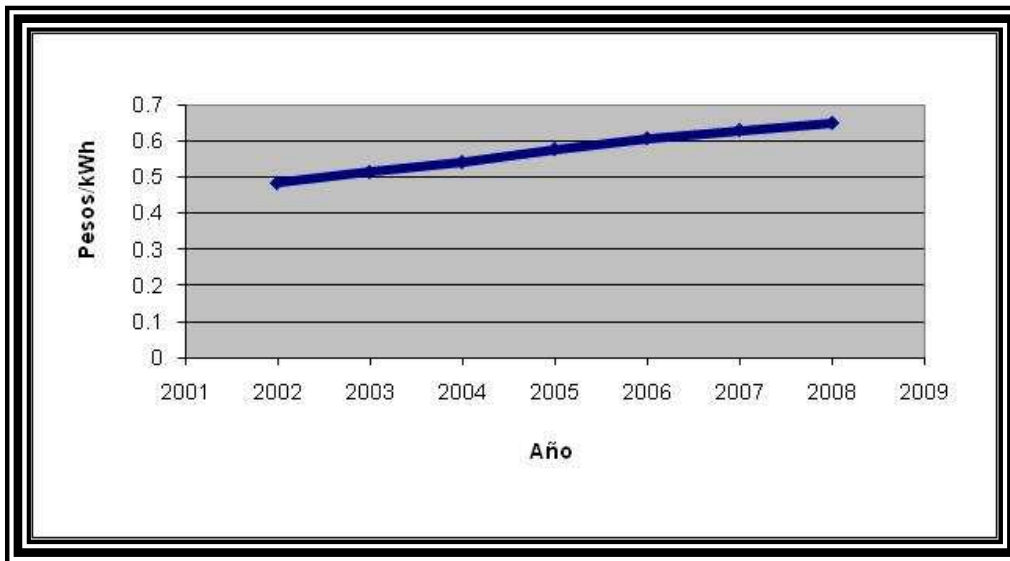


Figura 2.40 Tarifas residenciales en México de 1-75 kWh (Tarifa baja tensión), 2000-2008 (LyFC, 2009)

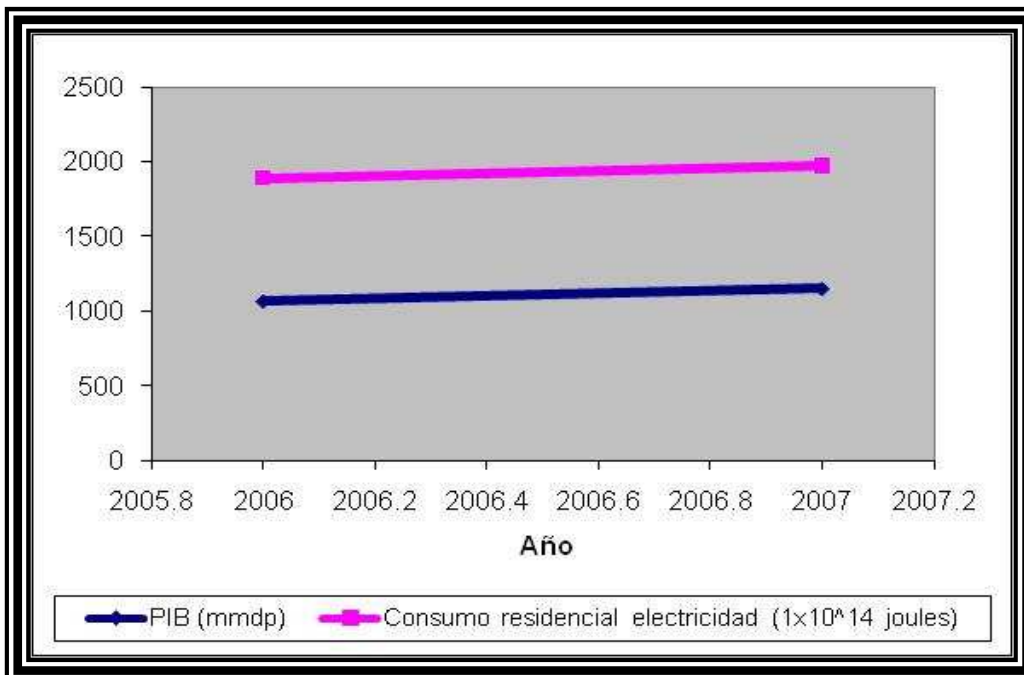


Figura 2.41 Correlación entre el crecimiento económico y el consumo de electricidad residencial en México (SENER, 2007)

Existe una estrecha correlación entre la demanda y la generación de energía eléctrica. Sin embargo, durante el periodo de 2006 a 2007, la tasa de crecimiento de la oferta es menor respecto a la demanda, lo que ha propiciado la escasez de este fluido en diversas partes del país.

Este es otro indicio para la promoción de tecnologías que permitan a las personas el ahorro de energía eléctrica y térmica en sus casas, ya que de seguir así, la oferta no podrá satisfacer a la demanda, de tal manera que se producirá un colapso total en este rubro (SENER, 2007).

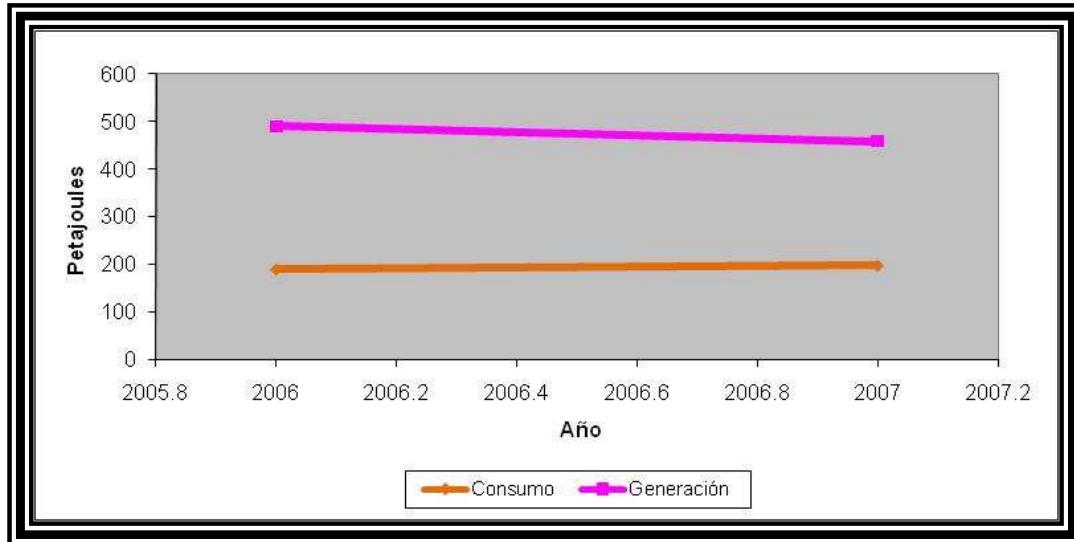


Figura 2.42 Correlación entre la demanda y la oferta de electricidad residencial en México (SENER, 2007)

2.5.2 Tecnologías para el ahorro de electricidad en casas sostenibles

Además de todas las acciones que se pueden llevar a cabo para el ahorro de energía en una casa, tal como mantener apagados los focos que no se utilicen, así como los aparatos eléctricos; también se puede propiciar el uso de tecnologías un poco más “complejas” que ayudan de forma considerable a la disminución del consumo de energía eléctrica en casa.

En ocasiones estas tecnologías representan llevar a cabo inversiones considerables, sin embargo, éstas a la larga son bastante redituables, ya que la disminución en el consumo de energía eléctrica está directamente relacionada con la facturación que se recibe por parte de la compañía proveedora del servicio, además de la reducción al impacto ambiental, la cual es incuantificable.

Si aún no se ha adquirido una casa, es recomendable considerar los aspectos acerca de la orientación de ésta, ya que si son tomados en cuenta se puede ahorrar mucho en sistemas de calefacción.

2.5.2.1 Captación de energía solar mediante paneles

La energía solar proveniente del sol, siempre ha sido de gran interés para la comunidad energética. Este interés proviene de que la energía solar total que llega a la superficie de nuestro planeta es tres órdenes de magnitud mayor a la energía primaria total que la sociedad utiliza y además, que proviene del sol, el cual se puede considerar como una fuente infinita de energía para fines prácticos de nuestra sociedad. El problema es que su densidad superficial es relativamente baja como se verá a continuación y que es intermitente; consecuentemente los procesos de transformación a energéticos secundarios o energía final, tienen bajas eficiencias.

Debido a las diferentes formas en las que se puede transformar esta energía en energía útil, se trata en tres formas. La primera se refiere a la conversión directa a través de celdas fotovoltaicas, la segunda a su conversión a calor en fluidos a alta temperatura y la tercera a su conversión a calor en fluidos a baja temperatura.

2.5.2.1.1 Celdas fotovoltaicas

La celda fotovoltaica se desarrolló varias décadas atrás y una de sus primeras aplicaciones más conocidas fue integrar los sistemas automáticos para abrir puertas. La celda está compuesta de dos materiales semiconductores pegados uno al otro. Los fotones de la radiación solar que inciden sobre una de las superficies, generan la corriente eléctrica compuesta por electrones libres en movimiento; al interrumpirse la radiación solar desaparece esa corriente eléctrica. Este proceso se da debido a ciertos fenómenos físicos que ocurren cuando los fotones interactúan con los electrones orbitales en los átomos del material.

Existe una decena de tecnologías relacionadas con la fabricación de celdas fotovoltaicas (**Tabla 2.18**). Básicamente, sólo tres de ellas, todas con base en silicio (obleas de silicio cristalino o semicristalino y silicio amorfo en película delgada) son comerciales. Debido a los costos de manufactura, existe un consenso generalizado que las tecnologías ganadoras serán aquellas basadas en películas delgadas porque su proceso de fabricación se presta a la producción masiva.

Los costos actuales relacionados con esta tecnología están por arriba de todas las otras tecnologías para generar electricidad. Éstas son del orden de 150 a 300 $\$/W_{pico}$ para aplicaciones de autoabastecimiento y de 65 a 80 $\$/W_{pico}$ para generación conectada a la red eléctrica. Los costos de generación se encuentran en un rango de 300 a 850 c $\$/Wh$. Las ventas de sistemas basados en celdas fotovoltaicas a nivel mundial son ya de alrededor de \$12,800,000,000 de pesos al año, a una tasa del orden del 30%.

Se tienen expectativas optimistas de desarrollo que reduzcan para el 2020 los costos de instalación a 20 $\$/W_{pico}$ y a 1-2 $\$/Wh$. Cabe aclarar que estas cifras no contienen ninguna referencia en relación al almacenamiento de la energía

eléctrica producida, lo cual hace que su utilización requiera el respaldo de algún otro sistema, ya sea la red, un generador diesel, etc.

Tabla 2.18 Los diferentes tipos de celdas fotovoltaicas y sus eficiencias (UAM-SENER, 2003)

Tecnología	Símbolo	Características	Eficiencia record en laboratorio (%)	Eficiencia típica de paneles comerciales (%)*
Silicio cristalino	Sc-Si	Tipo oblea	24	13-15
Silicio multicristalino	mc-Si	Tipo oblea	19	12-14
Película de silicio cristalino sobre cerámicos	f-Si	Tipo oblea	17	(8-11)
Película de silicio cristalino sobre vidrio	---	Película delgada	9	---
Silicio amorfo	a-Si	Película delgada	13	6-9
Cobre-Indio/Galio-Selenio	CIGS	Película delgada	18	(8-11)
Cadmio/Telurio	CdTe	Película delgada	16	(7-10)
Celdas orgánicas	---	Película delgada	11	---
Celdas de alta eficiencia en tandem	III-V	Oblea/película delgada	30	---
Celdas de alta eficiencia con concentradores	III-V	Oblea/película delgada	33(tandem)/ 28(sencilla)	---

* En paréntesis, el valor de producción en planta piloto o primera producción comercial.

La generación eléctrica por unidad de área de celda se puede incrementar a través del uso de concentradores de la radiación solar como son las lentes de fresnel. Esto hace que la radiación incidente se incremente y consecuentemente la energía generada también.

Es importante tener en cuenta que debido a la baja densidad superficial de la radiación solar, se requieren superficies grandes para satisfacer la demanda (UAM-SENER, 2003).

2.5.2.1.1.1 Componentes principales de los sistemas fotovoltaicos y sus características

Los sistemas fotovoltaicos domésticos generalmente responden a un esquema común que comprende los siguientes componentes representados en la **Tabla 2.19**.

Tabla 2.19 Componentes de los sistemas fotovoltaicos domésticos (IES, 1998)

Componente	Descripción
Generador fotovoltaico	Compuesto por uno o más módulos fotovoltaicos, los cuales están interconectados para conformar una unidad generadora de corriente continua, CC.
Estructura de soporte	Estructura mecánica para el generador fotovoltaico
Batería	De material plomo-ácido compuesta por varios vasos, cada uno de 2 V de voltaje nominal.
Regulador de carga	Sirve para prevenir excesivas descargas o sobrecargas de la batería
Cableado	Cables, interruptores y cajas de conexión

La mayoría de los sistemas fotovoltaicos domésticos actuales son de baja potencia y operan enteramente en corriente continua CC. Es posible que estos sistemas provean energía eléctrica en corriente alterna, CA, utilizando convertidores CC/CA, también llamados onduladores o inversores (IES, 1998).

El número de paneles a instalar debe calcularse teniendo en cuenta:

- La demanda energética en el mes más desfavorable.
- La radiación máxima disponible en el mes más desfavorable. Ésta dependerá de la zona en cuestión, la orientación y la inclinación de los módulos fotovoltaicos elegida.

Los módulos fotovoltaicos se pueden instalar en terrazas, tejados, azoteas y patios, pero también en marquesinas, pérgolas, balcones, cornisas, cubiertas de estacionamientos, etc. Un aspecto fundamental en la localización de los módulos es asegurar que no existen obstáculos que les puedan dar sombra, al menos durante las horas centrales del día (vegetación, otros edificios, elementos constructivos, otros módulos, etc.).

Si se observan las posiciones del Sol al amanecer, mediodía y atardecer en cualquier lugar del hemisferio norte, se verá como el Sol sale por el este, se desplaza en dirección sur y se pone por el oeste.

Es por eso que para aprovechar a lo largo del año más tiempo la luz solar, la orientación de los paneles se hace hacia el sur en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur. En definitiva, los paneles se instalarán siempre mirando hacia el Ecuador, tal como se observa en la **Figura 2.43**.

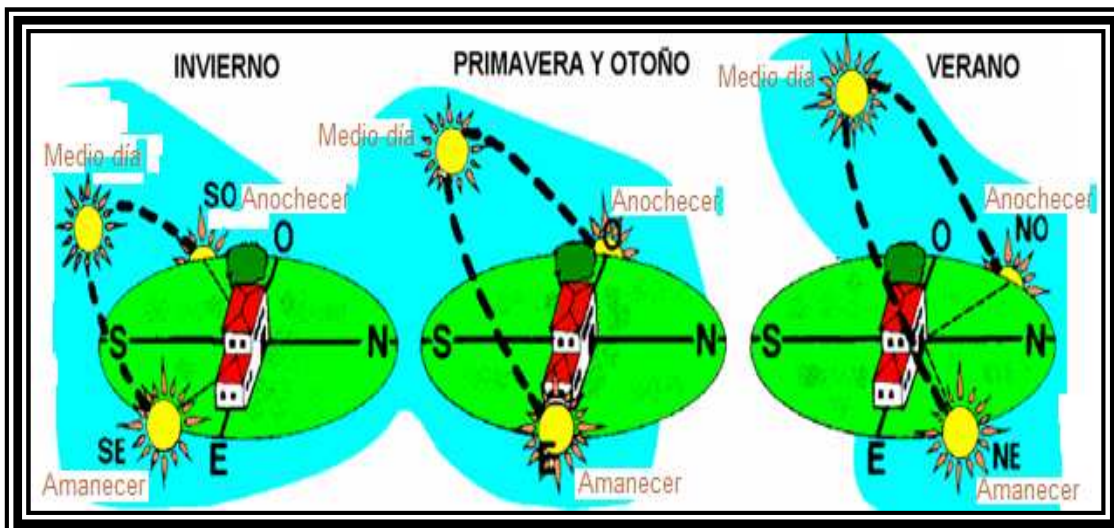


Figura 2.43 Recorrido del Sol del hemisferio norte (IES, 1998)

La inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos depende de:

- La altitud del lugar donde se van a instalar.
- La tipología, según sea una instalación conectada o aislada de la red eléctrica.

En una instalación conectada a la red eléctrica lo que se persigue es la máxima producción anual (la mayor cantidad posible de kWh a lo largo del año); para conseguir este fin los paneles fotovoltaicos se inclinan entre 5° y 10° de la latitud, aunque esto deja de generar por estar inclinados por encima o por debajo de este óptimo sólo un 0.08% por grado de desviación respecto a la inclinación óptima.

2.5.2.1.1.2 Opciones de montaje de los sistemas fotovoltaicos

Hay varias formas de instalar los arreglos fotovoltaicos en una residencia. La mayoría de éstos producen de 5 a 10 Watt/ft² de área. Esto se basa en una amplia variedad de tecnologías y de productos. Un sistema fotovoltaico típico de 2 kW necesitará de 200 a 400 ft² de área. Se debe considerar también el área de acceso al sistema, este espacio de acceso puede llegar a agregar un 20% de espacio al ya considerado para el montaje. Como se puede apreciar en la **Tabla 2.20.**, hay tres tipos principales de montaje de los sistemas fotovoltaicos, los cuales tienen solo pequeñas diferencias.

Tabla 2.20 Principales formas de montaje de sistemas fotovoltaicos domésticos (CEC, 2001)

Tipo de montaje	Descripción
Montaje en techo	<ul style="list-style-type: none"> • Se monta por encima o en paralelo al techo, con algunas pulgadas de separación para su ventilación y en ocasiones con una pequeña inclinación. • Por lo regular se utilizan brackets de montaje para cada módulo de 100 Watts.
Montaje de sombra	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema se monta para funcionar además como marquesina. • El peso aproximado del sistema fotovoltaico es de 3 a 5 lb/ft², lo cual es fácil de soportar por la estructura de una marquesina.
BIPV (Building Integrated Photovoltaics)	<ul style="list-style-type: none"> • Este arreglo es simplemente la adición del sistema fotovoltaico como parte de la estructura de la casa. • Una ventaja es la adición del sistema sin costos mayores por soporte, instalación, brackets, etc.

Los costos de los módulos de paneles fotovoltaicos varían dependiendo de la cantidad de energía que entregan y del material, sin embargo algo básico sería un módulo portable por ejemplo, que entrega cerca de 50 Wh, tiene una batería de bajo poder y cuesta alrededor de \$8,000 a \$9,000 pesos; este sistema hace operar una televisión pequeña, alrededor de tres focos y una bomba de agua. Un sistema más poderoso que genera alrededor de 600 Wh y puede hacer funcionar varios focos, una televisión, un estéreo, un horno de microondas y una bomba de agua (pero no al mismo tiempo), tiene un costo de alrededor de \$20,000 pesos. Sin embargo, los costos de los módulos cada vez van siendo menores debido a los avances de la tecnología, que cada vez va avanzando más en este campo (CEC, 2001).

2.5.2.1.2 Celdas solares térmicas

Los sistemas de energía solar térmica utilizan los rayos solares para obtener agua caliente. Unas placas especiales, denominadas colectores, concentran y acumulan el calor del Sol, y lo transmiten a un fluido que queremos calentar. Este fluido puede ser bien el agua potable de la casa o bien el sistema hidráulico de calefacción de la vivienda.

En cuanto a la generación de agua caliente para usos sanitarios, hay dos tipos de instalaciones, las cuales se presentan en la **Tabla 2.21**.

Tabla 2.21 Principales tipos de instalación para generación de agua caliente (IES, 1998)

Tipo de instalación	Características	Inconvenientes
De circuito abierto	El agua de consumo pasa directamente por los colectores solares.	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta problemas en zonas con temperaturas por debajo del punto de congelación del agua, así como en zonas con alta concentración de sales. • Dificultad para emplear materiales que no contaminen el agua.
	Reduce costos y es más eficiente (energéticamente hablando).	<ul style="list-style-type: none"> • El riesgo de vaporización y congelación. • El funcionamiento a la presión de la red con peligro en los colectores.
		<ul style="list-style-type: none"> • El no poder emplear anticongelante. • El mayor riesgo de corrosión. • Las posibles incrustaciones calcáreas.
De circuito cerrado	El agua de consumo no pasa directamente por los colectores solares.	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema es más caro que el de circuito abierto.
	Se utiliza un líquido anticongelante que atraviesa los tubos de los colectores solares.	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere un sistema de control pequeño.
	El líquido caliente atraviesa el circuito hidráulico primario hasta llegar al acumulador.	
	En caso de no alcanzar la temperatura entra en acción el sistema de calentamiento alterno.	

Los sistemas también pueden clasificarse en función del tipo de circulación del fluido. Así, la circulación del fluido se consigue por circulación natural o forzada, tal como se muestra en la **Tabla 2.22**.

Tabla 2.22 Características de los sistemas de circulación natural y forzada para calentamiento de agua (IES, 1998)

Tipo de instalación	Características	Inconvenientes
Circulación natural (sistema termofísico). Figura 2.44.	El depósito debe colocarse en un nivel superior a los colectores para permitir la convección por diferencia de temperatura.	El depósito de agua del sistema tiene que estar por encima de los paneles.
	Tiene que haber una diferencia suficiente de temperatura entre el colector y el acumulador y una altura entre el acumulador y los colectores mayor de 30 centímetros.	La circulación natural reduce también un poco el rendimiento del sistema solar.
	El sistema se diseña con volúmenes mayores de 70 L/m ² de colector.	El peso del acumulador puede llegar a ser de 300 kg hasta los 500 kg.
	El sistema es de simple instalación.	
	El sistema es independiente de la red de suministro eléctrico.	
Circulación forzada. Figura 2.45.	Es un sistema que cuenta con un electrocirculador.	El sistema tiene necesidades de energía eléctrica.
	Evita los defectos propios de los sistemas de circulación natural.	Requiere de regulación y control de la circulación.
	Cuando el intercambiador está a una altura inferior a los colectores, el electrocirculador es imprescindible.	Requiere forzosamente de una válvula antirretorno para evitar el posible efecto termosifónico nocturno.
	Es posible colocar el acumulador en el interior de la vivienda, así no tiene que estar encima del techo.	La inversión inicial es alta y requiere de energía eléctrica para la bomba.
	La circulación forzada ofrece un rendimiento superior al de un sistema de circulación natural.	
	El consumo de energía es compensado por una mayor producción de agua caliente.	

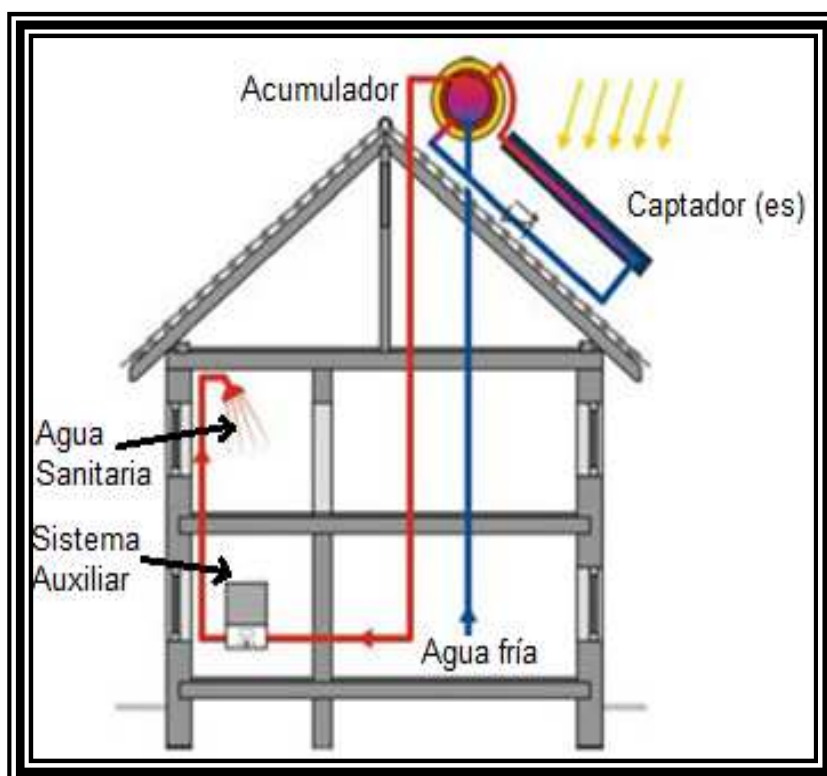


Figura 2.44 Sistema por circulación natural o termosifónico (IES, 1998)

Cualquiera de estos sistemas de energía solar térmica doméstica evita la emisión de hasta 4.5 toneladas de emisiones de gases nocivos para la atmósfera. El tiempo aproximado de retorno energético es de un año y medio aproximadamente.

Para el buen funcionamiento del sistema de agua caliente, es necesario tener un depósito de agua caliente, su función es conservar caliente el agua producida por los paneles solares durante un tiempo limitado, normalmente entre 1 y 4 días en el caso de sistemas pequeños.

Un buen depósito debe tener una alta capacidad calorífica, un volumen adecuado, responder de manera rápida a la demanda, integrarse bien en el edificio, ser accesible económicamente, ser seguro, y tener larga duración.

Suelen tener forma cilíndrica (como el que se muestra en la **Figura 2.46**, lo cual facilita el fenómeno de estratificación. Se construyen en acero, acero inoxidable, aluminio, fibra de vidrio reforzado y plásticos. El tamaño del depósito deberá ser de 30 a 60 litros por m² de panel solar en sistemas pequeños. En este tipo de sistemas no es factible conservar la producción de agua caliente del verano para el invierno, por cuyo motivo solamente se habla de depósitos con capacidad diaria.

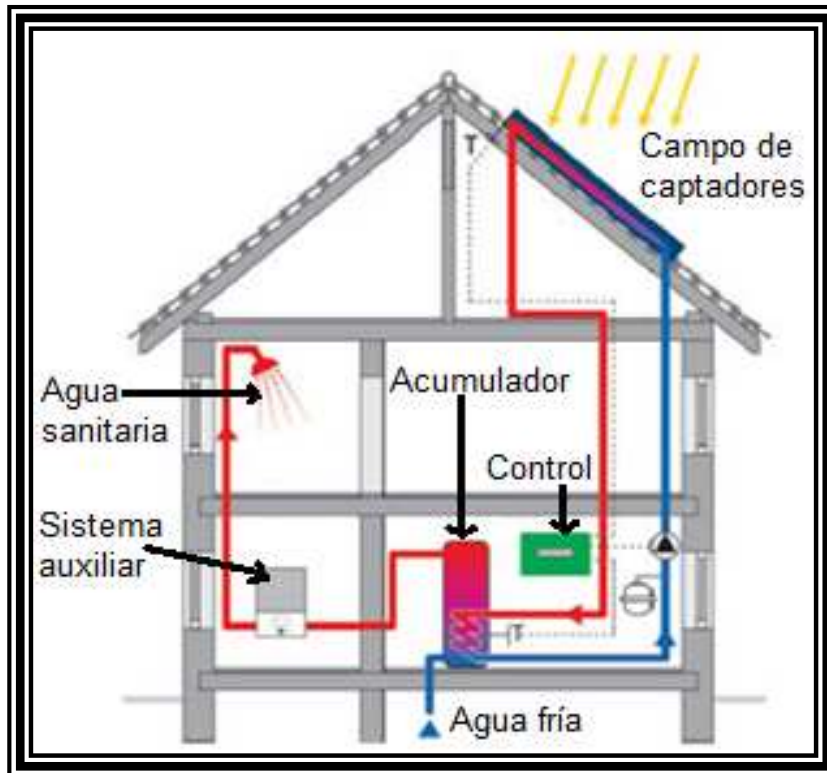


Figura 2.45 Sistema por circulación forzada (IES, 1998)



Figura 2.46 Sistema de almacenamiento de agua caliente (IES, 1998)

En el caso de que se quiera instalar un depósito mixto para el agua caliente sanitaria y calefacción, se necesita hacer el cálculo considerando de 50 a 75 litros por m² de panel solar. Para sistemas unifamiliares es posible utilizar la siguiente regla: 50 litros de depósito por persona + 50 litros, es decir, en la gran mayoría de los casos, el depósito estaría en aproximadamente de 200 a 300 litros.

El costo de estos sistemas varía dependiendo de la capacidad que se quiera tener de almacenamiento y de calentamiento, así como de las personas que ocuparán el agua, pero los sistemas comunes tienen un costo desde \$15,000 a \$50,000 pesos (CEC, 2001).

2.5.2.1.3 Sistemas híbridos

Los sistemas híbridos, es decir, los sistemas que incorporan tanto un sistema térmico como un fotovoltaico dentro de un sistema simple, en el que ambas energías se aprovechan, tanto la energía de calentamiento como la de producción de electricidad. Un arreglo típico es el de agregar módulos fotovoltaicos a una superficie colectora de rayos solares.

Este sistema híbrido de generación de dos tipos de energías funciona convirtiendo del 6 al 15 % de la radiación solar a energía eléctrica, convirtiendo la restante a energía térmica mediante el fenómeno de reflexión. Esta pequeña cantidad de producción de energía eléctrica por estos sistemas se da debido a la alta temperatura que se puede llegar a alcanzar debido a la exposición de los módulos al sol, sin embargo; los sistemas híbridos también pueden llegar a incorporar un sistema de enfriamiento mediante ciertos fluidos tales como el agua o el aire, los cuales llevan a cabo el enfriamiento mediante el intercambio de calor y así logran mejorar la cantidad de producción de energía eléctrica.

Los sistemas híbridos de producción de energía se han ido popularizando cada vez más debido a que este tipo de sistemas hacen de la energía solar algo valioso, además de que aprovechan la superficie de los techos (CEC, 2001).

2.5.2.2 Sistemas eólicos

Entre las fuentes energéticas renovables, el viento es un recurso disponible, ecológico y sostenible. La energía del viento se deriva del calentamiento diferencial de la atmósfera por el sol, y las irregularidades de la superficie terrestre. Aunque sólo una pequeña parte de la energía solar que llega a la tierra se convierte en energía cinética del viento, la cantidad total es enorme.

Con la ayuda de los aerogeneradores o generadores eólicos se puede convertir la fuerza del viento en electricidad. Éstos tienen usos muy diversos y pueden satisfacer demandas de pequeña potencia (bombeo de agua, electrificación, etc.) o agruparse y formar parques eólicos conectados a la red eléctrica.

La producción de energía eléctrica eólica normalmente se asocia a la imagen de grandes lugares con numerosas y enormes máquinas en las colinas o en mar abierto, sin embargo, también existen las instalaciones eólicas de pequeño tamaño; las cuales tienen un impacto visual y medio ambiental sustancialmente nulo como se puede apreciar en la **Figura 2.47**, éstos son de tamaño poco superior al de una antena parabólica. Se pueden utilizar de forma aislada o junto a paneles fotovoltaicos, para proporcionar electricidad a ciertas zonas de una casa, por ejemplo.

Con las micro instalaciones eólicas hay por lo tanto un espacio significativo para producir energía eléctrica en pequeña escala, de forma sostenible y compatible con el medio ambiente.

Gracias a los avances de la tecnología aplicada a las turbinas de viento, principalmente en lo referido a alternadores (imanes permanentes, sin escobillas, etc.) y a rotores (aerodinámica mejorada, fibras carbónicas termoelásticas, dispositivos de autocontrol, etc.), la generación eólica de electricidad se ofrece hoy como una herramienta de enorme valor y al alcance de todos para aquellos lugares que disponen del recurso del viento.

En el mercado mundial hay una gran variedad de aerogeneradores que, en el segmento de generación doméstica, van desde los 10 W hasta los 20 kW de potencia que cuestan alrededor de los 15 a los 20 mil pesos. Ello ofrece al usuario la posibilidad real de resolver, prácticamente, todo tipo de problemas de energía, ajustándose a sus necesidades.



Figura 2.47 Sistema de generación de energía eólica instalado en una casa (Ando y col., 2005)

Los aerogeneradores actuales pueden ser empleados en forma independiente o formando sistemas híbridos de generación con otros elementos de energías renovables (paneles fotovoltaicos y microturbinas hidráulicas) para cargar bancos de baterías, bombeo de agua, calentamiento de líquidos y ambientes, etc. Con vientos mensuales promedio de sólo 20 Km/h un pequeño aerogenerador de 300 W, 7 Kg de peso y rotor de 1.1 metros de diámetro, produce 1300 Wh diarios, suficientes para que una familia tenga iluminación básica, televisión, radio, bombeo de agua y hasta un pequeño refrigerador.

Es muy importante tomar en cuenta el área de barrido, es decir, el área en la que el aerogenerador tomará ventaja de la fuerza del viento y así pueda transformarla en energía útil.

Cuando se multiplica la altura de las aspas del aerogenerador por su diámetro, se obtiene el área de barrido. Es de notar que a mayor área de barrido, mayor será el aprovechamiento de energía por parte del aerogenerador.

2.5.2.2.1 Puntos principales a considerar de un aerogenerador

Los sistemas de generación eólica domésticos por lo general están compuestos por un rotor, un generador o alternador montado en una estructura, una cola, una torre, el cableado, y los componentes del “sistema de balance”: controladores, inversores y las baterías. A través del giro de los alabes la turbina convierte la energía cinética del viento en un movimiento rotatorio que acciona el generador, éstos y sus características son expuestos en la **Tabla 2.23**.

2.5.2.2.2 Costo de un sistema de energía eólica

Por regla general, la estimación en costo de un sistema eólico es de unos 15,000 a 40,000 pesos por kilowatt. La energía eólica tiene una mejor relación costo/beneficio entre más grande sea el tamaño del rotor. Aunque las turbinas pequeñas tengan un costo inicial menor, son proporcionalmente más caras. El costo de un sistema eólico residencial que tiene una torre de 24 m de alto, batería y un inversor, típicamente está en el rango de los 140,000 a los 450,000 pesos para turbinas de entre los 3 y los 10 kW.

Aunque los sistemas de energía involucran una inversión inicial significativamente alta, pueden ser competitivos con fuentes convencionales de energía, cuando se toman en cuenta factores como el tiempo de vida útil a la reducción en los costos evitados con la compañía eléctrica. El período de retorno de la inversión depende de la elección del sistema, el recurso eólico en el sitio, los costos de la electricidad en su área y cómo se utiliza el sistema de energía eólica (Ando y col., 2005).

Tabla 2.23 Puntos y partes de un aerogenerador (Ando y col., 2005)

Partes y puntos a considerar	Características principales
Turbina eólica	<ul style="list-style-type: none"> • La mayoría de las turbinas son de eje horizontal aunque cada día son más los fabricantes de turbinas verticales. • La cantidad de electricidad que una turbina puede generar, está determinada por el diámetro del rotor. • El rotor define su área de barrido. • La coraza de la turbina es la estructura en la cual el rotor, el generador y la cola se encuentran montados. • La cola ayuda a mantener a la turbina siempre perpendicular al viento.
Torre	<ul style="list-style-type: none"> • La turbina es montada en una torre, por lo general a mayor altura se produce una mayor cantidad de energía. • La torre evita las turbulencias de aire que podrían existir cerca del piso. • Se recomienda instalar la turbina en una torre en la cual la parte inferior del rotor esté a una altura de 9 metros de cualquier obstáculo que se encuentre a una distancia de 90 metros de la torre. • Relativamente inversiones menores en una torre más alta pueden resultar en tasas más altas de generación de energía.
Balance del sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Son aquellos componentes que se requieren adicionalmente de la turbina y la torre. • Estos componentes dependerán de su aplicación. • Para un sistema residencial conectado a la red, los componentes incluirán un controlador, baterías de almacenamiento, una unidad rectificadora de señal (inversor) y el cableado.
Sistemas aislados	<ul style="list-style-type: none"> • Estos sistemas requieren el uso de baterías para almacenar la energía excedente generada y usarla cuando no exista viento. • Requieren un controlador de carga para proteger a las baterías de una sobrecarga. • Las baterías de ciclo profundo, tienen la capacidad de descargarse y recargarse cientos de veces hasta en un 80% de su capacidad, lo cual las hace buenas para sistemas de energía renovable remotos. • Las baterías automotrices no son de ciclo profundo por lo que debe evitarse su uso en sistemas de energía renovable.
Sistemas conectados a la red	<ul style="list-style-type: none"> • En este tipo de sistemas, el único equipo adicional requerido es el inversor, que hace compatible la electricidad generada por la turbina con la de la red. Por lo general, no se requiere el uso de baterías.

Las instalaciones de aerogeneradores se han popularizado en diversas partes del mundo, debido a las ventajas ya mencionadas anteriormente, tal es el caso de varias comunidades de Argentina como son Challaco, Bahía Blanca, Chihuido, Senillosa, Santa Cruz (**Figura 2.48**), Tres Cerros y Córdoba (De Nápoli, 2006).



Figura 2.48 Sistema de generación de energía eólica en Santa Cruz, Argentina (De Nápoli, 2006)

Otra instalación de aerogenerador eficiente hecha por la empresa INVAP de Argentina en el lado sur de la Patagonia es un modelo de aerogenerador que entrega 4.5 kW mostrado en la **Figura 2.49**. Este mismo sistema ya ha sido instalado en diversas partes de Francia y Alemania.



Figura 2.49 Sistema de generación de energía eólica instalado en la Patagonia, Argentina (De Nápoli, 2006)

2.5.2.2 Iluminación mediante lámparas LED

Un LED, es un diodo emisor de luz, esto es, un dispositivo semiconductor que emite luz cuando circula por él corriente eléctrica. Su gran ventaja frente a las tradicionales bombillas de filamento de tungsteno, e incluso frente a las bombillas de bajo consumo, radica en su eficiencia energética:

- Los diodos LED no poseen un filamento de Tungsteno como las bombillas. Por ello, son más resistentes a los golpes y su duración es mayor, ya que no dependen de que el filamento se termine quemando.
- La eficiencia de los LED's es mucho mayor. Mientras el rendimiento energético de una bombilla es del 10% (sólo una décima parte de la energía consumida genera luz), los diodos LED aprovechan hasta el 90%.
- El equivalente a una bombilla se puede construir con aproximadamente una decena de LED's. Si alguno se rompe es incluso posible sustituirlo. Son baratos y fáciles de fabricar.

Un ejemplo de las lámparas LED son las lámparas elaboradas por Nichia Corporation **Figura 2.50**, las cuales tienen una eficiencia de 150 lm/W, utilizando para ello una corriente de polarización directa de 20 mA. Esta eficiencia comparada con otras fuentes de luz (en términos sólo de eficiencia); es aproximadamente 1.7 veces superior a la de la bombilla fluorescente con prestaciones de color altas (90 lm/W) y aproximadamente 11.5 veces superior a la de la bombilla incandescente (13 lm/W). Su eficiencia es incluso más alta que la de la bombilla de vapor de sodio de alta presión (132 lm/W), que está considerada como una de las fuentes de luz más eficientes.

La elección de las bombillas LED depende de diversas cosas, algunas son las siguientes:

- Tomar en cuenta el vatiaje: Se debe llevar a cabo la elección del wattage tomando en cuenta el nivel de iluminación deseado. Por ejemplo, una lámpara LED de 3 Watts equivale a una lámpara incandescente de 45 Watts.
- Elegir entre luz cálida y luz blanca: Las lámparas LED están disponibles en luz blanca, la cual es utilizada para labores de estudio, y en luz cálida; la cual es comúnmente utilizada para salas de estancia.
- Socket base: Las lámpara LED se encuentran disponibles en diferentes tipos de socket para su colocación (EEL, 2009).



Figura 2.50 Lámpara LED (OkSolar, 2000)

Los estilos comunes de bombillas LED incluyen los siguientes:

- Bombillas de difusión (**Figura 2.51**): En este estilo de bombillas LED, los grupos de LED's están cubiertos por unas rejillas que dispersan la luz para cubrir un área más amplia. Estas bombillas sirven para diversos usos, tal como iluminación de cuartos, garajes, lámparas de lectura, corredores, etc. El costo de esta bombilla oscila entre los \$350 y \$400 pesos.
- Bombilla de alta difusión (**Figura 2.51**). Está especialmente diseñada para uso doméstico, ésta produce luz equivalente a una bombilla incandescente de 100 Watts y tiene una vida promedio de 50,000 horas. Esta bombilla es la primer bombilla en ser aprobada por la UL y la FCC para iluminación general de una casa. Su costo oscila entre los \$450 y \$500 pesos.
- Bombilla para iluminación de exteriores (**Figura 2.51**). Los LEDs son ideales para la iluminación en patios y jardines. Los LEDs no se calientan aunque aun trabajando largos periodos de tiempo y por lo tanto no es necesario reemplazarlos continuamente. Es equivalente a una bombilla de 40 a 50 Watts, sin embargo únicamente consume 6 Watts. Su costo es de alrededor de los \$600 a los \$700 pesos (EEL, 2009).



Figura 2.51 Bombillas LED comunes para uso doméstico (EEL, 2009)

2.5.3 Reactores biológicos

Un reactor biológico es un sistema sencillo de conseguir, sirve para solventar la problemática energética-ambiental, así como realizar un adecuado manejo de los residuos tanto humanos como animales.

En su forma simple es un contenedor (llamado reactor) el cual está herméticamente cerrado y dentro del cual se deposita material orgánico como excremento y desechos vegetales (exceptuando los cítricos ya que éstos acidifican), un esquema general es presentado en la **Figura 2.52**. Los materiales orgánicos se ponen a fermentar con cierta cantidad de agua, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en fósforo, potasio y nitrógeno. Este sistema también puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás y cámaras de hidropresión y postratamiento (filtro y piedras, de algas, secado, entre otros) a la salida del reactor.

El proceso de digestión biológica se da porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaerobios en los excrementos que al actuar en el material orgánico produce una mezcla de gases (con alto contenido de metano) al cuál se le llama biogás. El biogás es un excelente combustible y el resultado de este proceso genera ciertos residuos con un alto grado de concentración de nutrientes el cuál puede ser utilizado como fertilizante y puede utilizarse fresco, ya que por el tratamiento anaerobio los malos olores son eliminados.

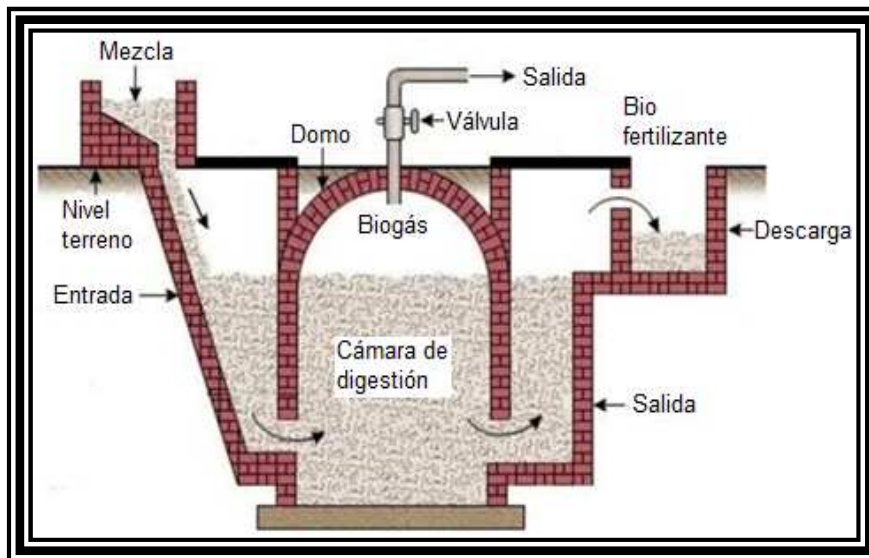


Figura 2.52 Sistema de un reactor biológico (Martí, 2007)

En las grandes urbes, los residuos sólidos orgánicos son un gran problema ya que éstos son dispuestos en rellenos sanitarios los cuáles rompen el ciclo natural de descomposición porque contaminan las fuentes de agua subterránea debido al lavado del suelo por la filtración de agua (lixiviación) y también porque favorece la generación de patógenos.

Los residuos orgánicos al ser introducidos en el reactor biológico son descompuestos de modo que el ciclo natural se completa y las basuras orgánicas se convierten en fertilizante y biogás el cual evita que el gas metano esté expuesto ya que es considerado uno de los principales componentes del efecto invernadero.

La utilización de biogás puede sustituir a la electricidad, al gas propano y al diesel como fuente energética en la producción de electricidad, calor o refrigeración. En el sector rural el biogás puede ser utilizado como combustible en motores de generación eléctrica para autoconsumo de la finca o para vender a otras. Puede también usarse como combustible para hornos de aire forzado, calentadores y refrigeradores de adsorción. La conversión de aparatos al funcionamiento con gas es sencilla. La producción de biogás es permanente, aunque no siempre constante debido a fenómenos climáticos.

2.5.3.1 Principales tipos de reactores biológicos

Existen dos tipos generales de reactores biológicos: el sistema hindú y el chino. El reactor hindú, el cual trabaja a presión constante y es muy fácil su operación ya que fue ideado para ser manejado por campesinos de muy poca preparación. El reactor chino, funciona con presión variable ya que el objetivo no es producir biogás sino el abono orgánico ya procesado.

Digestores de Segunda y Tercera Generación

El digestor de segunda generación opera básicamente en dos niveles. En la parte baja del mismo se construye un túnel o laberinto, que sirve para retener temporalmente todos los materiales que tienden a flotar; con las divisiones internas se divide el laberinto en una serie de cámaras independientes pero comunicadas entre sí de forma continua. Por medio de planos inclinados y ranuras delgadas en las placas de ferrocemento que conforman el techo del laberinto, se permite el paso del gas y del material ya hidrolizado y degradado.

El digestor de tercera generación es la mezcla de varios digestores en una unidad. El laberinto es típico del sistema de Tapón o Bolsa, con longitudes efectivas de 20 a 30 metros, es el sistema más sencillo y práctico de todos los digestores de tipo convencional; las diferentes cámaras independientes (6 o más según el diseño) brindan las ventajas de los digestores de carga única; al final del recorrido y en la parte superior, se encuentra la última recámara grande, que equivale al digestor tipo hindú, con su campana flotante, carga por la parte inferior y salida del efluente por rebose en la superior. Este tipo de digestor en especial, ofrece una doble ventaja económica, ya que por un lado se construye una sola unidad del tamaño adecuado a las necesidades en lugar de varias independientes más pequeñas; y por otro lado se elimina el costo de mano de obra necesaria para estar cargando y descargando periódicamente las unidades de carga única (**Figura 2.53**).

El costo de un reactor biológico se encuentra desde los \$35,000 a los \$80,000 pesos con un costo anual de mantenimiento de \$490 pesos, el costo de construcción dependerá de los materiales utilizados, además del tipo de sistema a utilizar (Martí, 2007).



Figura 2.53 Sistema de reactor anaerobio (Martí, 2007)

CAPÍTULO 3 Metodología

3.1 Propuesta de casa con uso de tecnologías sostenibles

Uno de los objetivos de la presente tesis es el de llevar a cabo la propuesta de una casa que haga uso de tecnologías que derivan en el cuidado del medio ambiente evitando emisiones contaminantes y prescindiendo de servicios que resultan en la contaminación del entorno ecológico.

La propuesta comprende tecnologías de uso en diversas partes de la casa, las cuales ayudan a lograr lo mencionado anteriormente. Éstas son de diferentes índoles, tal como las que se muestran en la presente tesis. A continuación (**Tabla 3.1**) se presenta un listado de las tecnologías a utilizar en la propuesta de casa sostenible. Las tecnologías consideradas para ésta, son aquellas que aplican para una casa promedio de 5 habitantes, con un área de techo de alrededor de 400 m². Espacio de jardín de 30 m² y velocidad del viento mínima promedio de 20 Km/h.

Es necesario hacer mención que el agua que se obtiene de la captación de agua de lluvia en la casa propuesta, únicamente será apta para riego de plantas, lavado de ropa, y otros usos de limpieza. Al requerirse agua de mayor pureza, se debe propiciar el uso de un humedal artificial o tomar en cuenta la implementación de un sistema de tratamiento con filtros y rayos UV para el agua obtenida.

Las tecnologías utilizadas en el listado para la casa son de las más adecuadas y no son precisamente las más económicas que hay en el mercado. La casa propuesta usa las tecnologías promedio.

El sistema de tratamiento básico de aguas grises con tanque de tratamiento es totalmente opcional, ya que regularmente se obtiene un ligero ahorro de agua por el reuso del agua tratada, sin embargo el mayor beneficio es ambiental, ya que se evita la emisión de aguas contaminantes al ecosistema.

Los beneficios obtenidos por los paneles fotovoltaicos son relativos y dependerán de la capacidad instalada, ya que se puede lograr un ahorro en consumo energético del 10 al 100 %, ésto debido a que se puede aprovechar la electricidad para uso en regaderas eléctricas y así eliminar la necesidad de calentamiento de agua. De igual forma los paneles solares térmicos dependerán de la capacidad instalada y de los usos que se le den al agua caliente obtenida.

La utilización de un reactor biológico es opcional según el espacio disponible de la casa y las necesidades energéticas, ya que éste es una opción más para la obtención de energía extra debido a que el metano obtenido se puede utilizar para sustituir tanto el gas propano como al diesel; además se puede usar en mini-generadores de electricidad adaptados para uso de gas.

Aunque la utilización de aerogeneradores domésticos es muy poco común en la actualidad, cada vez va siendo más rentable tener uno instalado en casa, ya que se pueden disminuir los costos por facturación hasta en un 100%, lo que hace que el tiempo de recuperación de la inversión sea bajo; tomando en cuenta que además el tiempo de vida en promedio de los aerogeneradores domésticos es alto.

El uso de las bombillas LED en una casa responde a la necesidad de disminución del consumo de energía eléctrica. Cabe mencionar que si se está utilizando un sistema eólico, un fotovoltaico, térmico o ambos; no es necesario el uso de lámparas LED, a menos de que se busque el ahorro de la energía almacenada. El uso de bombillas LED aún no ha sido difundido en su totalidad, por lo que aún es muy caro, sin embargo conforme vaya avanzando la tecnología y su difusión de uso será cada vez más económica.

3.2 Métodos para la comparación de gastos en agua, electricidad y energía térmica

3.2.1 Balance de agua

El siguiente balance de agua se llevará a cabo con la finalidad de dar un ejemplo comparativo de los gastos que puede llegar a tener una casa sostenible con tecnologías incorporadas como las mostradas en la **Tabla 3.1**, con una casa común.

El promedio de descarga de aguas residuales mencionado anteriormente para una casa común con cinco habitantes es de 700 L/día. Esto viene de que el promedio de descargas por persona al día de aguas negras es de 35 L y de aguas grises es de 105 L. Las aguas negras aportan en promedio un 65% de sólidos suspendidos totales (SST), 82% de nitratos y un 37% de DBO₅. Las aguas grises aportan cerca de 70% de fosfatos y 63% de DBO₅.

Debido a que la descarga de agua residual en una casa “común” es de 700 L diarios para la consideración de cinco habitantes, ésta se toma de base como la cantidad necesaria de suministro para la satisfacción diaria de la familia.

3.2.1.1 Estimación de consumo de agua en la casa sostenible en épocas de lluvia

Para llevar a cabo la estimación de la cantidad de agua de consumo en la casa se deben postular ciertos supuestos. Uno de ellos es la suposición de la cantidad mínima promedio de precipitación pluvial en la Ciudad de México, la cual es de 2-6 mm en un día (SEMARNAT, 2010).

Otro es la cantidad total necesaria de consumo en un día (Ct), la cual estará dada por la cantidad de agua de lluvia captada (Ac) más la cantidad de agua suministrada por la red (As).

Tabla 3.1 Listado de tecnologías de uso en la casa propuesta

Tecnología	Área de uso y utilidad	Costo	Beneficio ambiental y económico, además de desventajas
Sistema de captación de agua de lluvia, que involucra: canaletas de captación metálicas, mallas para canaleta de acero inoxidable, tanque de almacenamiento de PVC de 1,000 L, filtro de pretratamiento y filtro de tratamiento e instalación.	Techo de la casa. Su uso es para la captación de agua de lluvia.	\$15,000 pesos	Se aprovecha el agua de lluvia para su uso en actividades diarias y así se ahorra la de mayor calidad (potable) únicamente para consumo humano. Se ahorra dinero en costos de facturación de agua. El costo de inversión puede ser alto dependiendo de los materiales y servicios de instalación.
Perlizadores, grifos ahorradores de agua y regaderas con dispositivos ahorradores, limitadores de caudal, sistemas de riego por goteo, dispositivos contadores individuales, así como su instalación.	Su uso debe ser en todas las llaves de agua y regaderas de la casa incluyendo cuartos de lavado.	El costo dependerá de la cantidad de grifos y regaderas presentes en la casa. El costo promedio con dos baños, una cocina, un jardín y un cuarto de lavado es \$10,000.	Se logra la disminución del consumo de agua potable hasta en un 90%. Se ahorra dinero en costos de facturación de agua.
Sanitarios con bajo consumo de agua y con recirculación del lavado a la caja, incluye instalación.	Baños	El costo para dos sanitarios es de \$9,250	Ahorro del 50 al 60% de agua evitando tirarla al drenaje. Se disminuye la contaminación de mayor agua. Se ahorra dinero en costos de facturación de agua. Si ya existe la instalación del sanitario, es necesario hacer la instalación de tubería para adaptar lavabo y sanitario.
Sistema de tratamiento básico de aguas residuales con humedal artificial de 8 m ² para tratar 1,000 L/día.	Su instalación es el área de jardín.	De \$4,500 a \$5,000	Se evitan en un 80% las emisiones de aguas contaminantes al ambiente. Se reutiliza el agua desechada por otros servicios. Ahorro de costos en facturación. Bajo costo de inversión. Área necesaria disponible para la ubicación del humedal.

(Continuación) Tabla 3.1 Listado de tecnologías de uso en la casa propuesta

Tecnología	Área de uso y utilidad	Costo	Beneficio ambiental y económico, además de desventajas
Celdas fotovoltaicas de 1,000 Watts con área de 200 m ² incluyendo instalación en techo o marquesina.	Techo de la casa. Captación de luz solar para generación de energía eléctrica.	\$18,000	El beneficio ambiental es debido a la disminución en el consumo eléctrico de la red eléctrica general, que a su vez disminuirá el consumo de combustibles fósiles y otros recursos contaminantes. Se logra un ahorro de consumo energético del 40%, que trae como beneficio la disminución en costos de facturación. Costo de inversión elevado. Área de techo necesaria o espacio mínimo de colocación.
Paneles solares térmicos, incorporando un sistema de circulación forzada. Hecho de aluminio y fibra de vidrio reforzado con capacidad de 300 L.	Con celda solar térmica instalada en marquesina o techo y tanque acumulador en sótano o garaje.	\$15,600	Se evita la emisión de cerca de 4.5 toneladas anuales de gases nocivos a la atmósfera debido a la disminución del uso de gases para calentamiento de agua. Se pueden llegar a disminuir hasta en un 100 % los costos por adquisición de combustibles fósiles y otras fuentes de calentamiento. Área de techo necesaria o espacio mínimo de colocación. Inversión grande.
Sistema eólico de 300 W. Con torre de 18 m de alto, batería, sistema inversor y rotor de 2 m de diámetro.	Techo de la casa y/o en jardín.	Cerca de \$13,846. Con costo promedio de \$2,000/kWh producidos.	Se disminuye el consumo de energía eléctrica de la red general, evitando el consumo de combustibles fósiles. Debido a que se puede llegar a disminuir hasta el 100% de consumo de electricidad, se evitan los costos por pago de facturación. Costos de inversión muy altos. Necesidad de área de montaje amplia.
Uso de bombillas LED de alta difusión marca okSolar. Promedio de bombillas de uso común y exteriores: 32	Uso en recámaras, baños, sala, comedor, jardín, cocina, cuarto de lavado, exterior.	De \$11,200 a \$20,000 pesos.	Si la instalación eléctrica de la casa se encuentra conectada a la red general: se elimina el consumo eléctrico hasta en un 90%, evitando así emisiones a la atmósfera por el suministro de este servicio. Se reducen significativamente costos de facturación. Mucha mayor durabilidad que otras bombillas. Costo de inversión grande.

Es necesario mencionar que las cantidades de agua, tanto la suministrada como la captada son relativas, además de los usos para los cuales se destinan éstas;

debido a que permanentemente estarán variando y dependerán además de la capacidad instalada. Para el propósito de ejemplo se utilizan las cantidades mencionadas en las estimaciones.

Las áreas de consumo consideradas de la casa son las mencionadas en la **Figura 2.29**, para lo cual se toman los porcentajes citados y además se toma en cuenta el consumo promedio diario para una familia de cinco personas como se mencionó líneas arriba, por lo que la distribución de los consumos para la casa ejemplo queda como sigue:

Tabla 3.2 Consumos de agua promedio en diferentes áreas de una casa común

Área de la casa	Consumo promedio (L/día*5 personas)	%
Baño	280	40
Regadera	210	30
Lavado de ropa	105	15
Cocina	42	6
Alimentos	35	5
Varios	28	4
Total	700	100

En la casa sostenible el consumo total se expresa de la siguiente manera:

$$C_t = A_C + A_S = 700 \text{ L} \quad (3-1)$$

Donde A_S está dada por la cantidad que debe ser suministrada por la red, es decir, el agua que será necesario se suministre de la red pública:

$$A_S = A_{\text{Cocina}} + A_{\text{Alimentos}} + A_{\text{Regadera}} + A_{\text{Varios}} \quad (3-2)$$

Por lo que A_S queda finalmente de:

$$A_S = 42 \text{ L} + 35 \text{ L} + 210 \text{ L} + 28 \text{ L} = 315 \text{ L} \quad (3-3)$$

Así, el agua que debe ser suministrada por la red para la satisfacción diaria de una familia de 5 personas es en promedio de 315 L.

La cantidad de agua de lluvia captada necesaria será por lo tanto en promedio de 385 L. Es necesario mencionar que el agua captada en un día está relacionada por la cantidad de lluvia precipitada en éste, por lo que las variaciones serán bastantes dependiendo de las condiciones climáticas del área en la que se ubique la casa.

Debido a que el agua captada se puede usar para el suministro en el sanitario y el lavado de ropa, la cantidad mínima necesaria para satisfacer las necesidades diarias de la familia es de 385 L.

Tomando en cuenta que la cantidad mínima de precipitación pluvial en el Distrito Federal en el 2009 fue de 2-6 mm, se tiene el siguiente cálculo de agua captada: Es importante considerar que la cantidad de milímetros precipitados tiene como base que 1 L de agua caído en 1 m² alcanza en promedio una altura de 1 mm (SEMARNAT, 2010).

Para el cálculo se toma el promedio de los milímetros mínimos precipitados por lo que se tienen 4 mm de precipitación pluvial. Además se considera un área de captación de la mitad disponible en la casa ejemplo, que es de 200 m².

Así, la cantidad captada al día es:

$$(4 \text{ mm}_{\text{lluvia promedio}}) * (1 \text{ L}/1\text{mm}) = 4 \text{ L}_{\text{vol4mm}} \quad (3-4)$$

$$(200 \text{ m}^2) * (4 \text{ L}_{\text{vol4mm}}/1\text{m}^2) = 800 \text{ L de agua captada} \quad (3-5)$$

Los 800 L captados son un promedio como se mencionó anteriormente, por lo que se sugiere el uso de un tanque de almacenamiento con capacidad de cerca de 1,000 a 1,500 L.

El agua que se necesita captar para solventar las necesidades diarias de la familia es de alrededor de 385 L, por lo que con una precipitación diaria de 4 mm, es suficiente para el suministro por dos días.

Con la cantidad captada y usando las tecnologías mencionadas en la Tabla 3.1, los consumos de la casa quedan como sigue:

Para las cantidades mostradas en la **Tabla 3.3**, es necesario tomar en cuenta que se lleva a cabo una recirculación de agua para su reutilización en el baño, esto después de ser tratada por el humedal artificial. Las cantidades son obtenidas de los porcentajes promedio de ahorro que ofrecen las distintas tecnologías.

Comparando el consumo de una casa normal con el consumo requerido para una casa sostenible se logra un ahorro del 55.1%, lo que representa cerca de 385.7 L/día.

El ahorro que representa la captación de agua de lluvia se observa mejor en el aspecto económico. Debido a que se deja de consumir una cantidad significativa de agua.

Tabla 3.3 Consumos de agua promedio en diferentes áreas de una casa sostenible comparada con los de una casa común

Área de la casa	Consumo promedio casa sostenible (L/día*5 personas)	Consumo promedio casa común (L/día*5 personas)	Porcentaje de ahorro (%)
Baño	140	280	50
Regadera	100.8	210	48
Lavado de ropa	52.5	105	50
Cocina	8.4	42	20
Alimentos	7	35	20
Varios	5.6	28	20
Total	314.3	700	44.9

3.2.1.2 Estimación de consumo de agua en la casa sostenible en épocas sin lluvia

La estimación de consumo de agua en temporadas sin lluvia es similar que el caso anterior, únicamente se omite la parte de agua captada (A_c). Por lo que la fórmula 3.1 de consumo total (C_t) queda de la siguiente manera:

$$C_t = A_s = 700L \quad (3-6)$$

Los consumos son los mismos que la Tabla 3.3, sin embargo en esta ocasión no se tiene el ahorro de agua por parte de la captación pluvial.

3.2.2 Análisis energético

Es relevante la cantidad que se consume de energía en la actualidad en las residencias en México. Cabe destacar que ésta depende principalmente de la capacidad económica de las personas. Sin embargo, hoy en día se llevan a cabo actividades que hacen necesario el consumo de algún tipo de energético.

Mientras que el uso de algunos tipos de energéticos se va descontinuoando, el uso de otros va aumentando, tal es el caso de la electricidad. El consumo de energía per cápita total (gas, energía eléctrica y energía térmica principalmente) en las residencias fue de 7.35 GJ en el año de 1995, mostrando una caída en el periodo de 2005 de cerca de 6.8 GJ/per cápita. En el consumo de gas LP y de leña, hubo una reducción de 3.30 a 2.64 y de 2.68 a 2.40 GJ/habitante respectivamente.

Los consumos per cápita de gas natural y de electricidad aumentaron, pasando de 0.20 a 0.29 y de 1.12 a 1.49 GJ/habitante respectivamente (Pedraza, 2008).

La clara tendencia en la saturación de los equipos electrodomésticos existente en las viviendas del país explica el aumento de la demanda de energía eléctrica en el sector residencial. Esta tendencia sugiere la importancia de seguir implementando normas de eficiencia energética en los principales electrodomésticos, así como implementar el uso de nuevos electrodomésticos con tecnologías de ahorro. Como es sabido los principales electrodomésticos de mayor consumo son la televisión, el refrigerador, el aire acondicionado y la lavadora, esto se puede apreciar en la **Figura 3.1**.

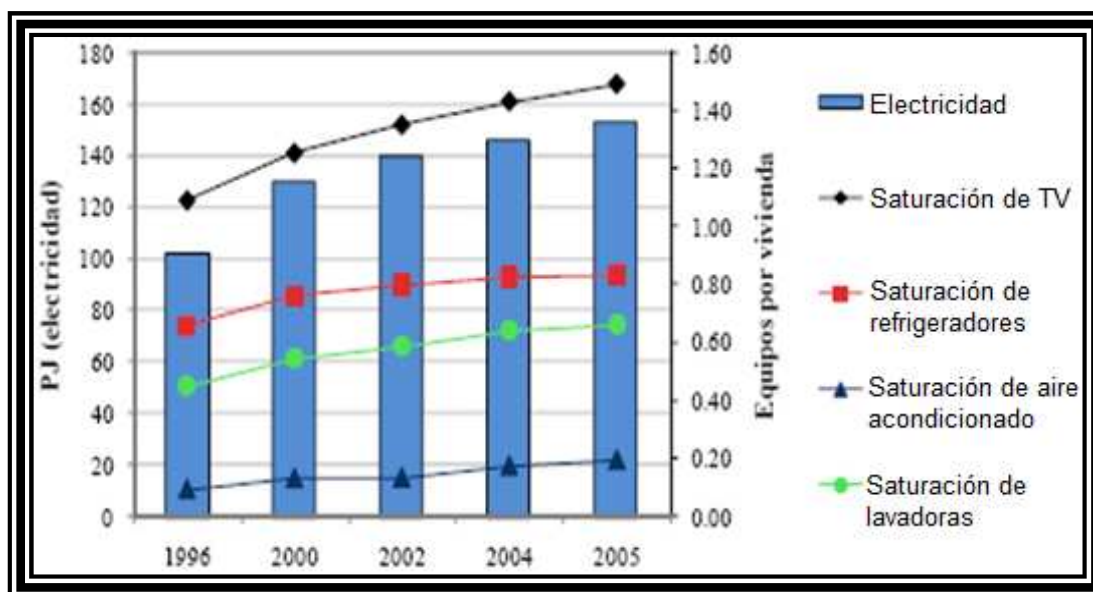


Figura 3.1 Consumo de energía eléctrica en el sector residencial y saturación de los principales electrodomésticos en México (Pedraza, 2008)

Según el balance de energía 2008 de la Secretaría de Energía, en 2008 el consumo nacional de energía por habitante fue de 79.47 GJ per cápita, cifra 1.5% superior a la energía consumida en 2007. El aumento en el consumo se incrementó drásticamente de 2005 a 2008 tal como se puede apreciar en la **Figura 3.2**.

Para satisfacer las necesidades de cocción de alimentos, iluminación, calefacción, calentamiento de agua, entre otras, se utilizó gas licuado de petróleo, el cual participó con el 40.7% del consumo total del sector, la leña representó el 27.6%, la electricidad el 26.6%, el gas seco el 4.4%, el diesel y los querosenos el 0.5%.

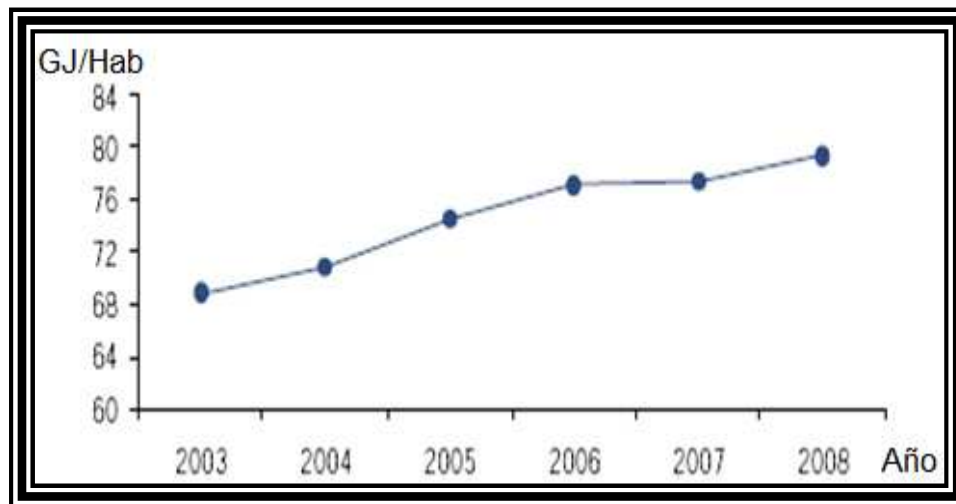


Figura 3.2 Consumo per cápita de energía en México (SENER, 2008)

Los consumos de energía más importantes en una casa de la ciudad son la energía eléctrica y la térmica. En una casa promedio de 5 habitantes se consumen al día alrededor de 27.78 kWh en electricidad, y 40 kJ en energía térmica (IEA, 2008).

La energía térmica en una casa es utilizada principalmente para calentamiento de agua, cocción de alimentos y calefacción. Por lo que para el calentamiento de agua se incorpora un panel solar con capacidad de 300 L, el cual es capaz de generar alrededor de 125,457 kJ de energía para poder calentar los 300 litros hasta 150 °C. El cálculo es como sigue:

$$300\text{L de agua} = 300\text{Kg de agua} * (1 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}) = 300 \text{ Kcal/}^{\circ}\text{C} \quad (3-7)$$

$$300 \text{ Kcal/}^{\circ}\text{C} * (4.1819 \text{ kJ/Kcal}) = 1,254.57 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C} \quad (3-8)$$

El agua en el panel solar es calentada hasta los 100 °C, por lo que:

$$1,254.57 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C} * 100 \text{ }^{\circ}\text{C} = \underline{125,457 \text{ kJ}} \quad (3-9)$$

Se sabe, que en promedio en una casa con 5 habitantes se consumen cerca de 140 litros de agua para aseo diario, cocción y preparación de alimentos y calefacción, por lo que se requieren alrededor de 67,328.59 kJ. El cálculo es como sigue:

$$140\text{L de agua} = 140\text{Kg de agua} * (1 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}) = 140 \text{ Kcal/}^{\circ}\text{C} \quad (3-10)$$

$$140 \text{ Kcal/}^{\circ}\text{C} * (4.1819 \text{ kJ/Kcal}) = 585.466 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C} \quad (3-11)$$

El agua es utilizada en promedio de los 80 a los 150 °C, por lo que:

$$585.466 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C} * 115 \text{ }^{\circ}\text{C} = \underline{67,328.59 \text{ kJ}} \quad (3-12)$$

Debido a que el panel solar térmico planteado en la **Tabla 3.1** es capaz de entregar 188,406 kJ, y la energía promedio necesaria por día para calentamiento de los principales servicios es de 87,922.8 kJ, se tiene el siguiente excedente:

$$125,457 \text{ kJ} - 67,328.59 \text{ kJ} = 58,128.41 \text{ de } \underline{\text{kJ excedente energético}} \quad (3-13)$$

Lo que representa cerca del 46.33 % de la capacidad energética disponible. En la **Figura 3.3**, se puede apreciar gráficamente la diferencia.

Con la energía entregada por el panel solar se ahorra toda la energía utilizada para el calentamiento del agua de baño, la preparación de alimentos y calefacción. Para los otros consumos, como son: calentamiento y cocción de alimentos se utiliza gas LP o gas seco (gas natural). Además, se dejan de emitir cerca de 4.5 toneladas de gases tóxicos anualmente.

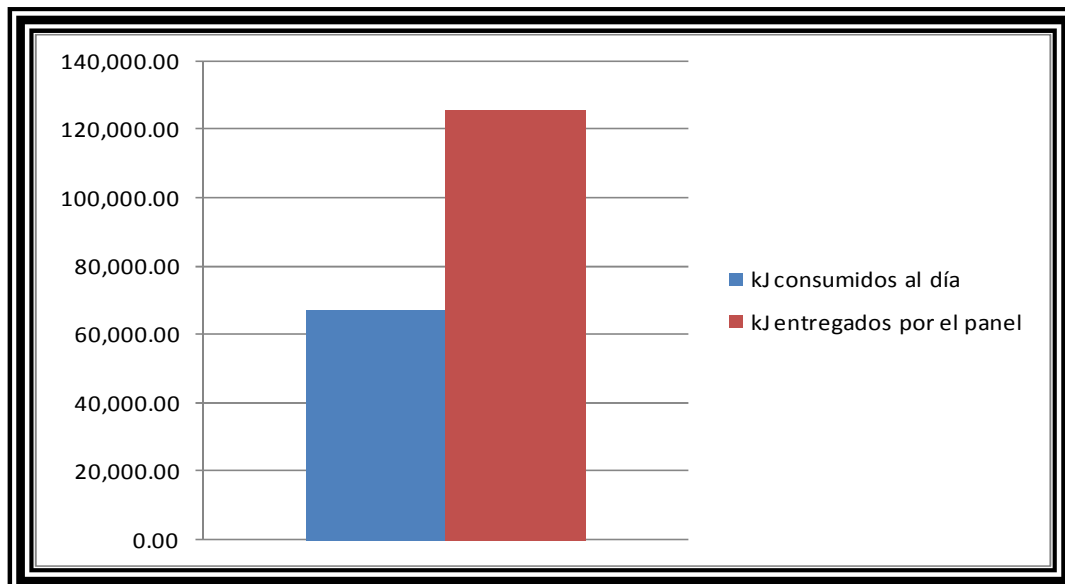


Figura 3.3 Comparación entre energía térmica consumida en una casa y la entregada por un panel solar

Por otro lado, el consumo de energía eléctrica es mayor, debido a toda la cantidad de aparatos eléctricos y electrónicos presentes en una casa común de la ciudad. El promedio de consumo diario de una casa común con 5 habitantes es de alrededor de 27.78 kWh, lo que provoca un gasto anual de 10,140 kWh.

Como se mencionó anteriormente, las principales tecnologías que permiten disminuir el uso de energía eléctrica son las celdas fotovoltaicas, el uso de un sistema eólico y el uso de bombillas LED. Éstas además, pueden funcionar a la par o por separado, dependiendo de los requerimientos de la casa.

Cabe mencionar que debido a la mayor cantidad de tecnologías existentes para el ahorro de energía eléctrica, se pueden incorporar otros dispositivos que eliminan el uso de energía térmica para usar la energía eléctrica, tal es el caso de

las regaderas eléctricas, parrillas para calentamiento de alimentos, calefactores, etc.

El uso de bombillas LED es la primer tecnología que debe ser incorporada, ya que representa un ahorro permanente de energía eléctrica. Posteriormente debe analizarse la posibilidad de incorporar una o dos tecnologías más.

En la **Tabla 3.1** se plantea el uso de 32 bombillas, esto es tomando en cuenta el promedio de una casa para 5 habitantes. Con esto se tiene un gasto en energía eléctrica alto con bombillas comunes de tungsteno, el consumo es el siguiente:

El uso promedio de una bombilla durante el día varía bastante, dependiendo el consumo de cada persona y de cada familia, sin embargo para estos cálculos se considera un uso diario de todas las bombillas de 2 horas por la mañana y 6 horas por la noche, por lo que el consumo es de 25.6 kWh.

$$\text{Bombilla } 100 \text{ W} * 8 \text{ h} = 800 \text{ Wh} * 32 \text{ bombillas} = 25,600 \text{ Wh} = 25.6 \text{ kWh} \quad (3-14)$$

La bombilla LED de alta difusión ahorra hasta 90 % del consumo de una bombilla de tungsteno, por lo que las 32 bombillas LED consumen 2.56 kWh al día, lo que representa un ahorro de 23.04 kWh.

Si restamos este ahorro a los 27.78 kWh/día de consumo total de energía en una casa nos quedan 4.74 kWh.

Para cubrir los 4.74 kWh restantes se pueden usar cualquiera de las otras dos tecnologías más comunes, el sistema fotovoltaico, el sistema eólico o ambos; sin embargo hay que tomar en cuenta la inversión monetaria que se debe hacer.

El primer caso a analizar es con el panel fotovoltaico, el cual debe su desempeño a la presencia de sol por lo que se tienen dos situaciones a analizar. En verano, la mayoría de los sistemas fotovoltaicos aprovechan las 5 horas más intensas del sol, por lo que se tiene el siguiente cálculo:

Un panel fotovoltaico de 1000 W al trabajar por 5 horas al día entrega una energía de 5000 Wh, igual a 5 kWh, suficientes para cubrir la energía restante por consumir en una casa.

En invierno la situación es diferente, el panel fotovoltaico sólo aprovecha 3 horas al día, por lo que llega a proveer 3 kWh, lo cual no es suficiente para cubrir las necesidades restantes de la casa. Sin embargo se puede tener el sistema y cubrir las necesidades restantes mediante la red general de distribución.

Por otro lado, para usar el sistema eólico se debe tomar en cuenta como se mencionó anteriormente, la ubicación geográfica de la casa y la cantidad de viento presente durante todo el año, ya que el desempeño del generador eólico dependerá de los vientos promedio.

Un sistema eólico como el mencionado en la **Tabla 3.1** con capacidad de 300 W, un rotor de 2 metros de diámetro y una velocidad promedio mensual de 7 m/s; es capaz de producir cerca de 5.97 kWh al día, lo cual es suficiente para cubrir las necesidades de energía restantes en la casa mencionada anteriormente.

Lo anterior se tiene debido a la siguiente relación, la cual calcula la energía anual entregada por un aerogenerador (EERE, 2009):

$$EGA = 0.01328 * D^2 * V^3 \quad (3-15)$$

Donde:

EGA: Energía generada anualmente en kWh/año,

D: Diámetro del rotor en pies (ft),

V: Promedio anual de velocidad del viento en millas/h

No. 0.01328: Número adimensional

Entonces se tiene lo siguiente:

$$EGA = 0.01328 * (6.5616798 \text{ ft})^2 * (15.65 \text{ millas/h})^3 \quad (3-16)$$

$$EGA = 2181.271283 \text{ kWh/año, lo cual equivale a los } 5.97 \text{ kWh/día} \quad (3-17)$$

Con lo anterior se observa que la capacidad de suministro eléctrico para una casa con cinco habitantes puede ser cubierta con cualquiera de las tecnologías presentadas anteriormente, ya sea utilizando sólo una de ellas o en combinación. Sin embargo si se desea cubrir las necesidades energéticas únicamente con un sistema fotovoltaico se debe considerar una mayor capacidad, debido a que en invierno la energía entregada por el sistema propuesto anteriormente no es suficiente; sin embargo debe tomarse en cuenta además el mayor costo.

Por otro lado, el uso del sistema de generación eléctrica mediante el aprovechamiento de la fuerza del viento es capaz de cubrir por completo la necesidad energética de la casa cuando son utilizadas las bombillas LED a la par. Sin embargo se requiere forzosamente una velocidad del viento promedio y el sistema es más caro en comparación del fotovoltaico.

3.3 Análisis económico

El análisis de factibilidad económica de la propuesta se lleva a cabo mediante un análisis económico breve y sencillo, el cual consiste en la obtención del VPN (Valor Presente Neto) y de la TIR (Tasa Interna de Retorno).

Para ello se dan las siguientes definiciones:

VPN: Permite calcular el valor presente de un determinado números de flujo de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja

del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor presente neto del proyecto.

Cuando el VPN es mayor a cero ($VPN > 0$), significa que la inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida. Cuando el VPN es menor a cero ($VPN < 0$), significa que la inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida. Y cuando el VPN es igual a cero la inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas.

El cálculo del VPN se lleva a cabo con la siguiente ecuación:

$$VPN = [-P + ((FNE_1 / (1+i)^1) + ((FNE_2 / (1+i)^2) + ((FNE_3 / (1+i)^3) + \dots + ((FNE_n / (1+i)^n)] \quad (3-18)$$

Donde:

VPN = Valor presente neto
FNE = Flujo neto de efectivo
P = Inversión inicial
I = tasa de interés
n = año

Esta TIR se define como el tipo de interés que hace que el VPN sea cero y se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión.

Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, el costo de oportunidad de la inversión (si la inversión no tiene riesgo, el costo de oportunidad utilizado para comparar la TIR será la tasa de rentabilidad libre de riesgo). Si la tasa de rendimiento del proyecto –expresada por la TIR- supera la tasa de corte, se acepta la inversión; en caso contrario se rechaza.

Como ya se mencionó anteriormente, la TIR es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para conocer la factibilidad de diferentes opciones de inversión.

El criterio general para saber si es conveniente realizar la inversión en las tecnologías de la casa es:

- Si $TIR \geq r \rightarrow$ se aceptará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida (el costo de oportunidad).
- Si $TIR < r \rightarrow$ se rechazará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida.

Donde r es la tasa de corte.

La fórmula principal con la cual se calcula ésta es la siguiente:

$$VPN = FNE / (1 + TIR)^n \quad (3-19)$$

Donde:

VPN = Valor presente neto

FNE Flujo neto de efectivo

TIR = Tasa interna de retorno

n = año

El Flujo neto de efectivo es la diferencia entre los ingresos netos y los desembolsos netos, descontados a la fecha de aprobación de un proyecto de inversión. En el caso que se analiza en este trabajo, por no ser un proyecto en el cual se lucre con un producto no hay flujos de efectivo, sin embargo se toman en cuenta como flujo de efectivo las cantidades de dinero ahorradas por el uso de cada sistema.

La tasa de interés es el porcentaje al que está invertido un capital en una unidad de tiempo, determinando lo que se refiere como “el precio del dinero en el mercado financiero” (Alcalde, 2009).

Para el cálculo de estos parámetros económicos se tiene que obtener principalmente la cantidad invertida en los sistemas de ahorro, tanto el de agua como el de energía, así como los ingresos obtenidos por el uso de éstos. En este caso si hay una inversión que se tiene que llevar a cabo para la obtención de los sistemas anteriormente citados; sin embargo no hay como tal un ingreso neto por el uso de estas tecnologías sino que más bien el uso de éstas representan económicamente hablando un ahorro o beneficio que concluiría en un flujo de caja positivo, es decir; no se reciben ingresos sino que se deja de gastar.

Así, cada sistema aporta cierta cantidad de ahorro monetario lo cual contribuye a la factibilidad de la inversión. Cabe mencionar que los beneficios que traen estas tecnologías al medio ambiente son “incuantificables”, sin embargo para propósitos de viabilidad económica se lleva a cabo el siguiente análisis del capítulo 4.

CAPÍTULO 4 Resultados

4.1 Análisis de factibilidad técnica

En la **Figura 4.1** se representan en un dibujo las tecnologías a instalar, mencionadas en la **Tabla 4.1**.

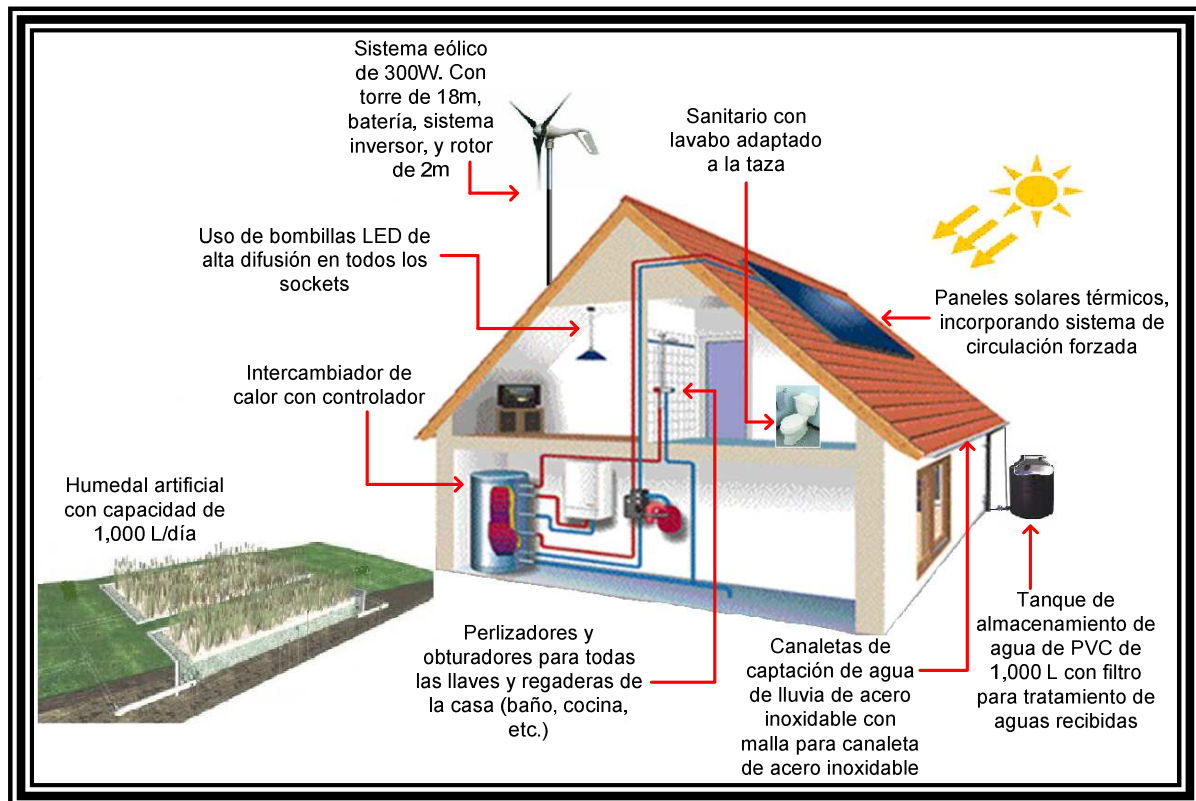


Figura 4.1 Diagrama de casa con tecnologías propuestas

La factibilidad técnica de la casa sostenible está dada por los factores mencionados en los capítulos anteriores, los cuales se encuentran resumidos en la **Tabla 4.1**.

Por ejemplo, para este caso específico, el costo aproximado del proyecto es de entre \$70,000 y \$176,000. El promedio de estos dos costos es de \$125,293, inversión que es factible para la implementación de las tecnologías. Sin embargo, una inversión de \$176,000 aun sigue siendo factible para la implementación de tecnologías sostenibles.

Tabla 4.1 Ejemplo de cálculo de costos de inversión para la casa sostenible propuesta

Sistema y sus partes	Dimensiones	Unidad	Costo mín (\$)	Costo máx (\$)	Origen
Sistema de captación de agua de lluvia					
Canaletas de captación de acero inoxidable	3	m	1,500	5,300	EUA
Malla para canaleta de PVC	1	m	39	150	EUA
Tanque de almacenamiento de PVC de 1,000 L	1	Pieza	3,500	5,215	México
Filtro común para tratamiento de aguas recibidas	1	Pieza	221	572	México
Dispositivos de uso en sanitarios y cocina					
Perlizadores para todas las llaves	6	Pieza	114	228	Francia
Obturador para regaderas	2	Pieza	50	150	Francia
Sanitarios					
Sanitario con lavabo adaptado a la taza	2	Pieza	5,000	23,000	EUA
Sistema de tratamiento básico de aguas residuales con humedal artificial para tratar 1,000 L/día	8	m ²	5,000	15,000	México
Sistemas de obtención de electricidad y energía térmica					
Celdas fotovoltaicas de 1,000 Watts	200	m ²	18,000	27,000	EUA
Paneles solares térmicos, incorporando un sistema de circulación forzada.	300	L	15,600	35,000	EUA
Sistema eólico de 300 W. Con torre de 18 m de alto, batería, sistema inversor y rotor de 2 m de diámetro.	1	Pieza	13,846	28,500	España
Opciones para ahorro de luz					
Uso de bombillas LED de alta difusión okSolar	32	Pieza	7,000	15,600	EUA
Otros gastos de desarrollo de proyecto					
Total			74,870	175,715	

4.2 Análisis de factibilidad económica

Para poder llevar a cabo el análisis de factibilidad económica se calcula primero lo siguiente para los sistemas involucrados:

4.2.1 Sistemas de ahorro en el consumo de agua

Como se menciona en la **Tabla 3.1**, la inversión promedio a realizar para el sistema propuesto con accesorios (incluye sistema de captación, perlizadores, regaderas, sanitarios, humedales, etc.), es de \$39,250. Los beneficios en ahorro se obtienen de la siguiente manera:

Se toma como precio base del metro cúbico del agua el cual es de \$1.52, tarifa vigente para el Distrito Federal a la fecha de diciembre de 2009.

En los cálculos anteriores, correspondientes a los sistemas de ahorro de agua se tiene como consumo final 385.7 L de agua, comparado con el consumo total diario sin tecnologías que es de 700 L, lo cual trae un ahorro de 314.3 L/día en promedio, lo que al año representa 114,719.5 L. Esta cantidad, tomando en cuenta el precio del agua por metro cúbico, cuesta alrededor de **\$174.374**.

4.2.2 Sistema de generación de energía térmica

Para el panel solar térmico, la inversión aproximada según la **Tabla 3.1** es de \$15,600. Este panel solar térmico, como se mencionó anteriormente es capaz de entregar un excedente energético para las necesidades diarias de la casa propuesta, así que se tiene un 100% de ahorro con respecto a la utilización de gas LP.

El costo promedio de gas LP en el Distrito Federal es \$9.31/Kg, es decir \$5.21/L; por lo que al consumir 67,328.59 kJ por día el costo de consumo anual es el siguiente:

El poder calorífico del gas LP es de 26,863.34 kJ/L, por lo que se tiene que:

$$67,328.59 \text{kJ} * (1 \text{L} / 26,863.34 \text{kJ}) * (\$5.21 / \text{L}) = \$13.058 / \text{día} \quad (4-1)$$

$$(\$13.058 / \text{día}) * (365 \text{días} / 1 \text{año}) = \underline{\$4,769.455 / \text{año}} \quad (4-2)$$

Lo que significa que el panel solar térmico promueve un ahorro anual de cerca de **\$4,769.455**

4.2.3 Sistema eólico

La inversión que debe hacerse en el sistema eólico pequeño es de cerca de \$13,846 como se menciona en la **Tabla 3.1**.

La capacidad de energía entregable del sistema eólico es de 5.97 kWh/día, tal como se obtuvo en la ecuación (3.17), por lo que al año el sistema entrega cerca de 2,179.05 kWh; lo que representa un porcentaje de ahorro anual del 21.48%.

Esto en dinero significa la cantidad siguiente:

$$\text{El costo por kWh en el área metropolitana es de } \$0.65 \text{ en promedio, por lo que, } \\ 2,179.05 \text{ kWh} * (\$0.65 / \text{kWh}) = \underline{\$1,416.3825 / \text{año}}$$

4.2.4 Bombillas LED

Como se menciona líneas arriba, la inversión que debe llevarse a cabo para la obtención de bombillas LED es muy relativa debido a la extensa cantidad de tipos de bombillas, sin embargo para este propósito se consideran las condiciones establecidas en la **Tabla 3.1**, con lo que se considera una inversión promedio de \$11,200.

Así, como anteriormente se calculó, el beneficio promedio por el uso de las bombillas LED es de 23.04 kWh/día, al año el ahorro es de 8,409.6 kWh, lo que quiere decir que lo que se deja de gastar al año en consumo de energía eléctrica por el uso de estas bombillas es de:

$$8,409.6 \text{ kWh} * (\$0.65/ \text{ kWh}) = \underline{\underline{\$5,466.24}}$$

Con los beneficios anteriormente calculados y conociendo las inversiones necesarias por realizar para la implementación de las tecnologías se puede llevar a cabo el análisis de factibilidad económica de esta propuesta.

El Valor presente neto (VPN), por lo tanto se calcula como se mencionó en el apartado 3.3 de este trabajo con la ecuación (3-18).

Para este caso, se toma como interés la tasa mínima que ofrecería un banco en el caso particular de un préstamo, para el caso en el cual se lleva a cabo un ahorro bancario deberá tomarse en cuenta el tipo de tasa de interés anual que ofrece el banco por el ahorro.

Por lo tanto los datos necesarios para el cálculo del VPN son los siguientes:

Valor de la inversión (P): \$79,896

Interés $i = 20 \%$

Debido a que el tiempo de vida media de las tecnologías en total para la casa es de alrededor de 15 años se tienen que calcular los flujos de efectivo para los 15 años. El cálculo es como se obtuvieron los beneficios para cada sistema anteriormente solo que llevando el costo de cada servicio a su valor para cada año, esto se logra con la fórmula del valor futuro:

$$F = [P*(1+i)^n] \quad (4-4)$$

Donde:

F: es el valor del servicio en el año correspondiente.

P: es el valor del servicio en la actualidad.

i: es el interés aplicable correspondiente a la inflación promedio.

n: la cantidad de años a los que se desea llevar el precio.

Haciendo un cálculo de ejemplo para la obtención del precio del agua al primer año de funcionamiento de las tecnologías en la casa y tomando en cuenta un interés del 4.02% (interés correspondiente a la inflación actual) se tiene que:

$$F=[P*(1+i)^n]=[(\$0.00152/m^3)*(1+0.0402)^1]= \$1.581/m^3 \quad (4-5)$$

Haciendo esto para cada uno de los servicios y calculando para los 15 años de vida útil de las tecnologías se obtiene la **Tabla 4.2**, la cual muestra los precios de los servicios principalmente utilizados en una casa común durante los próximos 15 años. Cabe mencionar que los cálculos son hechos sin tomar en cuenta la implementación del sistema fotovoltaico.

Tabla 4.2 Precios de servicios a 15 años con i = 4.02%

Años	Electricidad (\$/kWh)	Agua (\$/m ³)	Gas (\$/L)
1	0.676	1.581	5.423
2	0.703	1.645	5.641
3	0.732	1.711	5.868
4	0.761	1.780	6.104
5	0.792	1.851	6.349
6	0.823	1.926	6.604
7	0.857	2.003	6.870
8	0.891	2.083	7.146
9	0.927	2.167	7.433
10	0.964	2.254	7.732
11	1.003	2.345	8.043
12	1.043	2.439	8.366
13	1.085	2.537	8.703
14	1.129	2.639	9.053
15	1.174	2.745	9.417

Una vez teniendo los valores mostrados en la **Tabla 4.2**, se puede proceder a obtener los beneficios para cada sistema como se calculó anteriormente obteniéndose los siguientes resultados en la **Tabla 4.3**.

Tabla 4.3 Beneficios en \$/año obtenidos para cada sistema a 15 años

Año	Sistemas de ahorro en consumo de agua	Panel solar térmico	Sistema eólico	Bombillas LED
1	181.38	4961.20	1473.32	5685.98
2	188.68	5160.64	1532.55	5914.56
3	196.26	5368.10	1594.16	6152.32
4	204.15	5583.90	1658.24	6399.65
5	212.36	5808.37	1724.90	6656.91
6	220.89	6041.87	1794.24	6924.52
7	229.77	6284.75	1866.37	7202.89
8	239.01	6537.40	1941.40	7492.44
9	248.62	6800.20	2019.45	7793.64
10	258.61	7073.57	2100.63	8106.94
11	269.01	7357.93	2185.07	8432.84
12	279.82	7653.71	2272.91	8771.84
13	291.07	7961.39	2364.28	9124.47
14	302.77	8281.44	2459.33	9491.28
15	314.94	8614.36	2558.19	9872.82

Con los totales de los datos de la **Tabla 4.3** para cada año se puede llevar a cabo entonces el cálculo del VPN como sigue:

$$\begin{aligned}
 \text{VPN} = & [(-\$75,696) + (\$12,301.89/(1+0.2)^1) \\
 & + (\$12,796.43/(1+0.2)^2) + (\$13,310.84/(1+0.2)^3) + (\$13,845.94/(1+0.2)^4) \\
 & + (\$14,402.54/(1+0.2)^5) + (\$14,981.53/(1+0.2)^6)] = \underline{\underline{\$34,195}} \quad (4-6)
 \end{aligned}$$

El cálculo del VPN para 6 años de vida útil de las tecnologías resultó ser positivo, por lo que por el primer cálculo se tiene que puede ser factible la implementación de éstas en la casa ejemplo. Cabe mencionar que este cálculo fue hecho tomando en cuenta que no se implementa el sistema fotovoltaico por no ser una buena opción, ya que eleva el costo de la inversión y no aporta mayor cantidad de beneficio anual.

El tiempo en el cual se recupera la inversión que se realiza para la adquisición de las tecnologías se lleva a cabo trazando los flujos netos en cada año, tal como se muestra en la **Figura 4.2**.

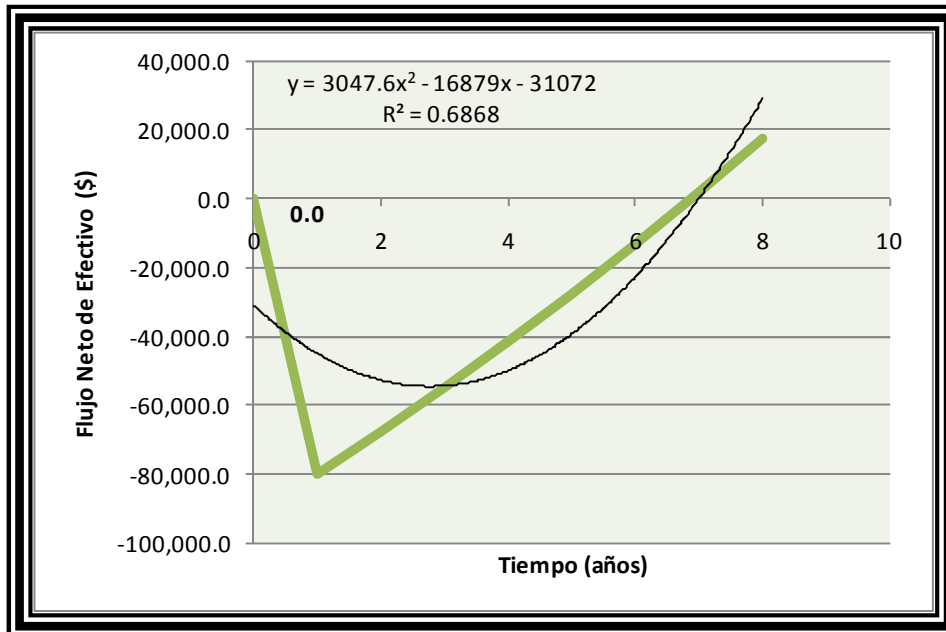


Figura 4.2 Tiempo de recuperación de la Inversión

Como se puede observar en la gráfica anterior, el costo de la inversión se recupera después de los 6 años. El tiempo de recuperación es en cierta medida alto, debido a que la propuesta no representa un negocio lucrativo, sino que es una opción que permite el ahorro de gastos y la mejora ambiental. Sin embargo en comparación de otros proyectos, éste es factible.

La obtención del tiempo de recuperación exacto puede llevarse a cabo mediante la resolución de la ecuación tal y como se muestra a continuación.

$$y = 3,047.6X^2 - 16879X - 31072 \quad (4-7)$$

Donde:

y = representa la cantidad recuperada
x = los años transcurridos

Si se toma $y = 0$, entonces se tendrá una ecuación cuadrática, la cual al resolverse se obtiene en una de sus raíces el valor de 6.996. Esto es la cantidad de años en la que se recuperará la inversión hecha.

Una vez obtenido el valor del VPN y el Tiempo de Recuperación de la Inversión (TRI), se puede apreciar que la inversión es de cierto modo rentable, sin embargo aún se puede llevar otra estimación financiera llamada Tasa Interna de Rendimiento (TIR).

Para este caso, la tasa de corte es la tasa de interés que se utilizó para llevar a cabo la actualización de los precios de los servicios (**Tabla 4.2**), por lo que el valor de la tasa de corte corresponde al 4.02%.

Para poder llevar a cabo el análisis primero se lleva a cabo el cálculo de la TIR. Como se mencionó líneas arriba, la TIR es la tasa de interés que hace que el VPN tenga un valor de cero, por lo que se toma la ecuación (3-19).

$$\begin{aligned} \text{VPN} = & [(-\$75,696) + (\$12,301.89/(1+\text{TIR})^1) \\ & + (\$12,796.43/(1+\text{TIR})^2) + (\$13,310.84/(1+\text{TIR})^3) + (\$13,845.94/(1+\text{TIR})^4) \\ & + (\$14,402.54/(1+\text{TIR})^5) + (\$14,981.53/(1+\text{TIR})^6)] = 0 \end{aligned} \quad (4-8)$$

Una vez que la ecuación (3-19) se ha igualado a cero se procede a resolver la ecuación para la TIR mediante métodos numéricos de iteración.

El valor que se obtiene para este caso es una TIR del 2%.

Con ello se puede hacer la comparación de la TIR con la tasa de corte y se tiene que:

$\text{TIR} < r$, debido a que la $\text{TIR} = 2\%$ y $r = 4.02\%$. Por lo que por este cálculo se tiene que no es muy conveniente llevar a cabo la inversión en las tecnologías.

4.3 Análisis de factibilidad ambiental

El análisis de factibilidad ambiental está dado por los beneficios ambientales que se obtienen al llevar a cabo la implementación de las tecnologías propuestas anteriormente. Estos beneficios son los siguientes:

1. Se ahorran en energía térmica cerca de 87.82 kJ/día, lo que evita la emisión de gases tóxicos a la atmósfera, tales como:

CO₂: 690.17 Kg/año

NO_x: 949.84 g/año

CO: 201.93 g/año

CH₄: 22.55 g/año

En la emisión de CO₂, si se toma en cuenta el número de habitantes del Distrito Federal y área metropolitana, entonces se tiene que la siguiente cantidad de bióxido de carbono ahorrada.

Promedio de habitantes del Distrito Federal: 8.7 millones de personas

$$(8,700,000 \text{ personas}) / (5 \text{ personas/hogar}) = 1,740,000 \text{ hogares} \quad (4-9)$$

$$1,740,000 \text{ hogares} * (690.17 \text{ Kg/año}) = 1,200,896 \text{ Toneladas/año} \quad (4-10)$$

2. Se logra un ahorro en energía eléctrica de cerca de 10,140 kWh al año, lo que en el Distrito Federal significan cerca de \$6,591. Además se dejan de emitir y gastar:

CO₂: 6,905.340 Kg/año

SO₂: 58.812 Kg/año

NO_x: 25.35 Kg/año

Se repite el mismo cálculo de emisiones de CO₂ para este caso:

$$(8,700,000 \text{ personas}) / (5 \text{ personas/hogar}) = 1,740,000 \text{ hogares} \quad (4-11)$$

$$1,740,000 \text{ hogares} * (6,905.340 \text{ Kg/año}) = 12,015,291.6 \text{ Toneladas/año} \quad (4-12)$$

Si se suma la cantidad de CO₂ no emitida por el uso de tecnologías de generación de energía térmica y eléctrica, al año se tiene que se dejarían de emitir anualmente cerca de **13,216,187.6 toneladas**.

Además se evita la emisión de cerca de 3.549 Kg/año de polvo y partículas suspendidas.

También se disminuye el uso de aproximadamente 36,504 m³/año de agua potable por hogar. Tomando en cuenta el mismo cálculo para el CO₂, se tiene que se ahorran aproximadamente **64x10⁹ m³/año**.

Por último, en la **Tabla 4.4**, se muestra un análisis comparativo con los resultados de este trabajo.

En resumen, la comparación indica que en la actualidad se puede tener acceso a una mayor cantidad de tecnologías para cuidar el ambiente disminuyendo consumos, además de que las tecnologías de las que se disponía en el pasado, ahora son más efectivas con las mejoras que han sido aplicadas debido al avance de la ciencia y la tecnología.

Cabe destacar que aun los costos de algunas tecnologías siguen elevados, sin embargo ya se cuenta con créditos para la adquisición de éstas, y conforme pase el tiempo también irán disminuyendo los costos inherentes.

Tabla 4.4 Comparación de principales datos de tecnologías propuestas obtenidos de fuentes similares

Principales áreas de importancia	Amante, 2002	Delgado, 2008	Este trabajo
Energía eléctrica	Lámparas fluorescentes , Cantidad: 17, Uso al día: 3 horas, Consumo anual: 422.28 kWh, Ahorro en pesos/año: 677.17, Duración: 9.2 años, Inversión a realizar: \$2,091	Lámparas fluorescentes , Cantidad: 15, Uso al día: 5 horas, Consumo anual: 434.21 kWh, Ahorro en pesos/año: 700, Duración: 7 años, Inversión: \$2,500. Célula solar fotovoltaica , Cantidad: 2, Uso al día: 3.4 horas, Ahorro en pesos/año: 659.47, Inversión: \$20,325.	Lámparas LED , Cantidad: 32, Uso al día: 8 horas totales, Consumo anual: 9,344 kWh, Ahorro en pesos/año: \$5,466.24, Duración: 1.7 años netos, Inversión a realizar: \$7,000 Sistema energía eólica , Ahorro de energía anual: 2,179.05 kWh, Ahorro en pesos/año: \$1,416.38, Inversión por realizar: \$13,846
Energía térmica	Calentador solar de agua , Ahorro anual de gas LP: 720.1 L, Ahorro en pesos/año: 1,879.6, Inversión a realizar: \$8,700	-	Calentador solar de agua , Ahorro anual de gas LP: 732.16 L, Ahorro en pesos/año: \$1,687.833, Inversión a realizar: \$15,600
Consumo de agua	Planta de tratamiento de agua , Consumo promedio considerado/ 5 personas: 930 L/día, Ahorro anual en pesos: \$8,280, Inversión a realizar: \$60,000	Captación de agua pluvial , Consumo promedio considerado/ persona: 200 L/día, Ahorro anual en pesos: \$600, Inversión a realizar: \$46,375	Sistema de captación de agua de lluvia, accesorios p/baño y humedal artificial , Ahorro anual promedio: 114,719.5 L, Ahorro pesos/año: \$174.37, Inversión a realizar en promedio: \$39,250
Otros	Diseño bioclimático , Demanda eléctrica de enfriamiento en kW: 0.652, Ahorro energético cuatrimestral: 78.24 kWh, Ahorro en pesos cuatrimestral: \$73.7	Diseño bioclimático , Demanda eléctrica de enfriamiento en kW: 0.78, Ahorro energético anual: 200 kWh, Ahorro en pesos anual: \$85.50. Energía eólico-solar , Ahorro de energía anual: 2,345 kWh, Ahorro en pesos/año: -, Inversión por realizar: \$25,528	

CAPÍTULO 5 Conclusiones

Una de las principales conclusiones a la que se llegó en este trabajo fue que puede llegar a ser factible la implementación de tecnologías sostenibles en una casa de características similares a las casas del Distrito Federal, las cuales requieren de conexiones de tubería para abasto de agua por parte de la red pública, además de cableado eléctrico proveniente de la red pública. Sin embargo aún falta mucho por realizar en torno a la adaptación de las casas que existen en el Distrito Federal, ya que por ejemplo no se tiene en todas la capacidad de llevar a cabo la captación de agua de lluvia mediante canaletas, debido a que el techo de las casas no se encuentra lo suficientemente inclinado o ni siquiera tienen alguna inclinación; además de que la superficie necesaria (200 m²) no es la óptima.

Lo anterior da como resultado el ahorro de los principales recursos de consumo de una familia; como son: Agua (114,719.5 L/año), energía eléctrica (10,588.7 KWh/año) y térmica (24,574,935 kJ/año).

El balance de energía realizado, lleva a la conclusión de que la inversión que se tiene que llevar a cabo para la adquisición de sistemas de generación de energía eléctrica y térmica es asequible desde el aspecto ambiental y económico (aún cuando el Tiempo de Recuperación de la Inversión (TRI) es en cierto modo elevado), debido a que el gasto anual en energía térmica es aproximadamente de 24,574,935 kJ y de energía eléctrica es de aproximadamente 10,589 kWh.

También el balance de agua realizado lleva a la conclusión de que es importante y urgente la implementación de tecnologías que permitan llevar a cabo un consumo inteligente del agua, ya que la cantidad de agua que se desperdicia es enorme, ya que por ejemplo el consumo anual promedio de agua en una casa común para 5 habitantes es de 255,500 litros, motivo por el se deben llevar a cabo estrategias que nos permitan poco a poco ir reduciendo la cantidad de agua utilizada, ya que esta agua queda contaminada e inutilizable para fines de consumo humano.

Además se llega a la conclusión de que algunas tecnologías sostenibles son fáciles de implementar en el aspecto de que la mayoría no requiere de una instalación compleja, económicas al invertir en ellas debido a la disponibilidad de materiales de construcción y de las diferentes alternativas en dispositivos.

Sin embargo, para la implementación de ciertas tecnologías, las características arquitectónicas de las casas del Distrito Federal no son óptimas, ya que muchas familias viven en departamentos de edificios con varios pisos, los cuales no tienen espacio de jardín; lo que dificulta en gran medida la instalación de un humedal artificial, por citar un ejemplo. Este tipo de problemática nos incita a la práctica de nuevas ideas para la realización y puesta en marcha de las tecnologías sostenibles, como por ejemplo la colocación ya sea de humedales

artificiales o paneles solares en las azoteas de los edificios, lo que permita beneficiar a las familias residentes.

Mediante el análisis económico del VPN se pudo concluir que la factibilidad de inversión para la implementación de las tecnologías sostenibles dependerá en gran medida de la cantidad, calidad y disponibilidad de las tecnologías; además dependerá también de si se dispone de dinero ahorrado para llevar a cabo la inversión o si se acudirá a la posibilidad de un préstamo.

Para este caso específico, se concluyó que al recurrir a la posibilidad de un préstamo bancario, el proyecto es factible siempre y cuando se tenga acordado un interés anual máximo del 20%, ya que si éste es mayor la factibilidad de la inversión será mucho menor, debido a que el tiempo de recuperación de la inversión será mayor.

Es un hecho que falta mucho más por desarrollar en México sobre el tema del cuidado del agua y la generación de energía, ya que no se tiene arraigada una cultura ambiental ni económica en las personas y ha sido necesario que el gobierno otorgue incentivos para la implementación de dispositivos de cuidado ambiental en las casas.

Anexos

ANEXO 1 Glosario de Términos

- **Ampere (A):** Es la unidad del Sistema Internacional de Unidades que se utiliza para la medición de la corriente eléctrica.
- **CO₂:** Dióxido de carbono o bióxido de carbono.
- **DBO:** Demanda biológica de oxígeno, es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, bacterias, hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se expresa en mg / L.
- **DBO₅:** Demanda biológica de oxígeno, es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, bacterias, hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se expresa en mg / L. Normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción.
- **DQO:** Demanda química de oxígeno, es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/L).
- **GEI:** Gases de efecto invernadero.
- **GWh:** Es una medida de energía eléctrica equivalente a la potencia suministrada por un gigawatt en una hora. Giga es el prefijo métrico utilizado para mil millones, en este caso se trataría de mil millones de watts o de 1.000. 000 kilowatts suministrados en una hora.
- **Joule (J):** Es la unidad derivada del Sistema Internacional utilizada para medir energía, trabajo y calor.
- **LED:** Diodo emisor de luz, es un dispositivo semiconductor (diodo) que emite luz incandescente de espectro reducido cuando se polariza de forma directa la unión PN del mismo y circula por él una corriente eléctrica.
- **Lumen (lm):** es la unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir el flujo luminoso, una medida de la potencia luminosa percibida.
- **MW:** MegaWatts, expresión para 1 millón de Watts.
- **PetaJoule (PJ):** 10¹⁵ Joules.
- **ppm:** Unidad de medida de concentración de una solución. Se refiere a la cantidad de miligramos que hay en un kilogramo de disolución.
- **ppt:** Partes por trillón, es la cantidad de nanogramos disuelta en un kilo de disolución.
- **Sólidos suspendidos totales (SST):** Es la cantidad de Sólidos que el agua conserva en suspensión después de 10 minutos de asentamiento. Se mide en ppm.

ANEXO 2 Fórmula de Manning para el cálculo de la capacidad de conducción de las canaletas

La fórmula de Manning es una evolución de la fórmula de Chézy para el cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos y tuberías, propuesta por el ingeniero irlandés Robert Manning en 1889.

$$V = 1/n * R_h^{2/3} * (S^{1/2})$$

En donde:

V = Es la velocidad media del agua en m/s, que es función del tirante hidráulico h

n = Es un parámetro que depende de la rugosidad de la pared

R = Es el radio hidráulico, en m, función del tirante hidráulico h

S = Es la pendiente de la línea de agua en m/m

El coeficiente de rugosidad *n* es más alto cuanto más rugosidad presenta la superficie de contacto de la corriente de agua. Algunos de los valores que se emplean de *n* más comúnmente se presentan en el **Anexo 2** (Moot, 2006).

ANEXO 3 Valores más comunes del coeficiente de rugosidad n de Manning

	Coeficiente de Manning
Cunetas y canales sin revestir	
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0,020-0,025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0,025-0,035
En tierra con ligera vegetación	0,035-0,045
En tierra con vegetación espesa	0,040-0,050
En tierra excavada mecánicamente	0,028-0,033
En roca, superficie uniforme y lisa	0,030-0,035
Cunetas y Canales revestidos	
Hormigón	0,013-0,017
Paredes de hormigón, fondo de grava	0,017-0,020
Paredes encachadas, fondo de grava	0,023-0,033
Revestimiento bituminoso	0,013-0,016
Corrientes Naturales	
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente	0,027-0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente, algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0,035-0,050
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0,060-0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0,100-0,2001
Áreas de inundación adyacentes al canal ordinario	0,030-0,200

ANEXO 4 Construcción de los tanques de almacenamiento de agua de lluvia

Las cisternas tanque se pueden construir de diversas formas (cilíndrica, ovalada, tubular, etc...), para distribuir bien el peso de su contenido. Debido a su forma se llega a un uso óptimo de los materiales (hasta un 40% más capacidad con el mismo material que la forma cuadrada), es muy manejable y resistente y se pueden construir grandes almacenes de agua (hasta más de 100,000 L), (CIID, 1990).

El procedimiento de construcción así como los materiales requeridos se presentan a continuación:

- Varas de madera resistentes, naturales o aserradas, de por lo menos 2 m de largo. Utilizar las varas para hacer una escalera que se soporte a sí misma de modo que se pueda pasar por encima de las paredes del tanque.
- Arena limpia.
- Cemento.
- Por lo menos dos palas de albañil planas.
- Dos trozos cortos de tubería, uno de ellos con un grifo.
- Malla de alambre galvanizada de trama de 12 mm (del tipo que se utiliza en los gallineros).
- Alambre de cercar galvanizado.

Primero lo que se tiene que hacer es decidir el tamaño del tanque. Se recomienda no exceder los 1.5 m de altura, ya que en ese caso se requiere refuerzo adicional. Posteriormente quitar la capa orgánica del sitio donde se construirá el tanque para que descansa en tierra firme.

Después se deben enterrar las varas de madera, dejando una distancia de 40 cm entre cada una de ellas, siguiendo el contorno interno del círculo. Hay que asegurarse que estén bien firmes, ya que deben permanecer derechas cuando se estire la malla alrededor de ellas. Posteriormente poner dos capas de malla sobre el fondo del tanque. Doblar hacia arriba por lo menos 30 cm de malla entre las varas de modo que quede dentro de las paredes que se forman por fuera de las varas. Juntar los trozos de malla atándolos con un alambre fino (se puede conseguir desarmando la malla). A continuación, quitar la malla o por lo menos levantarla lo suficiente para que se pueda continuar con el siguiente paso.

A continuación mezclar el cemento, la mezclar no debe estar muy aguada, por lo que no se debe agregar toda el agua de una vez, especialmente si la arena está húmeda. 3 partes de arena por 1 de cemento y tres cuartas partes de agua.

Después humedecer el suelo. Esparcir 2.5 cm de cemento por el fondo del tanque y dejar alrededor de 2.5 cm libres alrededor de las varas para poder

quitarlas posteriormente. Aplanar la superficie del cemento, pero dejarla áspera ya sea raspándola o levantándola con una brocha. Se debe trabajar lo más rápidamente posible.

Antes de que se endurezca el cemento, volver a poner la malla que se quitó. Pararse o arrodillarse sobre planchas de madera para que el peso se distribuya y no cause daño a la primera capa de cemento. Salpicar el cemento con agua en caso de que comience a secarse. Posteriormente agregar rápidamente otra capa de 2.5 cm de cemento, luego dejar alrededor de 2.5 cm libres alrededor de las varas y dejar la superficie áspera. De aquí en adelante la superficie del cemento fresco se debe mantener húmeda hasta que se haya terminado el tanque; se pueden usar sacos viejos o trozos de polietileno.

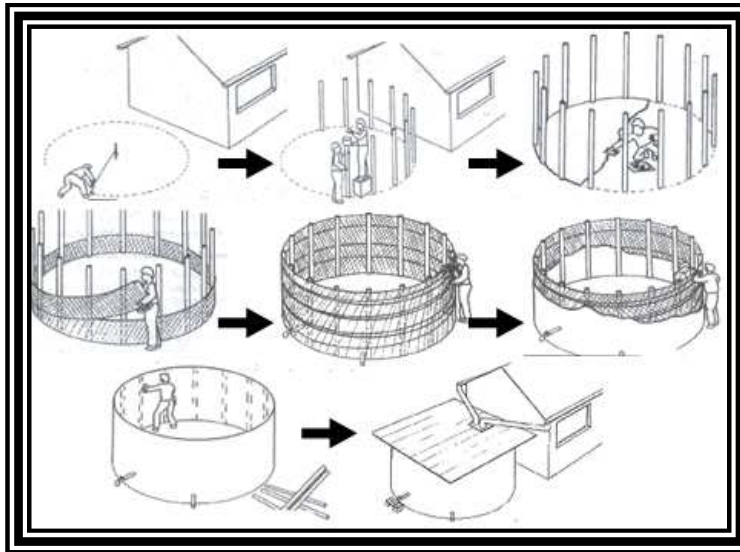
Preparar el refuerzo de las paredes enrollando malla alrededor de las varas, de modo que todo quede cubierto por un mínimo de dos capas de malla. Asegurarse de que las varas se mantengan derechas, al aplicar la segunda capa de malla, los agujeros deben quedar a diferente nivel de los de la primera. Juntar los trozos de malla atándolos con un alambre fino.

Una vez hecho esto reforzar la malla enrollando un alambre continuo alrededor de la estructura. El espacio entre cada vuelta del alambre debe ser de 15 cm alrededor del fondo de las paredes; éste se puede aumentar hasta aproximadamente 30 cm en el borde. Se debe poner una vuelta de alambre adicional en el borde del tanque. Insertar una de las tuberías a través del tanque aproximadamente 10 cm por encima del fondo y asegurarlo en su lugar atándolo a una estaca enterrada en la tierra. Poner también una tubería a nivel del fondo. Esta tubería debe tener una válvula de obturación o una tapa que se pueda quitar en el extremo exterior, de modo que se pueda abrir para drenar el agua sucia del tanque toda vez que se necesite limpiarlo.

Comenzar a cementar las paredes del tanque con la mezcla como se muestra en la siguiente figura. Esto necesita por lo menos dos personas, una por dentro y la otra por fuera del tanque. Deben trabajar juntos, presionando en el mismo punto para comprimir el cemento con la malla para formar una capa de alrededor de 1 cm a 1.5 cm de grosor.

Un método alternativo y más sencillo de aplicar la primera capa de cemento es envolver el exterior del tanque con bolsas de azúcar o con esteras que se mantienen en su lugar con una cuerda arrollada alrededor con una distancia de 5 cm entre vuelta y vuelta. Una persona dentro del tanque puede empujar la mezcla contra esta superficie. Quitar las bolsas una vez que el cemento esté seco).

Después raspar o levantar con brocha ambas superficies para que queden ásperas. Después de un día, agregar una segunda capa de cemento a la superficie exterior del tanque previamente mojada, a la que se le da una terminación lisa.



Procedimiento para la construcción del un tanque cisterna por el método de ferrocemento para el almacenamiento de aguas pluviales (TILZ, 2005)

Mantener siempre el cemento húmedo y a la sombra por lo menos dos semanas después de terminar el tanque para evitar que se produzcan grietas.

Al día siguiente, quitar cuidadosamente las varas. Poner piedras en los agujeros que quedan en el terreno y rellenarlos con cemento, después humedecer las ranuras expuestas y rellenarlas con cemento fresco.

A continuación, agregar una capa final lisa de cemento (de 1 cm a 1.5 cm de espesor) al interior y al fondo del tanque. Como siempre, mantener las superficies húmedas todo el tiempo.

Hacer las paredes más gruesas en los sitios por donde pasan las tuberías. En el exterior, apoyar la tubería con el grifo sobre ladrillos encementados. Es recomendable hacer una pequeña depresión bajo el grifo de manera que se puedan poner los cubos o baldes. Asegurarse de que haya un desagüe tapado. Cuidar de mantener el tanque húmedo por lo menos dos semanas antes de llenarlo.

Cubrir el tanque con un techo para evitar que caigan en él basura e insectos. Se pueden utilizar planchas de zinc o un techo de concreto en forma de bóveda. Una vez hecho esto llenar el tanque lentamente con agua.

Si aparecen grietas, se pueden reparar con el tanque vacío cincelando el cemento para separarlo de la malla y rellenando el agujero con cemento fresco. Mantener la reparación húmeda por lo menos durante dos semanas (TILZ, 2005).

Referencias bibliográficas

- ACS, 2007. Ciudades para un futuro más sostenible. Publicación de la Agenda de la Construcción Sostenible. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Alcalde, M. 2009. Estudio técnico y económico en la implementación de biodigestores en zonas rurales del Estado de México a partir de desechos orgánicos. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química. Facultad de Química, UNAM. Ciudad Universitaria, D.F., México.
- Amante, F. 2002. Metodología para el diseño de arquitectura ecológica. Tesis de Maestría Arquitectura. Facultad de Arquitectura, División de Posgrado, UNAM. México, D.F.
- Ando, A., Bogaki, H. y Hoyano, I. 2005. Architecture for a sustainable future. Publicación de Tokyo: Architectural Institute of Japan. Japón.
- Banús, E. 2009. Recursos Naturales: Introducción. 2a ed. Cesarini. Argentina.
- Bavor, H. y Roser, D. 1986. Joint study on sewage treatment using shallow lagoon-aquatic plant systems. Water research laboratory Agricultural College. Richmond, Australia.
- Bono, E. y Tomás, J. 2006. Residuos urbanos y sustentabilidad ambiental. Publicación de Generalitat Valenciana. Valencia, España.
- Botero, R. y Preston, T. 1987. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas, manual para su instalación, operación y utilización. Publicación de la Universidad Earth. Costa Rica.
- ByBee, R. 1991. Planet Earth in crisis: how should science educators respond? The American Biology Teacher. EEUA.
- CEC, 2001. Edificación sustentable. Publicación de la Commission for Environmental Cooperation. Canadá.
- Cerda, F. 2008. Casa autosustentable. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción, España.
- CIID. 1990. Sistema para recolección de agua de lluvia. Publicación del Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo. Canadá.
- Comisión Brundtland. 1987. Hablemos de sostenibilidad. Publicación de la Comisión Brundtland. Suiza.
- CONAVI. 2008. Uso eficiente del agua en desarrollos habitacionales. Publicación de la Comisión Nacional de Vivienda. México, D.F., México.
- Coombes, P. 2003. Water Sensitive Urban Design (WSUD). Wastewater reuse. Australia.
- De Nápoli, A. 2006. Aerogeneradores. Publicación de la Invap Ingeniería, S.A. Argentina.
- Delgado, L. 2008. Vivienda ecológica, económica y autosustentable en una comunidad rural, reubicada debido a una obra de gran infraestructura. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería, UNAM. Ciudad Universitaria, D.F., México.

- Droste, R. 1997. Theory and practice of water and wastewater treatment. Editores John Willey & Sons. Canadá.
- Durán, J. 2008. Tipos de energías renovables. Las renovables siguen creciendo. Publicación de CAP Madrid-centro. Madrid, España.
- DWC, 2004. Humedales artificiales en sistemas domésticos. Publicación de la DecRen Water Consult. Alemania.
- EEL, 2009. LEDs and compact fluorescent light bulbs. Publicación del Energy Efficient Lighting. EEUA.
- EERE, 2009. Aerogeneradores. Publicación de la Energy Efficiency and Renewable Energy. U:S: Department Energy. Estados Unidos de América.
- FAO, 1992. Fomento forestal y dilemas políticos. Publicación de la Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Canadá.
- Feachem, R., Bradley, D. y Garelick, H. 1993. World sanitation and disease: health aspects of excreta and wastewater management by Bank Studies. In water supply sanitation. Vol. 3. John Wiley & Sons. Chichester, Reino Unido.
- García, J. 2006. Renovables 100%. Un sistema eléctrico renovable para la España peninsular. Publicación de Greenpeace. España.
- Gelt, J. 1997. Constructed wetlands using human ingenuity, natural processes to treat water, build habitat. Publicación de la Water Resources Research Center. EEUA.
- Gómez, C. 1999. Principales problemáticas globales. Prentice Hall. 60 pags. México.
- Goswami, D. 2007. Solar Energy. International Congress in Renewable Energy. Solar Energy Journal. Publicación de la International Solar Energy Society. EEUA.
- Gutiérrez, J, Trejo, O., Camacho, S., Castillo, R., Cruz, S. y Castañeda, J. 1997. Educación Ambiental. Caminos ecológicos. Limusa Noriega Editores. 199 páginas. México, D.F., México.
- Hartner, K., Soward, L. y Shankle, G. 2007. Harvesting, Storing and Treating Rainwater for Domestic Indoor Use. TCEQ (Texas Commission on Environmental Quality). EEUA.
- Hieronimi, H. y Ortiz, M. 2006. Manejo sustentable de agua en una casa familiar: experiencias rurales en zonas rurales de México. Presentación en el foro encuentro "Tlalocan"- Festival Internacional por el agua. México, D.F., México.
- IEA/OECD, 2008. Energy Statistics. International Energy Agency. Francia.
- IES, 1998. Universal Technical Standard for Solar Home Systems. Publicación del Instituto de Energía Solar. España.
- INE, 2002. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero. Publicación del Instituto Nacional de Ecología. México, D.F., México. □
- INE, 2006. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero. Publicación del Instituto Nacional de Ecología. México, D.F., México. □
- Jiménez, G. 2001. Impacto del concepto de desarrollo sustentable en los proyectos de ingeniería de recuperación de condensados y refinerías. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química, UNAM. México, D.F., México.

- Kadlec, R. y Urban, D. 1993. Hidrological design of free water surface treatment wetlands. Taylor & Francis, Inc. EEUUA.
- Knudstrup, M., Ring, H. y Brunsgaard, C. 2009. Approaches to the design of sustainable housing with low CO2 emission in Denmark. *Renewable energy*. 34(9):2007-2015.
- Llagas, W. y Gómez, G. 2006. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. Perú.
- Llamas, A., Viramontes, F y Probst, O. 2003. Situación del sector eléctrico en México. Centro de Estudios de Energía, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey. Monterrey, Nuevo León, México.
- Loh, M. y Coghlan, P. 2001. Domestic water use study. Publicación de la Water Corporation. Perth, Oeste de Australia.
- Lugones, B. 2001. Análisis de biodigestores. Publicación de CubaSolar. Cuba.
- LyFC, 2009. Informe Estadístico Anual de Luz y Fuerza del Centro. México, D.F., México.
- Marble, A. 1997. A guide to wetland functional design. Lewis publishers Inc. 90 páginas. EEUUA.
- Markvart, T. 2004. Sizing of hybrid photovoltaic-wind energy systems. Departamento de ingeniería de materiales, Universidad de Southampton. Reino Unido.
- Martí, J. 2007. Biodigestores familiares. Guía de diseño y manual de instalación. Bolivia.
- McDonald, M. y Peters, K. 2001. The sustainability report-A review of corporate sustainability reporting. The sustainability report. Reino Unido.
- Miglio, R. 2006. Inventario de experiencias con humedales artificiales en dos ciudades del Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ingeniería Agrícola. Perú.
- Monniaux, D. 2005. A solar panel in Marla, Cirque de Mafate, Reunion. India.
- Mott, R. 2006. Mecánica de Fluidos. 6a ed. Pearson. México, D.F., México.
- Nebel, B. 1999. Ciencias ambientales, ecología y desarrollo sostenible. 6ª. ed. Pearson Prentice Hall. México, D.F., México.
- OkSolar. 2000. Technical LED's color. Manual de producto. EEUUA.
- Pedraza, E. 2008. Estadísticas e indicadores de energía como herramienta para el desarrollo de políticas públicas. Publicación de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE). México, D.F., México.
- Pesci, P. 1993. ¿La tecnología es sustentable?. Revista ambiente digital. 4:7-20. Argentina.
- Peterson, J., Perez, R., Bailey, B. y Elsholz, K. 1999. Operational experience of a residential photovoltaic hybrid system. *Solar Energy*. 65(4):227-235.
- Phillips, V. 2008. Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. Manual de captación para la participación comunitaria. Publicación de la Global Environmental Management (GEM). EEUUA.
- Porras, J. 2007. Edificación sustentable para construir un futuro. Publicación del Instituto de Ingeniería de la UNAM en prensa. México, D.F., México.

- Ruíz, L. 2005. Sistemas de ahorro de agua y energía. Guía de ahorro energético en residencias de mayores. España.
- Ruiz, V. 2007. Energías renovables y nuevas tecnologías energéticas. Publicación del Instituto Tecnológico de Canarias. Canarias, España.
- Sánchez, F. 2005. Energía solar: beneficios y costes. ¿Qué podemos conseguir y cuánto nos cuesta? Página web de energía en España.
- SEMARNAT, 2008. Agua. Publicación de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F., México.
- SEMARNAT, 2009. El medio ambiente en México, en resumen. Informe para el ahorro de recursos naturales. Publicación de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F., México.
- SEMARNAT, 2010. El medio ambiente en números. Selección de estadísticas ambientales. Publicación de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F., México.
- SENER, 2007. Balance Nacional de Energía. Publicación de la Secretaría de Energía. Dirección General de Información y Estudios Energéticos. México, D.F., México.
- SENER, 2008. Balance Nacional de Energía. Publicación de la Secretaría de Energía. México, D.F., México.
- SENER, 2009. Balance Nacional de Energía. Publicación de la Secretaría de Energía. México, D.F., México.
- SIL, 2004. Futuro de la energía en el mundo. Publicación de la Shell International Limited. Reino Unido.
- Tesillos, C. y Alvide, R. 2007. Programa preliminar de diseño de humedales artificiales de flujo horizontal, para emplearse como sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química. Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza", Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México.
- Tester, J., Drake, E., Driscoll, M., Golay, M y Peters, W. 2005. Sustainable energy. Choosing Among options. The mit press. Cambridge, Massachusetts. Londres, Inglaterra.
- Torres, D. 2005. Alternativas del aprovechamiento del agua en la vivienda. Publicación de la Universidad Veracruzana. Veracruz, México.
- TRHEC, 2006. Rainwater harvesting potential and guidelines for Texas. Publicación del Texas Rainwater Harvesting Evaluation Committee. EEUA.
- UAM-SENER, 2003. Prospectiva tecnológica del sector energía para el siglo XXI. Visión 2003. 64 páginas. México, .D.F, México.
- UNATSABAR, 2001. Guía de diseño para captación del agua de lluvia. Publicación de la Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural. Lima, Perú.
- Vargas, E. 2004. Propuesta para ahorrar 294,000,000 litros de agua potable al día en el D.F. Biblioteca temática del Centro Virtual de Información del Agua. Expoforo. Publicado por Fondo para la comunicación y la educación ambiental A.C. y la Fundación Gonzalo Río Arronte, IAP. México, D.F., México.