



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

# **La sustentabilidad y las externalidades ambientales en los desarrollos de vivienda**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

**LUIS ROBERTO SILVA VARA**

DIRECTOR DE TESIS:  
DR. ENRIQUE CÉSAR VALDEZ

México, D.F.

Noviembre 2010



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.

A los que me han acompañado en cada momento:

Mi papá, mi mamá y mi hermana

## Agradecimientos

Con la culminación de mi tesis se cierra un ciclo de estudio y formación para dar paso a uno nuevo. Esta tesis significa el comienzo de cuestionamientos, de análisis y de nuevas ideas pues a lo largo de la creación de este documento surgieron muchas preguntas que tendré que ir contestando a lo largo de mi carrera profesional. Así que, para mí simboliza el comienzo de la búsqueda, no sólo de la sustentabilidad, sino de un cambio de visiones y paradigmas tanto míos como de nuestra sociedad en general. No me queda más que agradecer a aquellos que han sido una parte vital de este ciclo y a aquellos que me acompañarán en mis siguientes pasos.

Agradezco infinitamente primeramente a mis padres y hermana que han sido ejemplos a seguir y pilares en los cuales me apoyo. Gracias papá por poner a la familia primero, por siempre creer en mí y enseñarme que la paciencia y determinación llevan lejos a aquél que las practica. Gracias mamá por ser el motor principal de mi día a día, tu atención y cariño siempre me han hecho salir adelante. Gracias hermana que me has apoyado en todo momento, que has sido confidente y consejera y que me has abierto un camino que, si bien no es el que sigo, me sirve de ejemplo para la construcción del mío. Gracias también a los tres porque no hubo un solo día que no preguntaran: ¿Cómo vas con la tesis?; porque ocuparon tiempo valioso en ayudarme con consejos y detalles; gracias simplemente por estar ahí.

Agradezco a mis viejos amigos porque algunos escucharon con interés (quiero suponer) lo que les platicaba de mi tesis y porque han estado ahí en los buenos y malos momentos, en especial a Pedro, Diego y Juan. También agradezco a mis amigos de la facultad que hicieron de esos cuatro años y medio una experiencia inigualable, en especial a Antonio, Viridiana, Rafael, Sandra, Dalila y Gonzalo. Agradezco también a amigos que por casualidad o destino conocí, en especial a Alhondra por su apoyo y nuestra apuesta.

Agradezco a mi Universidad, la UNAM, y sobre todo a la Facultad de Ingeniería pues me brindaron todas las herramientas necesarias para una formación de primer nivel. También a mis profesores, pues de ellos aprendí a pensar, a calcular, a entender, a imaginar, a aprender y sobre todo a cuestionar. A mi director de tesis, Enrique César por ayudarme y guiarme en esta importante labor.

Finalmente agradezco también a la gente comprometida con sus ciudades y con su entorno, a la gente que es capaz de cambiar de visiones obsoletas para buscar el avance de nuestra sociedad. Agradezco a todos aquellos que hacen un cambio en sus vidas por el bien de todos pues de esos pequeños contribuyentes es que realmente se logra el progreso en la educación, la moral, el desarrollo y la conservación del medio ambiente.

## Resumen

La sustentabilidad es un tema ampliamente debatido en la sociedad moderna. Surge de las problemáticas que se han identificado con respecto al medio ambiente. En esta tesis se busca explicar qué es la sustentabilidad y cómo se le puede dar valor dentro de los proyectos de vivienda sustentable. En este marco, es donde aparecen las externalidades ambientales, que buscan darle un valor tanto a los aspectos positivos como negativos de impactos al medio ambiente por un determinado proyecto. Dichas externalidades son capaces de inclinar la balanza a favor de la sustentabilidad versus proyectos tradicionales en los análisis de costo-beneficio debido a los beneficios ambientales y ahorros monetarios y de recursos que ella brinda. Además, se presenta un caso estudio del programa de Hipoteca Verde del INFONAVIT, donde se calculan los ahorros que brinda en agua y energía y se analizan los resultados obtenidos. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

## Abstract

Sustainability has become a highly discussed matter in our modern society. The concept is born from the identified issues related to environment. This document tries to clarify the concept of sustainability, its components, and how to create a value out of it for the promotion of sustainable housing projects. With this in consideration, the concept of environmental externalities is introduced in order to give a specific value to positive and negative impacts that a certain project has on the environment. These externalities analysis is an important factor that could make developers and costumers lean towards sustainable projects rather than traditional ones because of the environmental benefits and resource/monetary savings. Moreover, a case study is analyzed: INFONAVIT's "Hipoteca Verde" (Green Credits). In this case study, savings on water and energy are calculated and the obtained results are evaluated. At last, but not least, conclusions are presented and recommendations are offered.

## Palabras clave

Sustentabilidad, vivienda sustentable, ciudades sustentables, externalidades ambientales, desarrollos de vivienda, bienes y servicios ambientales, programa Hipoteca Verde, fraccionamiento Héroes de Tecámac.

## Keywords

Sustainability, sustainable housing, sustainable cities, environmental externalities, housing developments, environmental goods and services, "Hipoteca Verde" (Green Credits), "Héroes de Tecámac" housing development.

# Índice

---

Introducción.....	9
Antecedentes .....	9
Objetivo y capitulado .....	10
1    Sustentabilidad.....	12
1.1    Historia y definición .....	12
1.1.1    Conceptos detrás de la sustentabilidad.....	14
1.2    Importancia de la sustentabilidad en el sector de la construcción .....	15
1.3    Problemas ambientales que la sustentabilidad busca combatir .....	16
1.3.1    Cambio climático, emisiones de GEI y uso excesivo de energía.....	16
1.3.2    Desabasto de agua potable y contaminación de recursos hídricos: .....	20
1.3.3    Pérdida de recursos naturales y generación de residuos.....	22
2    Vivienda Sustentable .....	23
2.1    Medidas preventivas y diseños.....	24
2.1.1    Diseños.....	26
2.2    Códigos de edificación .....	36
2.2.1    Reino Unido .....	36
2.2.2    Código de Edificación de Vivienda de México .....	38
2.3    Ciclo de Vida.....	41
2.3.1    Huella de carbono.....	42
2.3.2    Huella hídrica .....	42
2.3.3    Materiales constructivos .....	43
2.4    Ciudad Sustentable .....	44
2.4.1    Comunidades rurales sustentables.....	45
3    Las externalidades ambientales .....	48
3.1    Importancia .....	48
3.2    Concepto .....	48
3.3    Características .....	50
3.4    Costo directo e indirecto.....	51
3.5    Proceso de internalización de las externalidades.....	51
3.5.1    El valor de los bienes ambientales.....	52
3.5.2    Internalización en México.....	54
3.6    Costos y beneficios en los proyectos de vivienda.....	55
4    Caso estudio: Fraccionamiento Héroes de Tecámac .....	57
4.1    Descripción general del proyecto .....	57
4.1.1    Ubicación .....	57
4.1.2    Vivienda tipo .....	58

4.2	Dispositivos de ahorro de agua y energía .....	59
4.2.1	Ahorro de agua .....	59
4.2.2	Ahorro de energía .....	60
4.2.3	Ahorro de gas.....	60
4.3	Análisis Costo-Beneficio .....	62
4.3.1	Inversión inicial .....	62
4.3.2	Ahorro de agua .....	63
4.3.3	Ahorro de electricidad .....	65
4.4	Evaluación de externalidades positivas del proyecto Héroes de Tecámac .....	68
4.4.1	Agua .....	68
4.4.2	Electricidad .....	69
4.4.3	Valor Presente Neto.....	70
4.5	Análisis del funcionamiento real de los dispositivos .....	72
5	Conclusiones y Recomendaciones.....	74
	Referencias .....	82
	Anexo A Esquemas de tratamiento y reuso del agua.....	85
	Anexo B Huellas de carbono, hídrica y ecológica .....	87

# Índice de figuras, tablas y gráficas

---

## Figuras

Figura 1.1	14
Figura 1.2	14
Figura 1.3 Agua Mundial	20
Figura 2.1 Tácticas de manejo del agua y agua residual	26
Figura 2.2 Esquema 1 de manejo integral del agua residual	27
Figura 2.3 Esquema 2 del manejo integral del agua residual (proceso de recolección, tratamiento y reciclaje de aguas grises)	28
Figura 2.4 Esquema 3 de manejo integral del agua residual por uso de humedal artificial	29
Figura 2.5 Humedal artificial	29
Figura 2.6 Inodoro con separación de orina y al vacío, respectivamente	30
Figura 2.7 Bomba de vacío	30
Figura 2.8 Esquema del inodoro seco	31
Figura 2.9 Organoponia	32
Figura 2.10 Acolchado	32
Figura 2.11 Corte de una planta de biogás	33
Figura 2.12 Conexión a red	34
Figura 2.13 Esquema de funcionamiento de un calentador solar en una vivienda	35
Figura 2.14 Ámbitos de las prácticas del manejo de recursos naturales de las comunidades rurales	45
Figura 2.15 Plano de la comunidad Nuevo Juan de Grijalva	46
Figura 4.1 Fotografía aérea del conjunto urbano	57
Figura 4.2 Dispositivos ahorradores instalados en los aparatos de las viviendas del complejo	59
Figura 4.3 Esquema de las dimensiones del inodoro Marathon	60
Figura 4.4 Esquema de funcionamiento y foto del calentador solar	60
Figura 4.5 Esquema de funcionamiento de los calentadores solares instalados en el conjunto habitacional	61
Figura A 1 Esquema de tratamiento de aguas en la casa “Xochicalli”	85
Figura A 2 Esquema del humedal de Cucuchucho	86
Figura B.1 Huella hídrica promedio por país	90
Figura B.2 Huella de carbono por país	90
Figura B.3 Huella ecológica por país	91



## Tablas

Tabla 1.1 La construcción como devoradora de recursos	15
Tabla 1.2 Emisiones de México 1990-2002, millones de toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente (MtCO <sub>2</sub> e)	18
Tabla 2.1 Medidas para la preservación de los recursos hídricos	24
Tabla 2.2 Medidas para la preservación de energía	25
Tabla 2.3 Medidas para el buen manejo y disposición de residuos	25
Tabla 2.4 Requerimientos mínimos para agua y energía	36
Tabla 2.5 Requerimientos mínimos para otros elementos	37
Tabla 3.1 Principales costos ambientales en México para 1992	54
Tabla 4.1 Elementos ahorradores de las “casas ecológicas” y sus precios	62
Tabla 4.2 Elementos de las viviendas testigo y sus precios	63
Tabla 4.3 Tabla de precios por concepto de consumo de agua doméstico	64
Tabla 4.4 Consumo y uso promedio de electrodomésticos	65
Tabla 4.5 Datos observados en las casas con focos ahorradores	66
Tabla 4.6 Datos observados en las casas sin focos ahorradores	66
Tabla 4.7 Resultados calculados de ahorro monetario y de energía	67
Tabla 4.8 Tabla de la huella de carbono por algunos productos consumidos	69
Tabla 4.9 Ahorros en cinco años por concepto de pago de agua y energía por vivienda y por el conjunto habitacional	70
Tabla 4.10 Ganancia por concepto de CERs en cinco años	71
Tabla B.1 Huella hídrica promedio de productos seleccionados de ciertos países (m <sup>3</sup> /ton)	87
Tabla B.2 Composición de la huella hídrica de países selectos para el periodo 1997-2001	88
Tabla B.3 (Continuación) Composición de la huella hídrica de países selectos para el periodo 1997-2001	89

## Gráficas

Gráfica 1.1 Proveniencia de emisiones de CO <sub>2</sub> por sector	16
Gráfica 1.2 Proveniencia de emisiones de CO <sub>2</sub> e por fuente	17
Gráfica 1.3 Emisiones de CO <sub>2</sub> en México	17
Gráfica 1. 4 Consumo de energía tendencial (no acción)	18
Gráfica 1. 5 Consumo de energía en el mejor escenario	19
Gráfica 1.6 Consumo de energía en el hogar (con calefacción y/o aire acondicionado)	19
Gráfica 1.7 Consumo de energía en el Hogar (sin calefacción y/o aire acondicionado)	20
Gráfica 1.8 Consumo de agua en México por sector	22
Gráfica 2.1 Emisiones en México de CO <sub>2</sub> en el 2001 por sector	42

## Abreviaturas y siglas

CER	Certificado de Reducción de Emisiones (siglas en inglés)
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CONAFOVI	Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONAVI	Comisión Nacional de Vivienda
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
FAO	Organización para la Agricultura y la Alimentación (siglas en inglés)
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GTZ	Agencia Alemana de Cooperación Técnica (siglas en alemán)
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INFONAVIT	Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores
IPCC	Panel Intergubernamental del Cambio Climático (siglas en inglés)
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PNV	Plan Nacional de Vivienda
SACM	Sistema de Aguas de la Ciudad de México
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía

Trata bien a la tierra.  
No te la dieron tus padres,  
te la prestaron tus hijos

Proverbio keniano

# Introducción

---

## Antecedentes

La problemática que atraviesa el país y el mundo en general por usos de suelo, destino de recursos y cambio climático ha llevado a repensar el esquema de desarrollo actual. La componente ambiental del desarrollo fue omitida por muchos años debido a los métodos y esquemas económicos por los que se regía la planeación y a la falsa creencia de que los recursos del planeta eran inagotables. Es dentro de este marco que surge un intento por posicionar al ambiente como elemento principal dentro de la planeación urbana y económica. Ya son varios los países que empiezan a implementar normas y políticas que favorecen o imponen el uso de prácticas sustentables a desarrolladores de vivienda, industrias y empresas en general.

En términos de vivienda, en México se tiene el Programa Nacional de Vivienda 2008-2012 (PNV) que tiene como objetivo el lograr un desarrollo habitacional sustentable. En el PNV se reconoce la saturación de los servicios de infraestructura e institucionales, así como la reducción en disponibilidad de recursos ambientales. De acuerdo al PNV “existen 56 zonas metropolitanas que concentran al 56 por ciento de la población y el 75 por ciento de la generación del PIB de todo el país. Su ritmo de crecimiento demográfico en el periodo 2000- 2005 (1.5 por ciento) fue medio punto superior al del resto del país (1.0)” y “la mitad de ellas está cerca de vivir escenarios críticos por su baja o muy baja disponibilidad de recurso hídrico”. Esto da importancia a los desarrollos de vivienda, ya que son parte del sector de la construcción que más crecimiento tiene y es ahí donde las labores de sustentabilidad deben recaer para contrarrestar el efecto de dicha saturación y reducción. A continuación se presenta un extracto del PNV que vale la pena rescatar y que deja más claro por qué se debe analizar e implementar la sustentabilidad en el sector de la vivienda:

“En 2005 aún se reporta que la población que carece de ellos [servicios básicos] representa 11.5 por ciento en el caso del agua entubada, 14.2 de drenaje, el 6.6 de excusado y 2.5 de energía eléctrica. Adicionalmente, las viviendas que requieren mejoras o remodelaciones porque no cuentan con materiales durables son, en techos 35.8, en muros 20.7 y en pisos 10.3 por ciento. En los barrios y colonias que concentran la mayor parte de la población urbana, la insuficiencia y falta de vialidades y servicios de luz eléctrica, agua potable, sistemas de recolección de basura, se combina con los precedentes de incertidumbre jurídica implícitos en los procesos de invasión-regularización, para crear ambientes adversos a la sana convivencia y la socialización, proclives en cambio, a la delincuencia, la conducta antisocial y la distorsión formativa de los jóvenes. La sustentabilidad del desarrollo habitacional tiene su origen en la definición y control del destino del suelo. De la ubicación de la tierra depende la disponibilidad de agua y la posibilidad de contar con infraestructura y los servicios adecuados, a través de procesos de inversión y desarrollo que no propicien el acaparamiento y la especulación inmobiliaria. Una de las principales debilidades históricas del crecimiento urbano del país radica precisamente en la falta de una política de constitución y uso de reservas territoriales que permita regularlo con eficacia.”

Por otro lado, se tiene la creación de las denominadas Hipotecas Verdes, a cargo del INFONAVIT, que se basan en aumentar el monto de financiamiento a los derechohabientes que compren viviendas que incluyan ecotecnologías. El objetivo es el fomentar la compra de “viviendas ecológicas” y surge también por el interés de implementar acciones de ahorro de recursos ante la problemática actual.

## Objetivo y capitulado

Teniendo los antecedentes en consideración, el objetivo de esta tesis fue el analizar qué factores dentro de una vivienda hacen que sea sustentable y cómo al tomar en cuenta las externalidades ambientales se puede hacer más atractivo un proyecto sustentable. Se mostró una vista general de las externalidades ambientales, su relación con los proyectos de vivienda sustentable y se cuantificaron las externalidades positivas para poder darles un valor en el proceso de evaluación de proyectos y así definir qué tan rentable es un proyecto de vivienda sustentable. Se espera que este trabajo brinde un panorama que fomente tomar en cuenta proyectos sustentables (tanto los desarrolladores e inversionistas como los compradores) y que genere una conciencia ambiental necesaria para el éxito de la implementación de la sustentabilidad en los proyectos de construcción. Además, se analizaron los alcances reales del proyecto de Hipotecas Verdes para conocer si se están cumpliendo sus objetivos.

En México, mucho se habla de la sustentabilidad pero existen carencias cuando se intenta encontrar un concepto integral de ésta. Esto ocasiona un hueco en el conocimiento y por lo tanto no se puede aplicar de manera adecuada a los proyectos. Es por ello que por medio de este trabajo también se busca esclarecer el término y proporcionar una idea del concepto de las externalidades ambientales.

Los alcances de la tesis en cuanto al análisis de externalidades ambientales son limitados debido a la falta de información, sin embargo se incluye la cuantificación de externalidades positivas concernientes al ahorro de agua y energía, así como de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en términos monetarios.

En el primer capítulo se define el concepto de sustentabilidad y su historia, al igual que se muestra la situación actual en términos de energía, agua y residuos. En este capítulo se identifica a la industria de la construcción como un actor importante en el tema del despilfarro de recursos y como contaminador.

Una vez definidos los problemas ambientales y la sustentabilidad, en el capítulo dos se aterrizan los conceptos de sustentabilidad a su aplicación en las viviendas. Se identifican los tres principales focos en donde se centran las tecnologías y mejoramientos tomando en cuenta los problemas ambientales: el agua, la energía y los residuos. Se mencionan las tecnologías involucradas, así como diseños ya utilizados en el ahorro y tratamiento de éstos. Por otro lado se describe cómo dichas tecnologías y diseños son incorporados a códigos de vivienda en dos casos específicos, el del Reino Unido y México.

En el capítulo dos también se aborda el concepto de Ciclo de vida, las partes que lo integran y su importancia para poder alcanzar prácticas sustentables reales. Por último, se aborda el tema de la ciudad sustentable siendo ésta el objetivo de varios gobiernos ante las problemáticas ambientales, sociales y económicas que viven.

El capítulo tres introduce el tema de las externalidades ambientales, su concepto y definición, así como los denominados bienes ambientales. El objetivo de conocer qué son las externalidades ambientales es el de posibilitar un proceso de internalización de ellas para que puedan ser consideradas en el análisis de costo-beneficio. Además, se mencionan los costos y beneficios vinculados con la construcción de proyectos sustentables.

En el capítulo cuatro se analiza el caso estudio del Fraccionamiento Héroes de Tecámac, uno de los conjuntos habitacionales donde se encuentran usuarios de las hipotecas verdes del INFONAVIT. Se calculan los ahorros en agua y energía para ser cuantificados dentro del proceso de análisis costo-beneficio y se exponen los resultados obtenidos en cuanto a ahorros.

Finalmente, en el capítulo cinco se presentan las conclusiones a las que se llegó con respecto a los capítulos anteriores y se brinda una panorámica de los alcances que puede tener el uso de la sustentabilidad como herramienta útil en el combate a las problemáticas ambientales del país. Se habla también de los cambios de raíz necesarios en la cultura, usos y costumbres de la gente y se exhorta a la participación de todos los ámbitos de la sociedad para el buen funcionamiento de una comunidad sustentable.

Se brinda al lector una visión amplia del tema para explicar de una manera simple de lo que se trata la sustentabilidad. Lo que se pretende es que se identifique claramente el problema, se conozcan las cifras pertinentes y se emita un juicio propio al final de leer el documento.

# 1 Sustentabilidad<sup>1</sup>

---

Para entender la sustentabilidad hay que mencionar primero el principio de capacidad de carga. Este concepto se refiere a las limitantes naturales a la población que existen dentro de un determinado ambiente o región. En términos ingenieriles se podría definir como el momento en el que una población de cualquier tipo llega a un estado estable de crecimiento y desarrollo (“steady state” como se le llama en inglés). Se basa en la limitante que una población tiene para dejar de crecer y no sobrecargar la utilización de los recursos de la naturaleza.

La sustentabilidad busca que la capacidad de carga de la población aumente al hacer que se utilicen los recursos de una manera más eficiente, permitiendo que el crecimiento poblacional se dé sin que esto represente una problemática de escasez de recursos en el futuro.

Debido al rápido crecimiento de población que existe hoy en día, estamos llegando a los límites de recursos disponibles, lo que plantea un inconveniente que debe ser atendido con una visión diferente a la que se ha tenido en el pasado. Los cambios se están presentando de manera global y generalizada (existe un estrés ambiental al que se está induciendo al planeta y su repercusión se puede observar en consecuencias como el calentamiento global, desertificación de suelos, cambios en patrones climáticos, etc.). Lo mencionado generó una preocupación que llevó a plantear una manera de desarrollo que no degrade al ambiente y a este desarrollo se le denomina sustentable. En las palabras de Baddi y Abreu (2006): “la necesidad de la sustentabilidad surgió del reconocimiento de la extravagancia e inequidad de la naturaleza de los patrones de desarrollo actuales, que al proyectarse en un futuro no muy lejano, conducían a imposibilidades biofísicas”.

## 1.1 Historia y definición

La sustentabilidad ha sido una cuestión que se trata desde hace ya varias décadas y surge de la necesidad de encontrar un balance entre el crecimiento económico y la estabilidad del medio ambiente. Ya a principios del siglo XX se hablaba de que el ambiente necesitaba ser protegido del crecimiento sin restricciones (tanto económico como poblacional) para poder preservar el bienestar humano (Mill, 1900).

A principios de los años setenta creció la certidumbre de que el mundo se estaba enfrentando a una crisis ambiental generalizada. La preocupación por el ambiente era tal que en junio de 1972 se realizó la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente celebrada en Estocolmo, Suecia. De ese interés se reconoció que el medio ambiente es un elemento básico para el buen desarrollo humano y se inició la creación de medidas para enfrentar los problemas

---

<sup>1</sup>Es necesario aclarar que para el desarrollo de este documento se tomó en cuenta que sustentabilidad es un sinónimo de sostenibilidad.

ambientales y mejorar la manera de aprovechar los recursos naturales (medidas como el Programa ambiental de las Naciones Unidas, el cual impulsó a los gobiernos a crear sus secretarías o ministerios del medio ambiente).

En 1973 el economista ecológico estadounidense Herman Daly señaló tres reglas necesarias para lograr un desarrollo sustentable: “1) para todo recurso renovable el ritmo o tasa de explotación no puede superar su tasa de regeneración; 2) para todo recurso no renovable su tasa sostenida de explotación no puede ser superior a la tasa a la cual una fuente renovable sustitutiva puede ser aprovechada de forma sostenible; y 3) para cualquier tipo de contaminación, su tasa sostenible de emisión no puede superar la tasa a la cual puede ser reciclado, absorbido o esterilizado por el medio ambiente” (Badii y Abreu, 2006).

No fue sino hasta 1987 cuando la sustentabilidad fue conceptualizada formalmente por primera vez por la Comisión Brundtland de las Naciones Unidas en el informe “Nuestro Futuro Común” también conocido como Informe Brundtland. Ahí se definió al desarrollo sustentable como “cubrir las necesidades de la generación actual sin comprometer la habilidad de futuras generaciones de cubrir sus necesidades”.

Con esas referencias es como llegamos al día de hoy, donde el concepto de sustentabilidad se ha ampliado y han surgido otras definiciones que lo acercan más a la economía y a la sociedad. Existe una definición hecha por Roy F. Weston que dice: “El desarrollo sustentable es el proceso de cambio en el cual la dirección de inversión, la orientación de la tecnología, la asignación de recursos y el desarrollo y funcionamiento de las instituciones cumplen las necesidades y aspiraciones actuales sin poner en peligro la capacidad que tienen los sistemas naturales de absorber los efectos de las actividades humanas y sin comprometer la habilidad de futuras generaciones de cumplir sus propias necesidades y aspiraciones” (Universidad de Cornell, 2009). Esta definición es más extensa que aquella en el Informe Brundtland y responde a la necesidad de ir incorporando más conceptos a la sustentabilidad, para que pueda ser entendida de manera más clara y precisa por todos, lo que permite que la población pueda orientar sus esfuerzos hacia el cumplimiento del criterio de actuar sustentablemente.

Desde el punto de vista ético dentro de la sustentabilidad, de acuerdo al “Manifiesto por la Vida por una ética para la sustentabilidad”, surgido del Simposio sobre Ética Ambiental y Desarrollo Sustentable en Bogotá, Colombia (2002), el concepto de sustentabilidad “se funda en el reconocimiento de los límites y potenciales de la naturaleza, así como la complejidad ambiental, inspirando una nueva comprensión del mundo para enfrentar los desafíos de la humanidad en el tercer milenio. El concepto de sustentabilidad promueve una nueva alianza naturaleza-cultura fundando una nueva economía, reorientando los potenciales de la ciencia y la tecnología, y construyendo una nueva cultura política fundada en una ética de la sustentabilidad –en valores, creencias, sentimientos y saberes– que renuevan los sentidos existenciales, los mundos de vida y las formas de habitar el planeta Tierra” (PNUMA, 2002).



### 1.1.1 Conceptos detrás de la sustentabilidad

Para entender la relación que existe entre el desarrollo y el medio ambiente, en el informe Brundtland se definieron tres sistemas: el económico, el social y el medioambiental. Este último no era tomando en cuenta para realizar el proceso de análisis del desarrollo y por eso fue altamente sobreexplotado, debido a la falsa creencia que se tenía de que la naturaleza podía proporcionar de manera ilimitada todos los recursos necesarios para el crecimiento.

Una vez que se tienen definidos los tres sistemas, su interacción es comúnmente vista como se representa en la figura 1.1. De esta forma, la sustentabilidad se encuentra en donde los tres

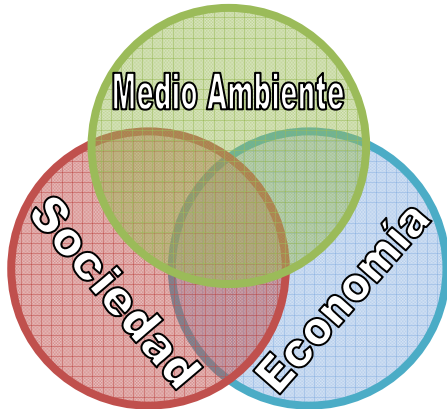


Figura 1.1

círculos se superponen permitiendo que toda acción cuente con un sustento de crecimiento económico, desarrollo social y viabilidad ambiental. También existe otro esquema donde la interacción de los tres sistemas es como se muestra en la figura 1.2, donde el medio ambiente engloba tanto a la economía como a la



Figura 1.2 Cornell

sociedad ya que todo lo que la humanidad realiza se encuentra dentro del contexto de nuestros límites en el medio ambiente, de este modo todo acto debe ser sustentable para poder ser considerado factible. Con este último esquema, lo que se busca es dar a entender que la sustentabilidad no es una opción sino un requisito. Para que dicho modelo funcione es necesario romper con el paradigma de que el desarrollo sustentable está peleado con el desarrollo económico.

La sustentabilidad no se detiene en esos tres sistemas “pilares”, sino que también se extiende a otros para poder tener una base sólida. Dichos sistemas también son especificados en el Informe Brundtland, donde se menciona que para poder generar sustentabilidad es necesario que “exista un sistema político que asegure una participación ciudadana efectiva en la toma de decisiones; un sistema económico que sea capaz de generar excedentes y conocimiento técnico sostenido y confiable; un sistema social que provea soluciones a las tensiones originadas en un desarrollo inarmónico; un sistema de producción que respete la obligación de preservar la base ecológica para el desarrollo; un sistema tecnológico que pueda buscar continuamente nuevas soluciones; un sistema internacional que fomente patrones sustentables de comercio y finanzas; y un sistema administrativo que sea flexible y tenga la capacidad de corregirse a sí mismo”.

## 1.2 Importancia de la sustentabilidad en el sector de la construcción

El sector de la construcción tiene una alta responsabilidad cuando se habla del seguimiento de los preceptos de la sustentabilidad. Para poder realizar una práctica constructiva saludable se debe entender que el sistema medioambiental debe ser considerado como una condicionante para el desarrollo social y éste otro a su vez una condicionante para el desarrollo económico. Con esta visión se favorecería el avance económico sin que se ponga en riesgo a la sociedad y nuestros recursos naturales, como se ha venido haciendo hasta la fecha.

Hoy en día, tomar en cuenta la sustentabilidad es un requerimiento primordial en la construcción debido al elevado uso de recursos (ver tabla 1.1). Los ingenieros civiles y arquitectos, siendo parte del gremio de la construcción, tenemos un papel sumamente importante en el alcance de la sustentabilidad dentro de un entorno urbano. Se debe de actuar como agentes de cambio a través de la planeación y desarrollo de proyectos siguiendo las directrices del desarrollo sustentable.

**Tabla 1.1 La construcción como devoradora de recursos**

<b>Materiales</b>	50% de los recursos mundiales se destinan a la construcción.
<b>Energía</b>	45% de la energía generada se utiliza para calentar, iluminar y ventilar edificaciones y el 5% para construirlas.
<b>Agua</b>	40% del agua del mundo se destina a abastecer las instalaciones sanitarias y otros usos en las edificaciones.
<b>Tierra</b>	60% de la mejor tierra cultivable que deja de utilizarse para la agricultura se utiliza para la construcción.
<b>Madera</b>	70% de los productos madereros mundiales se dedican a la construcción de edificios.

Fuente: Edwards, 2004.

Si bien es cierto que el hacer un proyecto sustentable tiene costos iniciales mayores debido al uso de tecnologías y dispositivos ahorradores, es importante tomar en cuenta que los beneficios ambientales y económicos a los que conlleva serán mayores al largo plazo<sup>2</sup>. Además, ha sido comprobado mediante estudios económicos tanto en México como en otros países, que el costo de la no acción (es decir, no realizar trabajos de mitigación o la evasión de los problemas ambientales) es más elevado que el costo de las medidas de prevención. En su informe económico sobre el cambio climático, el economista Todd Stern (2006) indicó que las medidas preventivas por país costarían 1% de su PIB mientras que el costo de la inacción llevaría a incurrir en costos mayores al 5% del PIB<sup>3</sup> (en el caso de los países en desarrollo ese porcentaje podría subir incluso al 27%) (Cabral, 2009). En México, a una tasa de descuento del 4% el costo del cambio climático al 2100 representaría el 7.68% del PIB mientras que el costo de mitigar las emisiones al 50% empezando hoy sólo representa del 0.7% al 2.21% del PIB dependiendo del precio de la tonelada de CO<sub>2</sub> (Galindo, 2009).

<sup>2</sup> El precio de las tecnologías no es un costo sino una inversión cuya tasa de retorno puede ser un par de años o más. Pasado ese tiempo, todo ahorro representa una ganancia para el usuario de dicha tecnología. En el caso estudio se puede apreciar esto de una manera más concreta.

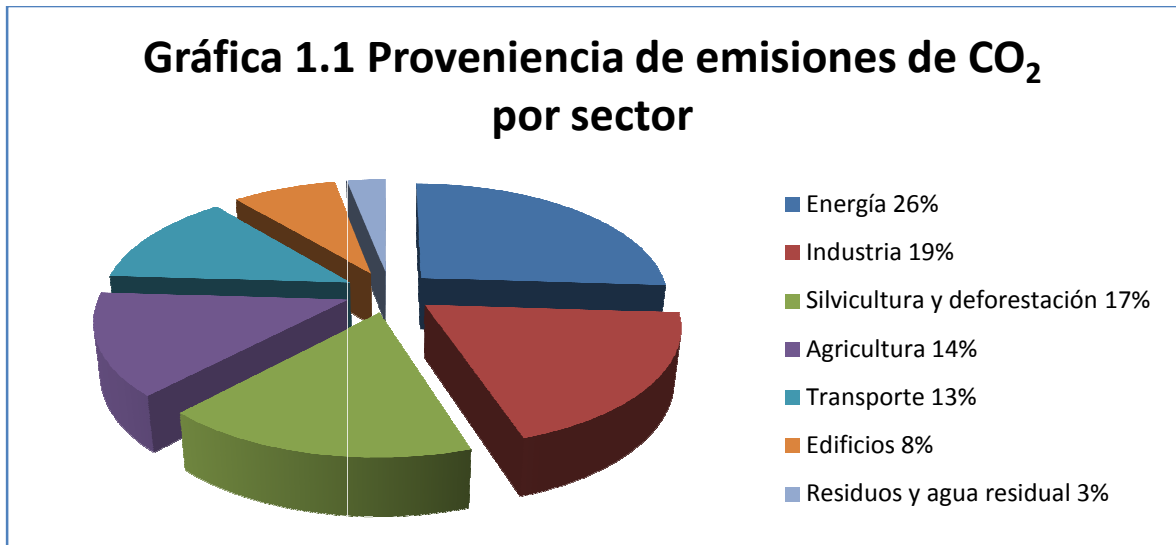
<sup>3</sup> El hecho de que la no acción sea más cara que la prevención se debe a que en el primer caso de todas maneras se deben tomar medidas de remediación una vez que los daños están hechos.

## 1.3 Problemas ambientales que la sustentabilidad busca combatir

### 1.3.1 Cambio climático, emisiones de GEI y uso excesivo de energía

El cambio climático es un aumento generalizado en las temperaturas medias de todas las regiones del mundo. Esto genera modificaciones en microclimas, desajustes en los niveles de precipitación y la duración de las temporadas de lluvia, así como en la intensidad y periodicidad de los fenómenos climatológicos.

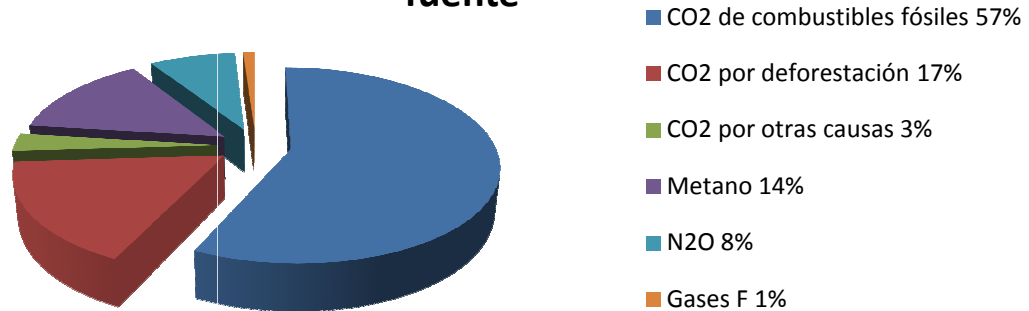
La principal causa del cambio climático es la emisión de contaminantes como el metano y CO<sub>2</sub> al ambiente, parte de los llamados gases de efecto invernadero (GEI). Las emisiones son causadas por varios sectores a nivel mundial y de acuerdo a los datos del Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) estos sectores son: transporte 13%, edificios 8%, industria 19% y generación de energía 26%, como se puede observar en la gráfica 1.1. También se presentan las contribuciones a emisiones por fuente como se muestra en la gráfica 1.2. Es por esto que al hablar de cambio climático, se habla también de las emisiones de GEI (en específico del CO<sub>2</sub>) y de la generación de energía.



Fuente: IPCC AR4, 2007

Un ahorro de energía o reducción en consumos dentro de los edificios representa una reducción en emisiones y por lo tanto se traduce en una colaboración a frenar el cambio climático, ya que los edificios consumen alrededor de un 40% de la energía mundial (Villegas, 2009). La sustentabilidad busca también desarrollar nuevas formas de transportarse o hacer accesible el transportarse de manera que no se emitan contaminantes (a pie o en bicicleta), reduciendo también de este modo la afectación al clima mundial.

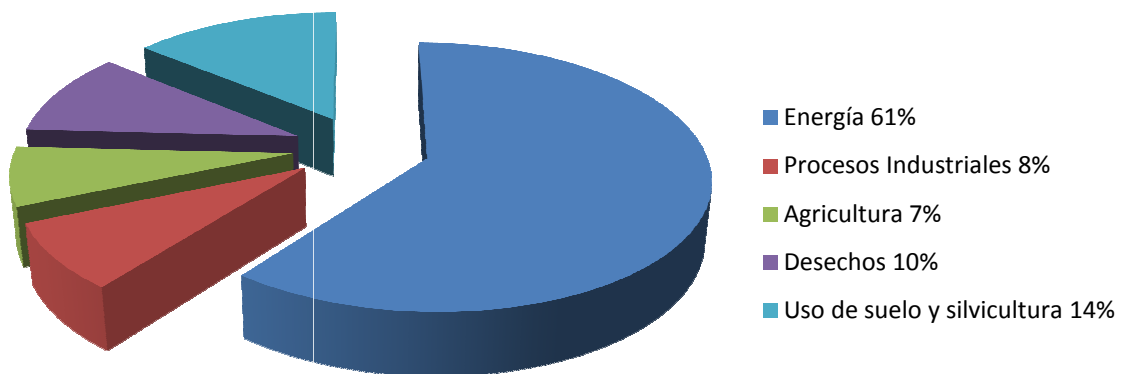
### Gráfica 1.2 Proveniencia de Emisiones de CO<sub>2</sub>e por fuente



Fuente: IPCC AR4, 2007

México contribuye con alrededor del 1.5% de las emisiones de CO<sub>2</sub>e del mundo, lo que lo coloca dentro de los 15 mayores países contaminantes del mundo (en el 2010, el país se encuentra en el onceavo lugar de acuerdo al IPCC). La SEMARNAT elaboró una tabla donde se indica que el principal generador de emisiones de CO<sub>2</sub>e<sup>4</sup> es la producción de energía, con un 61% de las emisiones totales (del cual, 16% es debido al consumo de las sector doméstico de acuerdo a la SENER), siguiéndole los cambios en uso de suelo y silvicultura con el 14% (ver grafica 1.3 y tabla 1.2).

### Gráfica 1.3 Emisiones de CO<sub>2</sub>e en Mexico 2002



Fuente: SEMARNAT, 2007

<sup>4</sup> CO<sub>2</sub>e significa dióxido de carbono equivalente, es decir que el daño que causan las emisiones de otros contaminantes son equiparadas con las del CO<sub>2</sub> y sumadas a éste para proporcionar una única cifra de emisiones de GEI.

Tabla 1.2 Emisiones de México 1990-2002, millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (MtCO<sub>2</sub>e)

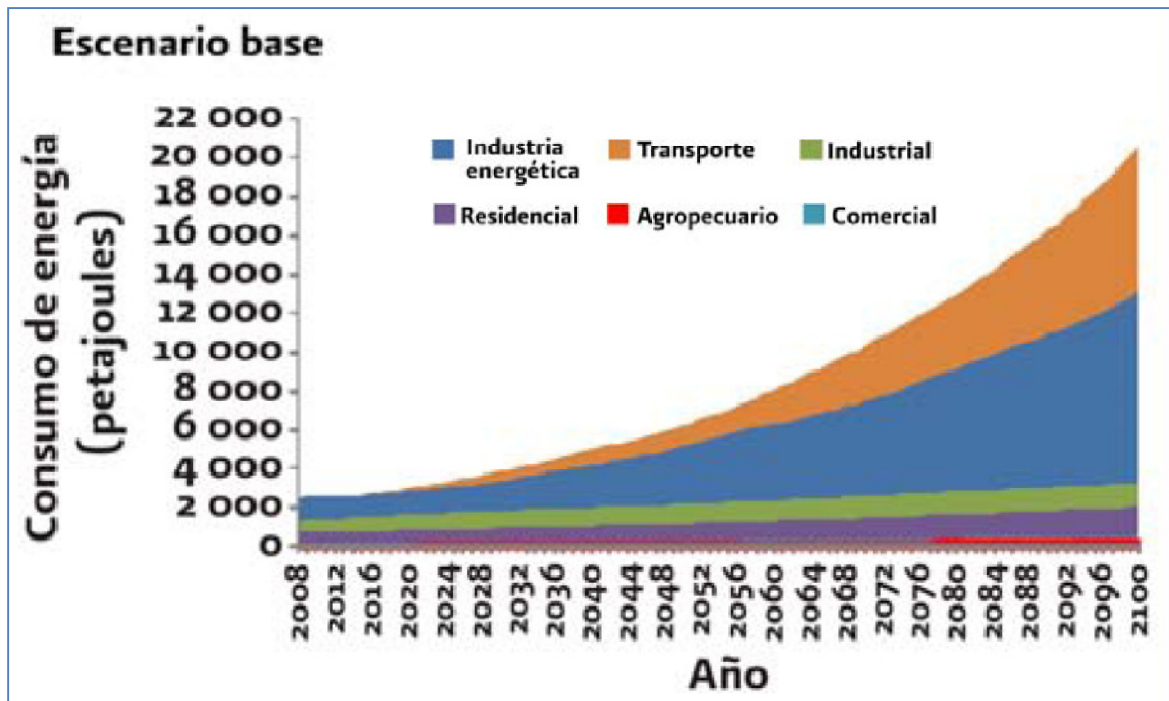
Categoría de Emisión	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
1 Energía	312.027	321.836	342.900	349.431	394.129	398.627	389.497
1A Consumo de combustibles fósiles	279.864	291.046	308.932	311.197	351.760	356.796	350.414
1B Emisiones fugitivas	32.164	30.790	33.968	38.233	42.369	41.831	39.082
2 Procesos industriales	32.456	32.878	39.248	42.744	50.973	55.851	52.102
4 Agricultura	47.428	46.049	45.504	44.077	45.445	45.527	46.146
6 Desechos	33.357	36.935	46.862	52.895	62.656	63.220	65.584
Total sin USCUS	425.269	437.698	474.514	489.146	553.203	563.225	553.329
<b>Total con USCUS (sólo 2002)</b>							<b>643.183</b>

Categorías establecidas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Se omiten las emisiones de las categorías [3], Solventes o Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos al Metano (COVDM, gases precursores de GEI) [5] y Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (USCUS), cuya contribución preliminar ha sido estimada en 89,9 millones de toneladas, en promedio, durante el periodo 1993-2002 y sólo considerada para este último año. FUENTE: INE, 2006. *México. Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. INE-SEMARNAT, México.

Fuente: INE-SEMARNAT, 2007

En México se realizó un estudio sobre cambio climático conocido como Informe Galindo donde se presentan diversos escenarios con respecto al consumo de energía. En la gráfica 1.4 se puede observar el crecimiento esperado en el consumo de energía si no se toman medidas de mitigación y prevención.

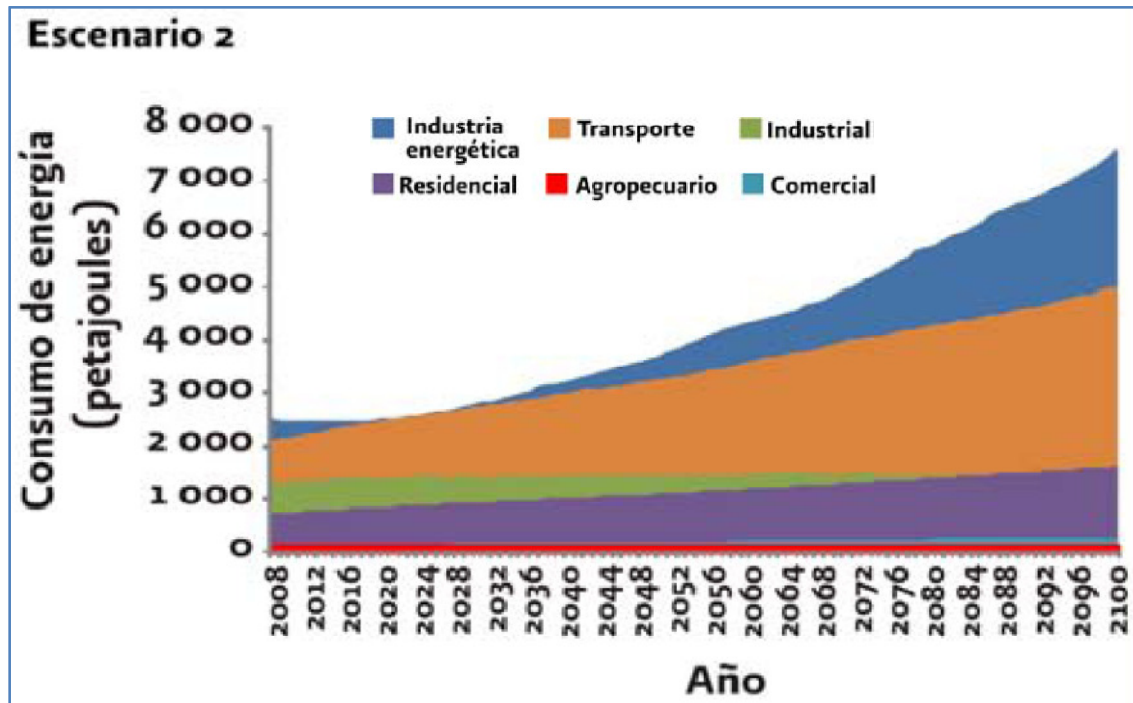
Gráfica 1. 4. Consumo de energía tendencial (no acción)



Fuente: Galindo, 2009

Por otro lado, si se logran realizar todas las medidas de mitigación, en el escenario más favorable se podría evitar el consumo de alrededor de 12,000 petajoules de energía, como se muestra en la gráfica 1.5. Dicho ahorro en el consumo de energía significaría que el país podría consumir tan sólo el 40% de lo que se espera que consuma en un escenario tendencial.

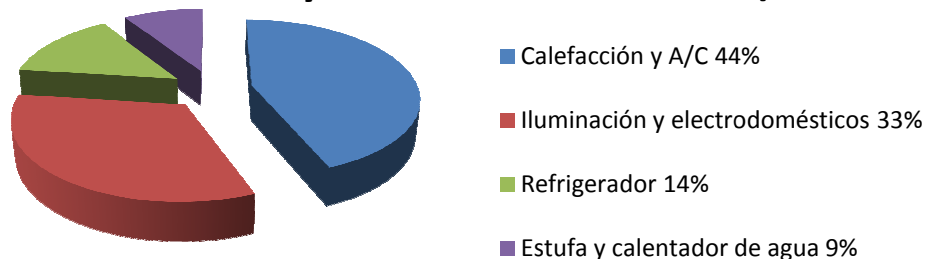
Gráfica 1.5. Consumo de energía en el mejor escenario



Fuente: Galindo, 2009

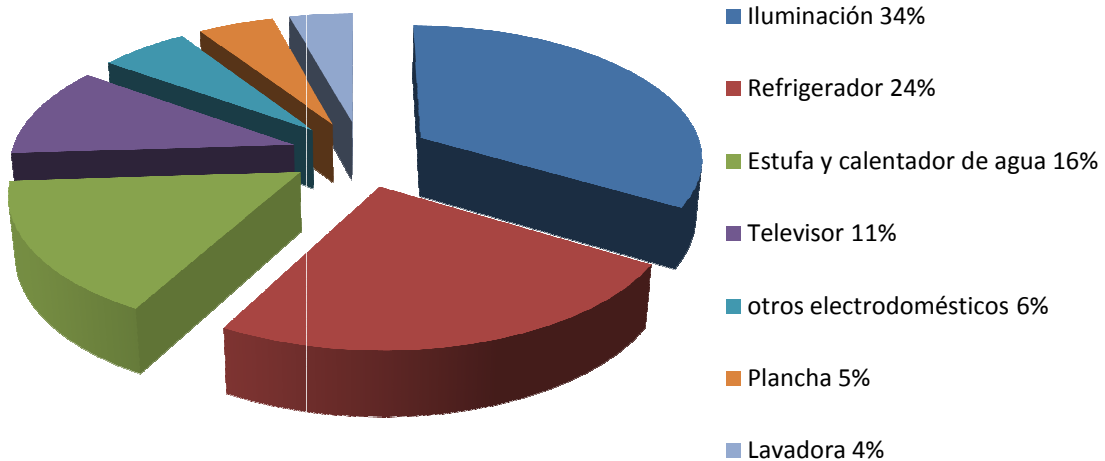
Como se puede apreciar de las gráficas anteriores, existen seis rubros utilizados: industria energética, transporte, industrial, residencial, agropecuario y comercial. Dentro del rubro residencial, de acuerdo a la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía (CONUEE), el consumo de energía dentro del hogar está representado por la gráfica 1.6 y 1.7 dependiendo del uso de calefacción y aire acondicionado.

Gráfica 1.6 Consumo de energía en el hogar (con calefacción y/o aire acondicionado)



Fuente: CONUEE, 2009

### Gráfica 1.7 Consumo de energía en el Hogar (sin calefacción y/o aire acondicionado)



Fuente: CONUEE, 2009

Con los datos y cifras anteriores se puede determinar la importancia de la industria de la construcción y viviendas en la reducción de energía y, por ende, de emisiones de CO<sub>2</sub>e. Respecto al sector de las edificaciones, se ve la oportunidad de mitigar las emisiones por ahorro de energía ya que un edificio (con un diseño, equipos, regulaciones y comportamiento de usuario eficientes) puede utilizar hasta un 70% menos de energía sin sacrificar niveles de confort (Villegas, 2009) y eso se traduciría en que los edificios serían responsables del 28% del consumo total de energía en comparación con el 40% que representa actualmente.

#### 1.3.2 Desabasto de agua potable y contaminación de recursos hídricos:

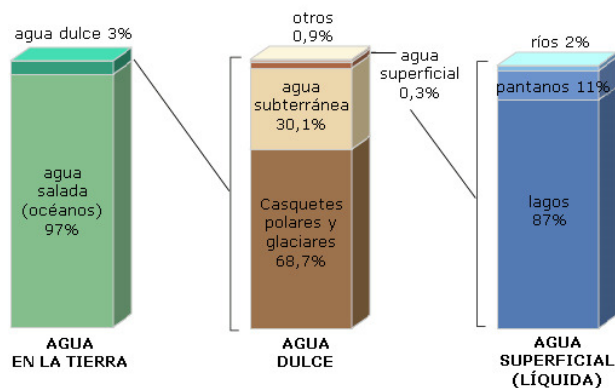


Figura 1.3 Agua mundial. Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2009

Uno de los mayores problemas que enfrenta una gran ciudad es el abastecer de agua potable a toda su población. Debido a que somos cada vez más gente, se requiere de inmensas cantidades de agua para satisfacer la demanda. Se sabe que el agua dulce representa tan sólo el 3% del agua total en la tierra y de esa, únicamente alrededor del 31% se puede utilizar (figura 1.3).

A continuación se presentan algunas cifras importantes del 2006 relacionadas al agua en el país de acuerdo a la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) y al INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía):

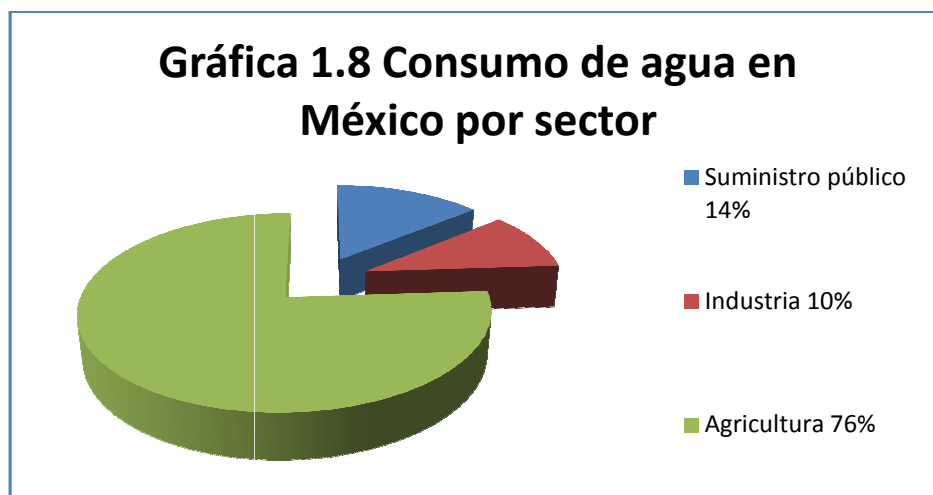
- 10 millones de personas no tienen red pública para abastecerse de agua.
- 104 de 653 acuíferos están sobreexplotados y debido a eso la reserva de agua subterránea se reduce a razón de 6 km<sup>3</sup> por año.
- La disponibilidad de agua por habitante en el 2005 fue de cuatro mil 573 metros cúbicos:
  - La menor disponibilidad se encuentra en el Valle de México con 192m<sup>3</sup>.
  - La mayor disponibilidad se encuentra en la región frontera sur con 25 mil m<sup>3</sup>.
- El agua residual que recibe un tratamiento a nivel nacional es el 35%, pero en la Ciudad de México el tratamiento es menor al 8%.
- Por persona por día, el suministro público de agua representa el 14% de lo extraído, la industria autoabastecida (incluye generación de electricidad) el 10%, las actividades agropecuarias el 76%.
- Debido a la contaminación, al desperdicio y a la mala utilización que se hace al agua, México se ubica en el lugar 81 a nivel mundial en cuanto a disponibilidad promedio del recurso (esto representa una disponibilidad promedio baja).

Hablando en términos de agua residual en México, solamente el 35% del agua recibe tratamiento, por lo que la mayor parte del agua contaminada se vierte a ríos, lagos o lagunas y zonas costeras sin ningún tratamiento previo. Esto causa problemas ambientales y de escasez del recurso y la mayor parte del tiempo conlleva a realizar gastos para abatir los daños causados, daños que se podrían prevenir al utilizar tecnología para el tratamiento de aguas residuales, que cuesta menos que la remediación de zonas afectadas.

El consumo por suministro público representa el 14% del consumo nacional de agua como se indica en la gráfica 1.8. La sustentabilidad en las viviendas puede ayudar a reducir la cantidad de agua necesaria para el suministro público, pero se observa que el mayor campo de acción se encuentra en la agricultura ya que ésta consume el 76% del total de agua disponible en el país (mientras que en países desarrollados se tienen consumos en agricultura menores al 45% de acuerdo a cifras de la FAO).

Teniendo en cuenta los datos anteriores, la sustentabilidad busca evitar el desabasto de agua potable mediante el ahorro del agua y la captación del agua pluvial para algunos usos domésticos y comerciales. Por otro lado se busca también tratar toda el agua utilizada para minimizar el impacto ambiental de las descargas residuales en cuerpos de agua.





Fuente: CONAGUA, 2006

### 1.3.3 Pérdida de recursos naturales y generación de residuos

En el mundo se producen 2 mil millones de toneladas de residuos sólidos al año y, si se siguen generando desechos de la misma manera, según estimaciones de la ONU, para el 2025 se quintuplicará la generación de desechos per cápita. De acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo (2007), en México se generan alrededor de 40 millones de toneladas de los cuales 35 millones de ellas son residuos sólidos urbanos (RSU) y alrededor de 5 millones de toneladas son residuos peligrosos (existen en el país 297 sitios contaminados con residuos peligrosos). Los RSU comprenden desechos provenientes de casas habitación, establecimientos comerciales y de servicios, demoliciones y construcciones. Actualmente se recolecta el 84.6% de la basura generada a nivel nacional y se sabe que el 28.7% de los residuos son susceptibles de ser reciclados pero sólo se recicla entre el 8 y 12% a nivel nacional (CONAVI, 2008). Por otro lado, la silvicultura y cambios en el uso de suelo generan 14% de las emisiones de CO<sub>2</sub> (como indicado en la gráfica 1.3), esto representa la pérdida de bosques e invasión de algunos ecosistemas.

La sustentabilidad por lo tanto, a través del reciclaje<sup>5</sup> y reutilización, evita que se consuman recursos nuevos para la fabricación de productos. A su vez, esto permite una reducción en los residuos creados, en la tala desmedida de árboles y en las emisiones de gases por fabricación de materiales como el acero y aluminio, entre otros. Además, la existencia de tecnologías como las plantas de biogás, permiten también el aprovechamiento de los residuos biológicos para la creación de energía y para su reuso como fertilizantes.

<sup>5</sup> El reciclaje es un proceso que permite reincorporar los residuos al ciclo productivo como materia prima. Esta forma de manejo no sólo disminuye el volumen final de los desechos, sino que también reduce la presión sobre los recursos naturales empleados para producirlos (CONAVI).

## 2 Vivienda Sustentable

Aplicar la sustentabilidad en la construcción de viviendas es algo de suma importancia ya que, como se había mencionado anteriormente, el sector de la construcción (incluida la ocupación de los edificios durante su vida útil) es uno de los principales causantes del cambio climático y de la rápida disminución de recursos disponibles.

De acuerdo a la CONAVI (2008), una vivienda sustentable es aquella que “respeto el clima, el lugar, la región y la cultura” y es “efectiva, eficiente y construida con sistemas constructivos y tecnologías óptimas para que sus habitantes puedan enfrentar las condiciones climáticas extremas que prevalecen en algunas zonas del país”, además de que “facilita el acceso de la población a la infraestructura, el equipamiento los servicios básicos y los espacios públicos de tal manera que sus ocupantes sean enriquecidos por el entorno”. A esta definición se le suma que necesariamente tiene que tomar en cuenta varios factores como el uso y ahorro de agua y energía, la presencia de áreas verdes sanas y funcionales, la reutilización y reciclaje, el manejo de desechos, así como la prevención y protección civil (CONAFOVI, 2005).

Un proyecto de vivienda sustentable completo abarca la totalidad del manejo de recursos en una casa o edificio y se especifica en el siguiente cuadro:

- Recursos hídricos
  - Ahorro de agua
    - Muebles de baño
    - Elementos ahorradores de agua
  - Agua residual
    - Aguas grises (tratamiento y reutilización)
    - Aguas negras (tratamiento)
  - Agua pluvial (captación y uso)
  - Recarga de acuíferos
- Energía
  - Ahorro de energía
    - Uso de calentadores solares
    - Diseño bioclimático para evitar calefacción y aire acondicionado
  - Generación de energía renovable
    - Celdas fotovoltaicas<sup>6</sup>
    - Sistema híbrido eólico-solar<sup>7</sup>
- Manejo y disposición de residuos sólidos
  - Reducción, reutilización, reciclaje y rehabilitación<sup>8</sup>
- Transporte<sup>9</sup>

<sup>6</sup> Son las más comúnmente explotadas en el sector de construcción de vivienda.

<sup>7</sup> Se puede conectar a la red de distribución eléctrica, lo que quiere decir que la compañía de luz comprará la energía que se genere en exceso y venderá más barata la energía que se requiera cuando la generación domestica no sea suficiente.

<sup>8</sup> El termino de rehabilitación sumado a las tres erres fue identificado y propuesto por Edwards, 2004.

## 2.1 Medidas preventivas y diseños

Lo que se busca al realizar proyectos sustentables es que se prevengan problemas ambientales y se preserven los recursos, así que a continuación se presentan las tablas de la 2.1 a 2.3 para enlistar algunas de las tecnologías y medidas que pueden ser aplicadas para conseguir un ahorro de recursos, evitar desperdicios y contaminación, así como la autogeneración de energía.

**Tabla 2.1 Medidas para la preservación de los recursos hídricos**

<b>Tecnología</b>	Grifos con limitador de gasto
	Grifos automáticos
	Inodoros de descarga reducida/variable
	Inodoros de compostaje o succión
	Urinarios sin agua
	Urinarios con descargas activadas por sensores
	Sustitución de las bañeras por duchas
	Electrodomésticos de bajo consumo de agua
<b>Sistema de aguas grises</b>	Recuperación de aguas residuales (agua reciclada)
	Recuperación de aguas pluviales in situ
<b>Ingeniería y Diseño</b>	Pavimentos permeables que permitan la recarga de acuíferos <sup>10</sup>
	Diseño paisajístico que permita la infiltración del agua de lluvia
	Retención del agua de lluvia en áreas permeables de captación para prevenir avenidas
<b>Gestión</b>	Control del consumo (a través de contadores)
	Detección de fugas
	Educación

Fuente: Brian Edwards, 2004

Dentro de los beneficios que presenta el ahorro de agua en edificios se encuentran: reducción de gastos, preservación de los recursos hidrológicos para las generaciones futuras, reducción de la presión sobre la red de abastecimiento de agua, reducción de la presión para que se construyan embalses, menor consumo de agua caliente (ahorro de energía), menor consumo de agua en los sistemas de abastecimiento y saneamiento (ahorro de energía) (Edwards, 2004).

<sup>9</sup> Se refiere a que tan accesible es el inmueble para llegar a él caminando, en bicicleta o transporte colectivo.

<sup>10</sup> Se debe evitar la impermeabilidad de los materiales en las zonas urbanas, ya que esto ocasiona que más agua fluya de manera superficial (sobrecargando los sistemas de drenaje). Se deben buscar materiales que absorban el agua y la liberen gradualmente (como almacenar el agua en el terreno a través de pavimentos asentados sobre un lecho arenoso, pozos ciegos en lugar de drenes y estanques que absorban el exceso de escurrimiento) (Edwards, 2004).

**Tabla 2.2 Medidas para la preservación de energía**

<b>Tecnología</b>	Focos ahorradores (lámparas fluorescentes compactas)
	Electrodomésticos con bajo consumo de energía
	Celdas fotovoltaicas para generación propia
	Calentadores de agua solares (ahorro de gas)
	Micro-generadores eólicos
<b>Ingeniería y Diseño</b>	Unidades productoras de biogás
	Aislamiento
	Aprovechamiento de la luz natural
<b>Gestión</b>	Ventilación natural
	Control del consumo y contadores especiales para consumos elevados
	Educación y cultura de ahorro

Fuente: elaboración propia, 2009

El ahorro de electricidad tiene un impacto directo en las emisiones de CO<sub>2</sub>e, ya que se reduce la demanda de la producción energética, permitiendo una reducción en la presión sobre la red eléctrica y evitando que se utilicen energías no renovables para la generación de más energía.

**Tabla 2.3 Medidas para el buen manejo y disposición de residuos**

<b>Acciones</b>	Compostaje de materiales orgánicos (tanto de aguas negras como de desechos orgánicos de cocina)
	Separación
	Reducción (en volumen y tamaño)
	Reutilización
	Reciclaje
	Confinamiento de residuos peligrosos
	Metanización
<b>Gestión</b>	Educación y cultura de bajo consumo

Fuentes: Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México y GTZ, 2009

El manejo integral de residuos permite que no se desperdicien recursos como papel, aluminio, metales pesados, plásticos, entre otros. Además, los desechos orgánicos se aprovechan para fertilizar y producir metano, generando energía limpia y renovable. El buen manejo de los residuos evita que grandes áreas de las ciudades sean utilizadas para los basureros, que representan una amenaza al entorno ambiental.

Para lograr un manejo sustentable de las disposiciones anteriores es necesario tomar en cuenta el aprovechamiento de las fuentes locales y renovables, la reducción de los niveles de consumo, la reutilización del suministro y el reciclaje de residuos.

### 2.1.1 Diseños

Todas las medidas preventivas identificadas anteriormente pueden ser puestas en marcha de diversas formas y deben de trabajar en conjunto para lograr tener un efecto suficiente para conseguir ahorros y beneficios considerables.

La figura 2.1 muestra un esquema desarrollado por la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ por sus siglas en alemán) donde están representadas las diferentes áreas de enfoque en torno a la sustentabilidad y tecnologías verdes<sup>11</sup> relacionadas a ellas. Dicho esquema permite tener un panorama de las opciones disponibles de recolección, tratamiento y utilización ante los diferentes elementos relacionados con el saneamiento.

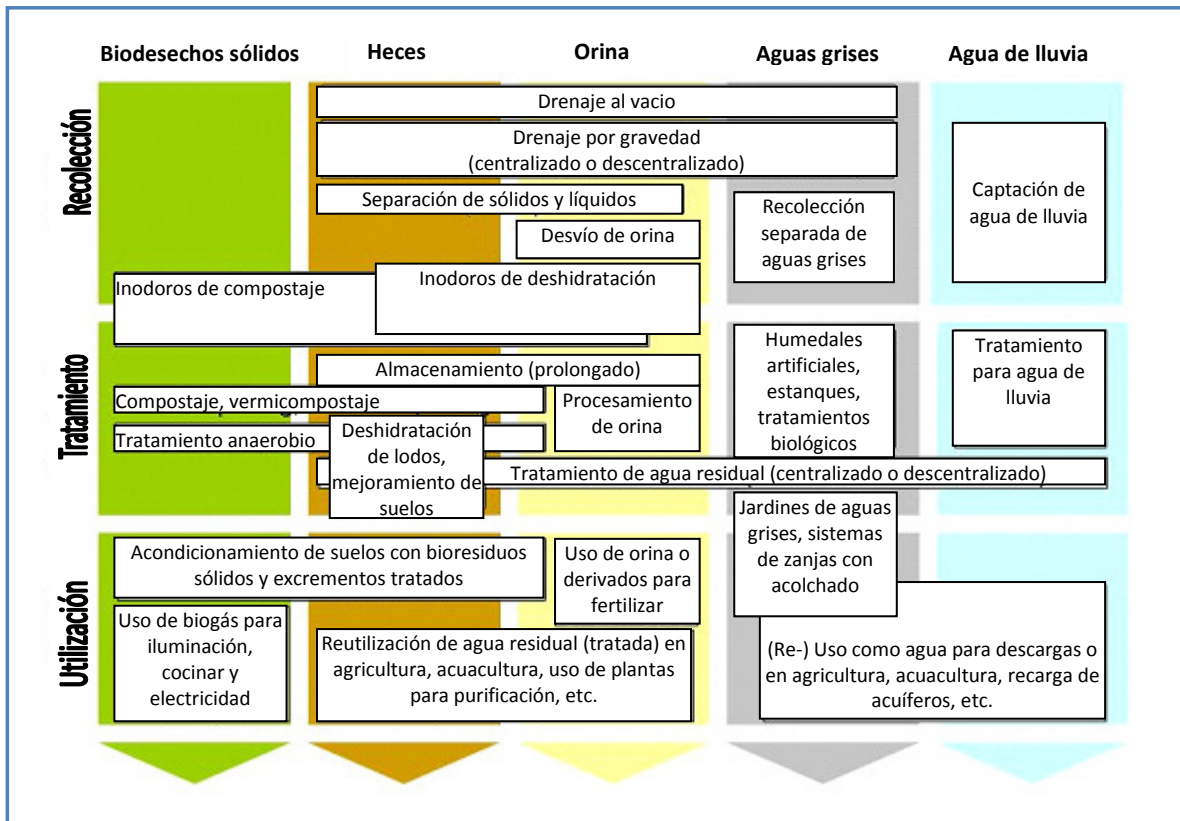


Figura 2.2 Tácticas de manejo del agua y agua residual. Fuente: GTZ

En los siguientes apartados se describen algunos ejemplos de las tácticas disponibles para el manejo del agua, excretas y su aprovechamiento.

<sup>11</sup> Las tecnologías verdes son aquellas que fomentan la sustentabilidad y que son amigables con el ambiente.

2.1.1.1 Agua<sup>12</sup>

En lo que concierne al agua, siempre es recomendable tener un tratamiento para aguas grises, aguas negras y agua pluvial para tratar integralmente toda el agua que sale de la casa. En las figuras 2.2 a 2.4 se presentan tres esquemas de manejo integral del agua (otros esquemas se incluyen en el Anexo A).

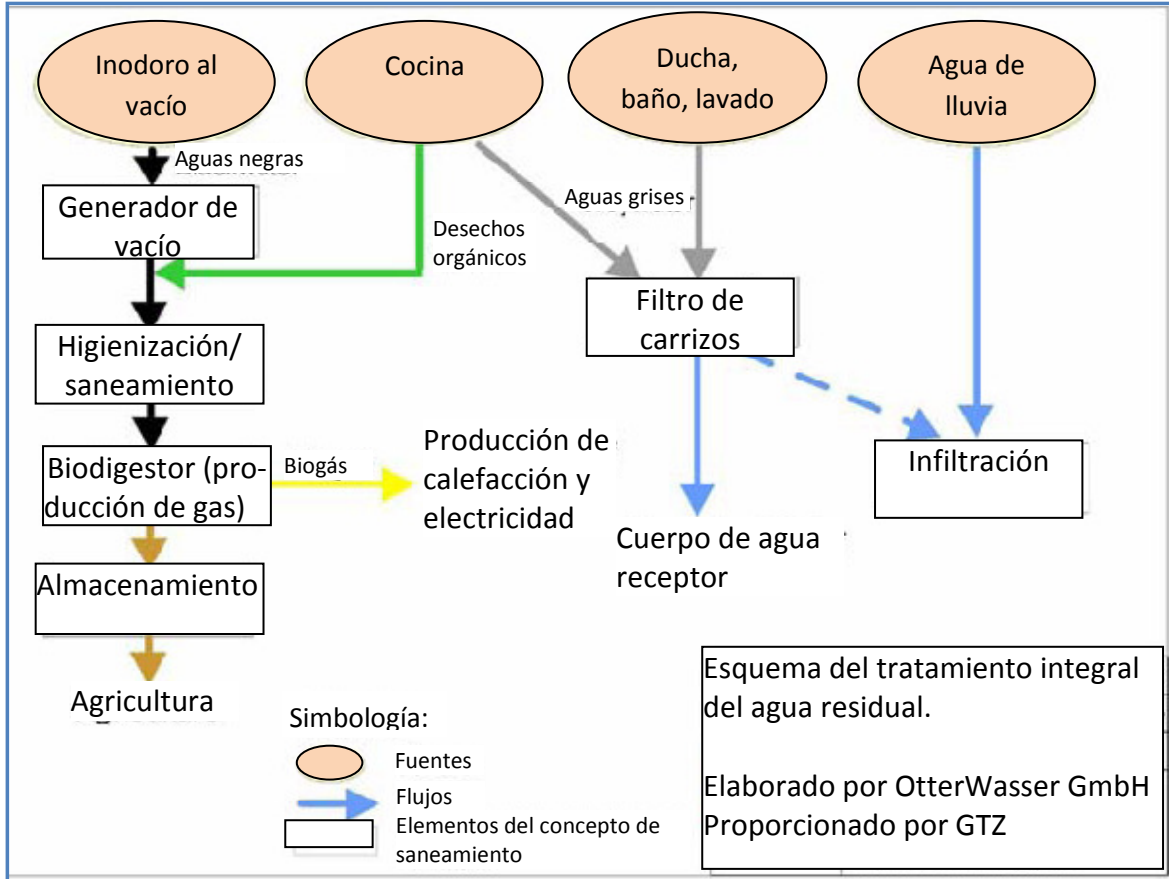


Figura 2.2 Esquema 1 de manejo integral del agua residual. Fuente: OW GmbH

El sistema mostrado en la figura 2.2 es utilizado en Lubeck, Alemania para una comunidad de 350 habitantes cuya construcción comenzó en 1999. El costo inicial es 40% mayor que el de un sistema convencional de manejo de aguas residuales mientras que los costos de operación de todo el sistema son 25% menores. Al hacer un análisis del ciclo de vida, se obtuvieron beneficios debido a la reducción de costos de operación. El sistema consiste en un retrete al vacío, cuyo contenido se mezcla con los desechos orgánicos de la cocina para ser higienizados y digeridos por un biodigestor que produce biogás, el cual es utilizado para la generación de electricidad, calefacción y composta, que es vendida a una comunidad agrícola local. Por otro lado, las aguas grises de la cocina, del baño y del lavado se tratan por medio de filtración por carrizos (humedal artificial) y el agua resultante se divide en dos, una parte se descarga a un cuerpo de agua mientras la otra se infiltra en el subsuelo, al igual que el agua de lluvia recolectada.

<sup>12</sup> La información de las figuras 2.2 a 2.4 fue obtenida del proyecto Ecosan, a cargo de GTZ.

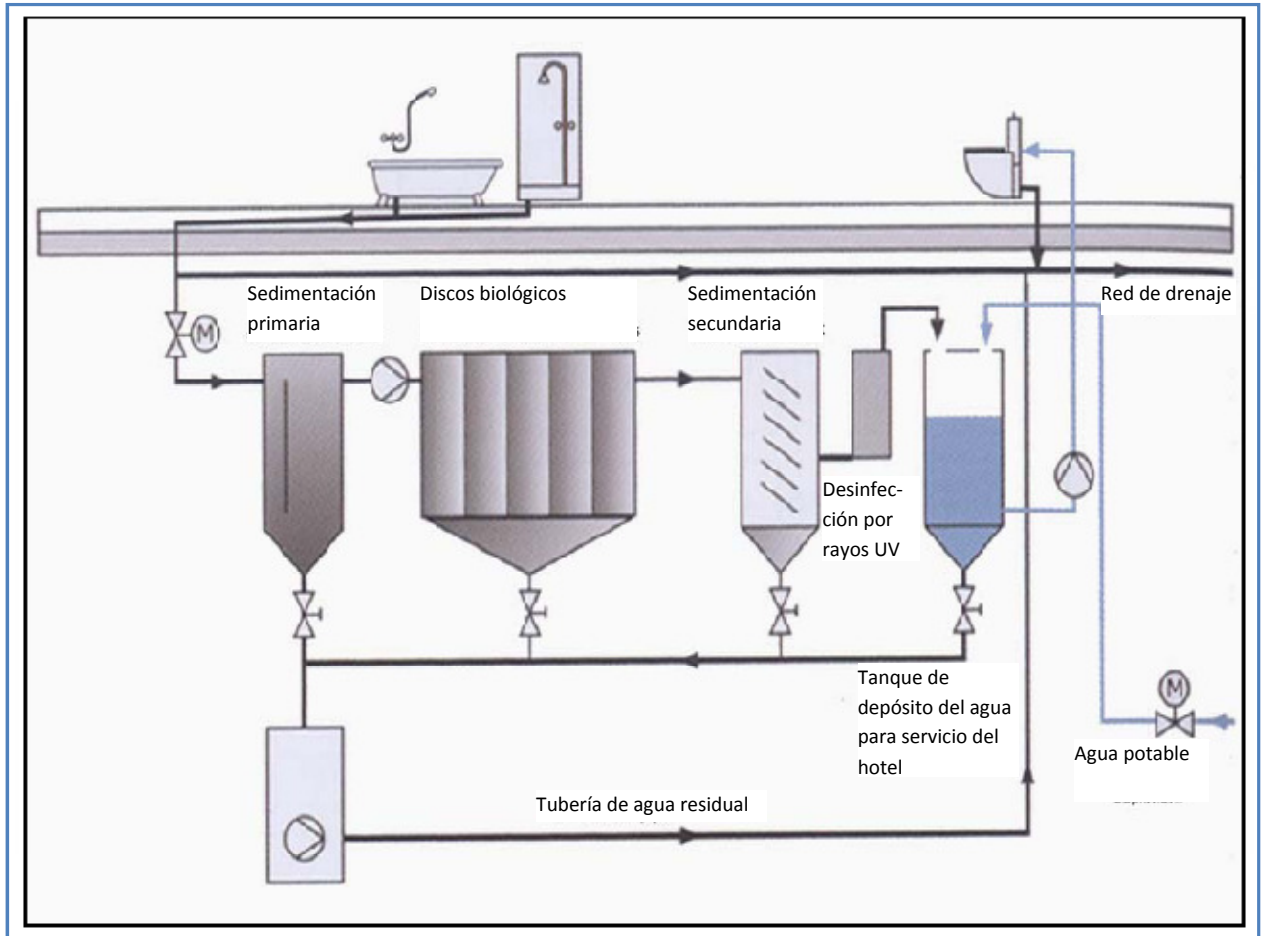


Figura 2.3 Esquema 2 del manejo integral del agua residual (proceso de recolección, tratamiento y reciclaje de aguas grises) Fuente: DVA, GTZ

El sistema de la figura 2.3 es utilizado en un hotel en Alemania construido en 1996. El agua gris de los baños es dirigida a un tanque de sedimentación primaria, luego a un reactor biológico a base de biodiscos, posteriormente a un tanque de sedimentación secundaria y finalmente recibe una desinfección mediante rayos UV. El agua tratada se utiliza para las descargas de los inodoros. Cabe mencionar que no toda el agua gris es tratada y a veces se requiere de agua del sistema de abastecimiento de agua potable además del agua tratada para permitir las descargas de los inodoros. Se han ahorrado 5000 m<sup>3</sup> de agua en 10 años y se ahorran 30,000€ por año, a lo que se le deduce el costo de 4,000€ por mantenimiento. Con un costo inicial de 170,000€, la inversión se recuperó en 6 años y medio.

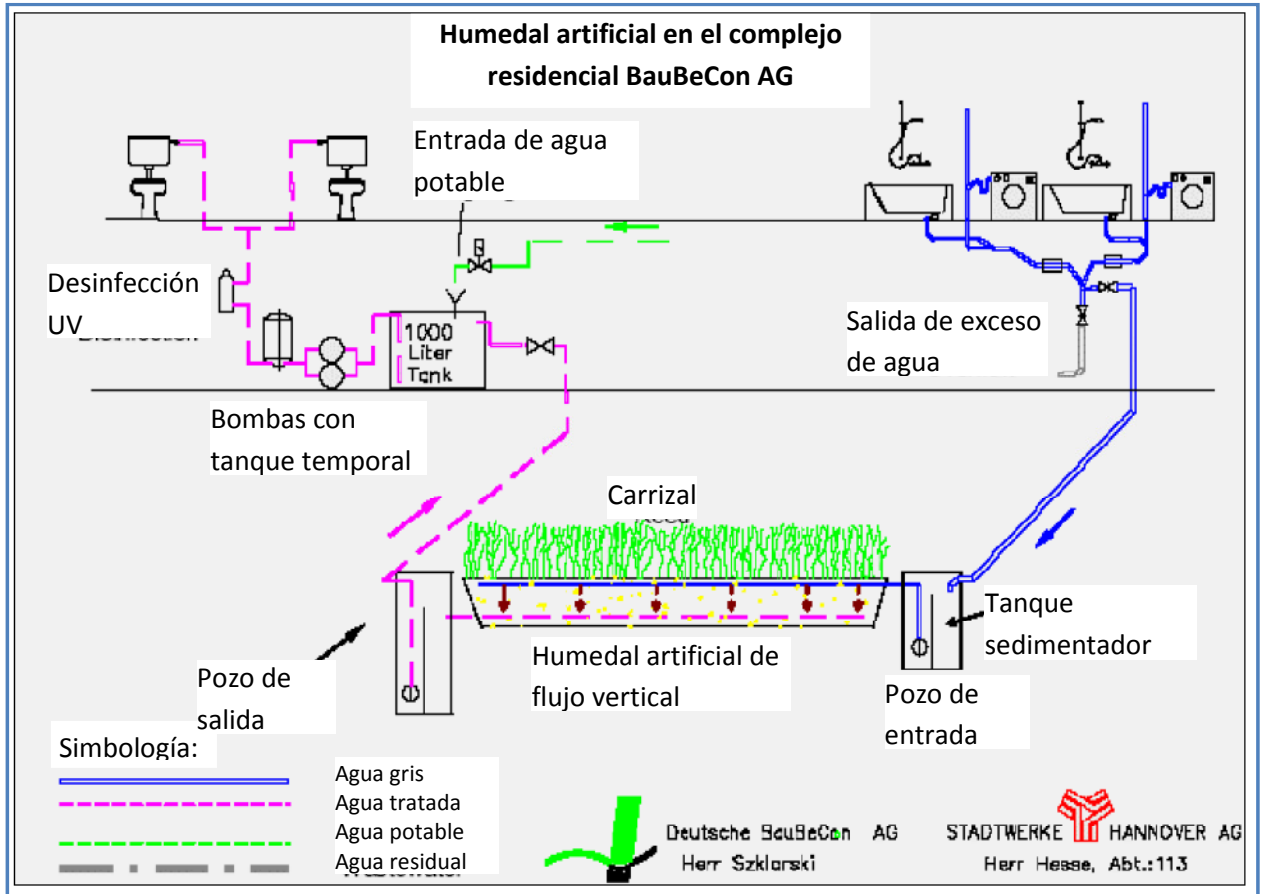


Figura 2.4 Esquema 3 de manejo integral del agua residual por uso de humedal artificial. Fuente: Oeko-Technik-Park

El sistema mostrado en la figura 2.4 se encuentra en un complejo llamado Oeko-Technik-Park, construido en 1995 en Hannover, Alemania. Las tecnologías utilizadas en este proyecto son: inodoros al vacío, inodoros con separación de orina, pozo de infiltración de agua de lluvia, calentadores solares, celdas fotovoltaicas, diseño bioclimático en todos los edificios del complejo, tratamiento de aguas grises por bioreactores, discos biológicos y humedales artificiales. En las figuras 2.5 a 2.7 se puede observar tres de las tecnologías aplicadas en el complejo.



Figura 2.5 Humedal artificial





Figura 2.6 Inodoro con separación de orina y al vacío, respectivamente



Figura 2.7 Bomba de vacío

El proyecto del Oeko-Technik-Park posee información sobre los costos de las tecnologías utilizadas. Debido a que se trata de un proyecto europeo, las cifras se encuentran en euros y se debe tomar en cuenta que los gastos de instalación (incluido en dichos precios) son más caros que en países latinoamericanos como México debido al precio de la mano de obra:

- 60m<sup>2</sup> de humedal artificial: 24000€ más 2500€ del sistema de tuberías.
- Discos biológicos: 26000€ (tratamiento a 24 departamentos).
- Dos reactores biológicos: 7000€ más 9000€ del sistema de tuberías.
- Inodoros con separación de orina: 850€ por unidad.
- 32 inodoros al vacío: 22000€ más 33000€ de una estación de vacío y 22000€ del sistema de tuberías.
- Tanque de almacenamiento de agua de lluvia (16m<sup>3</sup>): 15500€ más 8500€ del sistema de tuberías y bombeo.

### 2.1.1.2 Manejo de excretas y bioresiduos

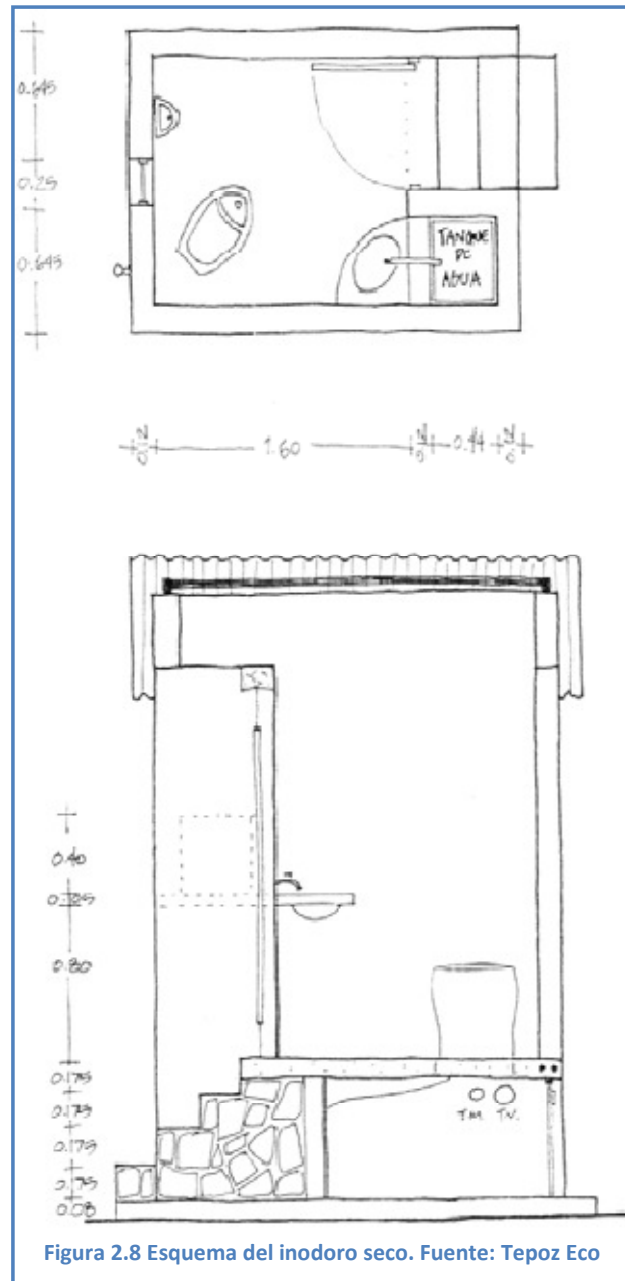


Figura 2.8 Esquema del inodoro seco. Fuente: Tepoz Eco

El esquema de la figura 2.8 muestra un inodoro seco utilizado en Tepoztlán, Morelos como parte de un proyecto de saneamiento que entró en operación en dicho municipio en el 2003. El proyecto consta de las siguientes tecnologías: inodoros secos con separación de orina, fosas superficiales de compostaje, filtración por carrizos o acolchado/mantillo<sup>13</sup>, uso de organoponía<sup>14</sup>, así como recolección y tratamiento de agua pluvial.

<sup>13</sup> Se trata de un material que protege al suelo del clima, erosión e insectos.

<sup>14</sup> Técnica similar a la hidroponía que utiliza sustratos sólidos para cultivar vegetales. Los desechos orgánicos (en su mayor parte hojas) así como la orina fermentada sirven para cubrir los requerimientos de las plantas en hortalizas y jardines familiares.

En las figuras 2.9 y 2.10 se puede observar el uso de la organoponia y del acolchado para el proyecto de Tepoztlán.



Figura 2.9 Organoponia



Figura 2.10 Acolchado

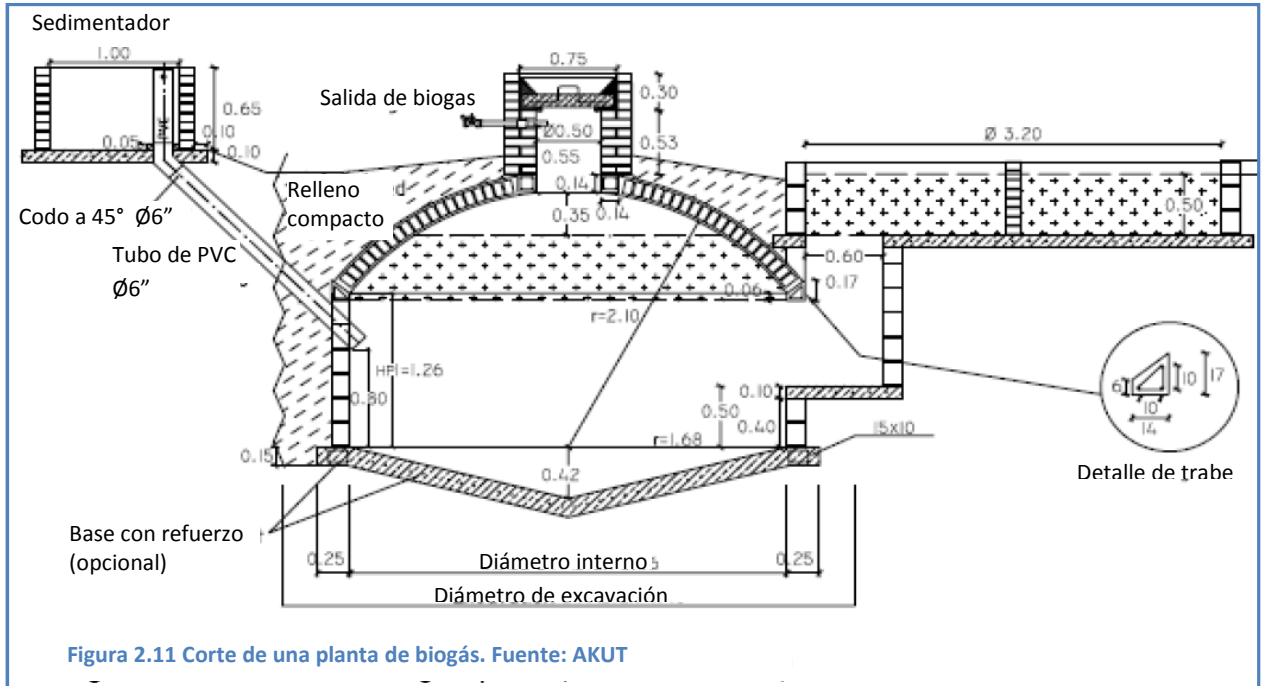


Figura 2.11 Corte de una planta de biogás. Fuente: AKUT

El esquema de la figura 2.11 muestra una planta de biogás de bajo costo terminada en el 2007 en una zona rural de Kenia. De dicha planta se obtienen dos productos: biogás y composta. El biogás se utiliza para generar electricidad y cocinar, mientras que la composta se usa en las granjas como fertilizante. Debido a las necesidades del área se han construido trece plantas, una de un volumen de 91m<sup>3</sup> para la Universidad de Moi en Eldoret y doce más de 16m<sup>3</sup>. El costo de una planta de 16m<sup>3</sup> fue de aproximadamente 1,500 USD, es decir, entre 80 y 100 USD por m<sup>3</sup> de capacidad del digestor.

### 2.1.1.3 Aprovechamiento de energía

En el caso de la energía, las viviendas tienen la posibilidad de generar electricidad sólo para disminuir el consumo de electricidad de la red o, si la infraestructura lo permite, puede vender el excedente de energía generada a la compañía de luz.

Para que funcione la venta de energía es necesario tener una conexión a red. La conexión a red posee varios elementos que permiten que funcione el traspaso de energía del hogar a la red de electricidad, dichos elementos son (ERA Ingeniería, 2009):

- fuente de energía renovable (pueden ser celdas solares, paneles fotovoltaicos, micro-generadores eólicos, biomasa, etc.)
- inversor (transforma la energía generada como corriente continua en corriente alterna para poder ser tomada por la red)
- contador (permite medir la energía que es vendida a la compañía para que se pueda facturar)

En la figura 2.12 se muestra un esquema que ejemplifica la conexión a red.



Figura 2.12 Conexión a red. Fuente: Heliostar, 2009

Para el caso de las viviendas, la tecnología más utilizada es la de celdas fotovoltaicas, ya que son de fácil instalación y conexión, además de que posee una vida útil de alrededor de 30 años. Durante este tiempo esta tecnología es capaz de generar beneficios económicos, además de la recuperación de la inversión y el ahorro de energía.

Por otro lado, otra manera de ahorrar energía del gas es a través de los calentadores solares, cuyo esquema de funcionamiento se muestra en la figura 2.13.

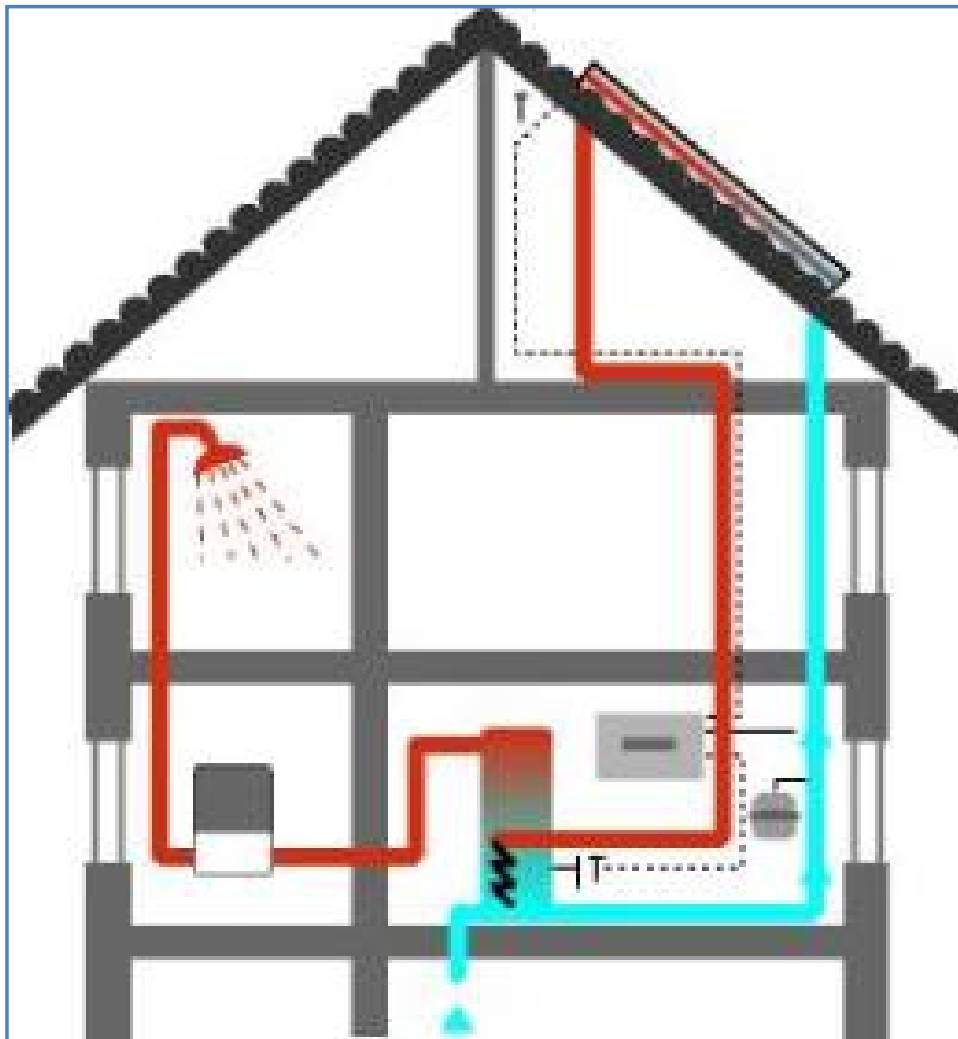


Figura 2.13 Esquema de funcionamiento de un calentador solar en una vivienda. Fuente: Wikipedia, 2009

Los calentadores solares utilizan, como su nombre lo indica, la energía del sol para calentar el agua. El agua fría entra al colector solar por su parte baja y es calentada por los rayos de sol mientras que sube a lo largo del mismo. Esta agua es después mandada al calentador a gas, lo que ayuda a que el uso de éste sea menor y por tanto se tiene un ahorro de gas.

## 2.2 Códigos de edificación

En el mundo existen varias certificaciones que buscan darle valor a los diferentes niveles de sustentabilidad y eficiencia que tiene una construcción. Los códigos se acoplan a las características del país creador, así que difieren unos de otros. Entre los más destacados se encuentran: BREEAM del Reino Unido, LEED de Estados Unidos, DGNB de Alemania, HQE de Francia, CASBEE de Japón y Green Star de Australia. En este apartado se presenta un ejemplo de dichos códigos, el BREEAM, y el caso de México.

### 2.2.1 Reino Unido

Uno de los primeros países en crear reglas para la construcción de vivienda sustentable fue el Reino Unido, a través de una certificación llamada BREEAM. Este código fue desarrollado por el BRE (Building Research Establishment).

El código se encarga de delimitar los requisitos mínimos para lograr eficiencia energética e hidráulica, considerando que:

- Un edificio debe ser altamente eficiente en su comportamiento para conseguir un nivel de sustentabilidad alto.
- Se utiliza un sistema sencillo para otorgar puntos a los edificios.
- Se incluyen áreas nuevas del diseño sustentable como son el uso de instalaciones para composta y los denominados “Lifetime homes”<sup>15</sup>.

Las siguientes tablas (2.4 y 2.5) muestran parte de la clasificación que utiliza BREEAM y qué puntajes se otorgan dependiendo del ahorro y manejo de los recursos.

**Tabla 2.4 Requerimientos mínimos para agua y energía**

Nivel	Energía	Puntos	Agua	Puntos	Otros puntos requeridos
	Estándar <sup>1</sup>		Estándar <sup>2</sup>		
<b>1 (una estrella)</b>	10	1.2	120	1.5	33.3
<b>2 (dos estrellas)</b>	18	3.5	120	1.5	43.0
<b>3 (tres estrellas)</b>	25	5.8	105	4.5	46.7
<b>4 (cuatro estrellas)</b>	44	9.4	105	4.5	54.1
<b>5 (cinco estrellas)</b>	100 <sup>3</sup>	16.4	80	7.5	60.1
<b>6 (seis estrellas)</b>	Vivienda de cero emisiones <sup>4</sup>	17.6	80	7.5	64.9

**1 porcentaje en el que la vivienda excede las regulaciones del 2006 de acuerdo al documento “L” denominado conservación de energía y combustibles.**

**2 litros por persona por día.**

**3 cero emisiones por calefacción, agua caliente, ventilación e iluminación.**

**4 cero emisiones netas por toda la energía utilizada en la vivienda.**

Fuente: BREEAM

<sup>15</sup> El término “Lifetime Home” se refiere a un tipo de diseño de vivienda que es flexible y adaptable a los diferentes períodos de vida de un ser humano. Se basa en el seguimiento de 16 criterios de diseño que permiten tener confort y permiten cambios dependiendo de las necesidades de una familia o individuo a lo largo del tiempo. (Habinteg, 2010)



**Tabla 2.5 Requerimientos mínimos para otros elementos**

Nivel	Categoría	Estándar
1	Impacto ambiental de los materiales	Por lo menos tres de los siguientes cinco elementos deben de conseguir por lo menos un nivel D en las especificaciones del BRE: -acabados y techos -paredes externas -piso superior -paredes internas -puertas y ventanas
1	Manejo de agua superficial	Asegurar que las condiciones de descarga de agua superficial del terreno son iguales o menores a las que poseía el terreno antes del desarrollo.
1	Manejo de residuos	Asegurar que existe un plan de manejo de residuos en operación. Se debe monitorear los residuos y establecer metas para promover la eficiencia del uso de recursos.
	Almacenaje de residuos domésticos	Espacios adecuados para contener los desechos. Los contenedores deben de tener fácil acceso para todos, ya sea dentro del complejo habitacional en su totalidad o en cada vivienda. (En el caso de los contenedores por vivienda, deben ser considerados un mínimo de 0.8m <sup>3</sup> de volumen)

Fuente: BREEAM

Del código se puede observar que los estándares que se buscan son altos, como en el consumo de agua, ya que, para obtener la certificación de seis estrellas es necesario que la edificación permita un consumo máximo de 80 litros por habitante por día. Para comparación, en la Ciudad de México se consumen más de 300 litros por habitante por día en promedio, es decir un 375% más.



### 2.2.2 Código de Edificación de Vivienda de México

En México, la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) es la responsable de regular todo aquello que esté relacionado con la vivienda en el país. En el 2007, la CONAVI publicó el Código de Edificación de Vivienda (CEV), a través del cual se establece una normatividad más apegada a los requerimientos de la sociedad moderna pues toma en cuenta el acceso a la vivienda y la sustentabilidad.

En este código se “establecen lineamientos y principios que harán posible el uso de nuevos materiales y nuevos sistemas constructivos” (CONAVI, 2007). Además, sienta la pauta para que autoridades locales se basen en dichos lineamientos, siendo capaces de adecuarlos a sus situaciones específicas en cuanto a reglamentos y códigos de construcción dependiendo de las necesidades y requerimientos locales.

El CEV incluye un apartado especial de sustentabilidad que se refiere al diseño de una vivienda con sistemas y tecnología que permitan el empleo de energía de manera eficiente, así como de energías renovables y el uso y tratamiento del agua.

En cuanto a energía, el CEV menciona a la eficiencia energética en sistemas de alumbrado, iluminación, calentadores solares, diseño de la envolvente de la vivienda y diseño bioclimático. En el apartado de electrodomésticos, se hace referencia a los refrigeradores, aire acondicionado, lavadoras y estufas.

En el tema de energías renovables, el CEV introduce dos términos necesarios que benefician al uso de éstas. Se define el “derecho al sol” y “derecho al viento”<sup>16</sup> donde se estipula que los vecinos de varios lotes tienen que quedar en común acuerdo para no bloquear los elementos arquitectónicos o tecnológicos que aprovechan el sol y el viento para la generación de energía. Los derechos al sol y viento de una propiedad son inherentes a ella, por lo que no importa si se cambia de dueño o no, la vivienda los sigue poseyendo. La única manera en que estos derechos dejan de existir es si los dispositivos de aprovechamiento no se implementan o si caen en desuso por 50 años.

Una herramienta útil en el apartado de sustentabilidad es el cuadro de diseño bioclimático ya que se presentan ciertas sugerencias para diseño urbano, proyecto arquitectónico, control solar, ventilación, elementos de diseño, tipo de materiales y uso de vegetación, dependiendo del clima de la región de México donde se vaya a construir.

Con respecto al agua, el CEV especifica la calidad que debe ser proporcionada a las viviendas, características y diseño de la red de distribución, instalaciones y mantenimiento del servicio completo. También se regulan los elementos como regaderas e inodoros. Un importante avance en el tema del agua es que el CEV introduce regulaciones a la recarga al manto freático, tanto en la calidad del agua como en la operación del sistema de recarga.

---

<sup>16</sup> Este último hace referencia a un ambiente rural, donde el flujo de viento a los dispositivos generadores sea legalmente protegido.

El CEV no actúa solo, para el cumplimiento de estándares en la construcción de viviendas ecológicas es necesario que exista un conjunto de normas a nivel nacional. A continuación se presenta una lista de normas a las que el CEV remite.

#### Energía

- NOM-011-ENER-2002: Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo central paquete o dividido.
- NOM-021-ENER/SCFI/ECOL-2000: Eficiencia energética, requisitos de seguridad al usuario y eliminación de clorofluorocarbonos (CFC's) en acondicionadores de aire tipo cuarto.
- NOM-005-ENER-2000: Eficiencia energética de lavadoras de ropa electrodomésticas.
- NOM-015-ENER-2002: Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos.
- NOM-022-ENER/SCFI/ECOL-2000: Eficiencia energética, requisitos de seguridad al usuario y eliminación de clorofluorocarbonos (CFC's) para aparatos de refrigeración comercial autocontenidos.

#### Calentador y calentador solar

- NOM-003-ENER-2000: Eficiencia térmica de calentadores de agua para uso doméstico y comercial.
- NMX-ES-001-NORMEX-2005: Energía solar- rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua.

#### Agua

- NOM-012-SCFI: Medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos.
- NMX-C-012-1994-SCFI: Industria de la construcción -Fibrocemento- Tuberías a presión.
- NMX-C-041-ONNCCE-1999: Redes de distribución de agua potable -especificaciones de hermeticidad.
- NMXE-143/1-SCFI-2002: Industria del plástico - Tubos de poli(cloruro de vinilo) (pvc) sin plastificante para el abastecimiento de agua a presión.
- NMX-E-231-SCFI-1999: Industria del plástico – Tubos y conexiones – conexiones de poli(cloruro de vinilo) (pvc) sin plastificante para el abastecimiento de agua a presión con unión espiga-campana.
- NMX-E-018-SCFI-2002: Industria del plástico -Tubos de polietileno de alta densidad (Pead) para la conducción de agua a presión.
- NMX-E-144-1991: Industria del plástico-Tubos de polietileno (PE) para conducción de líquidos a presión.
- NMX-E-146-SCFI-2002: Industria del plástico –Tubos de polietileno de alta densidad (PEAD) para toma domiciliaria de agua.
- NMX-T-021-SCFI-2002: Industria hulera –Anillos de hule empleados como empaque en los sistemas de tuberías.

- NOM-002-CNA-1995: Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable.
- NOM-127-SSA1-1994: Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- NOM-003-CNA-1996: Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.
- NOM-004-CNA-1996: Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.

Un elemento que se podría agregar al CEV es un apartado con los diversos métodos y tecnologías para el aprovechamiento y gestión de los residuos generados en los desarrollos de vivienda, ya que ese tema no se toca y es parte importante de la sustentabilidad. En dicho apartado podrían incluirse tecnologías como las plantas de aprovechamiento de biogás y las regulaciones correspondientes de abonos y fertilizantes resultantes del tratamiento de bioresiduos, así como los requerimientos mínimos para las instalaciones involucradas. Por otro lado, en la cuestión del agua, se puede crear un apartado con los tipos de tratamiento de agua residual que pueden ser utilizados en las viviendas y sus requisitos mínimos para que exista un estándar de calidad (dicho apartado puede estar ligado con las normas mexicanas en cuanto a la disposición de aguas residuales y calidad de las aguas tratadas).

## 2.3 Ciclo de Vida

La sustentabilidad de una edificación debe considerar también el Ciclo de Vida de los materiales seleccionados para su construcción. Es un concepto relativamente nuevo que proporciona una herramienta sumamente útil para determinar de una forma más precisa los impactos de la construcción en el ambiente a través de análisis de patrones de consumo.

Cuando se estudian todos los factores relacionados con la existencia de una vivienda o edificio (desde el origen de sus materiales hasta la disposición final de los mismos una vez que ya no se encuentra en funcionamiento) se realiza un análisis de ciclo de vida (ACV). “El ACV identifica los flujos de materiales, energía y residuos que genera un edificio durante toda su vida útil, de manera que el impacto ambiental pueda determinarse por adelantado” (Life cycle assessment- an introduction for industry, environmental technology best practice programme). El ACV sirve para evaluar el rendimiento ambiental de los edificios según su planteamiento global; además, permite medir los costos ecológicos de los aportes de recursos energéticos o manufacturados. De acuerdo a Edwards (2004), en el caso de un edificio, “el ACV se centra en los complejos impactos de su construcción, uso y posterior eliminación. Sirve de guía para gestores de las instalaciones durante la vida útil del edificio y puede comportar un ahorro considerable al adelantarse a futuras leyes medioambientales más restrictivas y facilitar el mantenimiento”.

En el II Coloquio de Diseño Sustentable llevado a cabo por el Posgrado de Diseño Industrial en la UNAM se definió el análisis del ciclo de vida (ACV) como la aplicación de los principios de sustentabilidad a los materiales. El ACV busca introducir a cada material la energía utilizada, el agua consumida y las emisiones de CO<sub>2</sub>e ocasionadas por su fabricación, transporte y disposición.

Las viviendas sustentables deben tomar en cuenta el ciclo de vida completo de una construcción para poder definir qué tanto impacta al ambiente la construcción en su totalidad. Así se pueden definir estrategias para mitigar dichos impactos y también se pueden tomar decisiones que sean las más viables ambientalmente hablando.

Aunque en México no se ha desarrollado el análisis de ciclo de vida de manera extensa, se dispone de programas de cómputo como el Simapro. El software de Simapro proviene de Holanda pero es utilizado en toda América Latina. Actualmente también se trabaja en crear un inventario en una base de datos sobre el ciclo de vida de muchos materiales en México, este inventario es llamado MEXICANIUH (Coloquio de Diseño Sustentable, 2009). En el inventario se pueden encontrar datos de materiales de construcción, sustancias químicas, electricidad, minerales, transporte, agua y agricultura, entre otros.

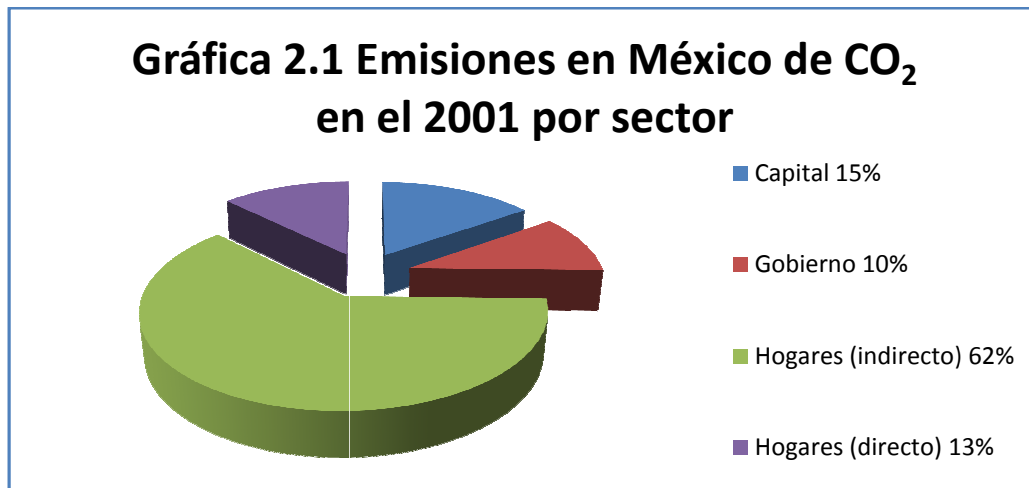
El ciclo de vida, incluye definiciones como las de huella hídrica y huella de carbono que se refieren a la cantidad de agua utilizada y la cantidad de carbono emitido a la atmósfera por procesos en la fabricación, instalación y uso de materiales para la construcción. Si es del interés del lector, se pueden hacer consultas tanto de la huella hídrica<sup>17</sup> como de la huella de carbono de diversos

<sup>17</sup> Para el cálculo de la huella hídrica personal, consultar la página web:  
[http://www.agua.org.mx/index.php?option=com\\_wrapper&Itemid=287](http://www.agua.org.mx/index.php?option=com_wrapper&Itemid=287)

materiales así como también la huella de carbono generada por habitante o vivienda<sup>18</sup>. Aunado a estos conceptos, se definió también el concepto de huella ecológica<sup>19</sup> que indica la cantidad de hectáreas de área productiva que cada persona, vivienda o país necesita para satisfacer sus necesidades.

### 2.3.1 Huella de carbono

La huella de carbono se refiere a la totalidad de GEI<sup>20</sup> emitidos debido al proceso de fabricación, instalación y uso de un cierto material, las actividades diarias de un individuo o empresa o la prestación de un servicio. En esta suma se toman en cuenta tanto los procesos que generan GEI tanto de manera directa como indirecta. En México, la producción de CO<sub>2</sub> per cápita es de 4.1 toneladas al año. De acuerdo a un estudio de la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (NTNU por sus siglas en inglés), las emisiones en el 2001 se dividieron por sector como lo muestra la gráfica 2.1.



Fuente: NTNU, 2009

### 2.3.2 Huella hídrica

La huella hídrica se refiere a la cantidad de agua consumida en la fabricación de un producto, en las actividades de una empresa o individuo o en la prestación de un servicio. Ésta depende de la eficiencia de los procesos involucrados y del requerimiento natural de agua. Como ejemplo, en México, se requiere de 1744m<sup>3</sup> de agua para la producción de una tonelada de maíz mientras que en países como Estados Unidos, Italia y Holanda, el consumo por tonelada es menor a los 500m<sup>3</sup>. Uno de los productos que posee una mayor huella hídrica en México y el mundo es la carne de res, pues requiere de 37,762m<sup>3</sup> de agua por cada tonelada producida (en México) mientras que el promedio mundial se encuentra en 15,497m<sup>3</sup>.<sup>21</sup> (Hoekstra et al., 2009)

<sup>18</sup> Para el cálculo de emisiones de carbono por habitante, consultar la página web:

<http://www.calculatusemisiones.com/main.html>

<sup>19</sup> Consultar para el cálculo de la huella ecológica [http://myfootprint.org/es/visitor\\_information/](http://myfootprint.org/es/visitor_information/)

<sup>20</sup> Los GEI son medidos en términos de CO<sub>2</sub>e.

<sup>21</sup> Para más huellas hídricas comparativas, así como las huellas ecológica, hidráulica y de carbono por país ver el Anexo B.

Tanto la huella hídrica como la huella de carbono y la huella ecológica ayudan a definir los sectores de la industria, servicios y población que demandan la mayor cantidad de agua y que más contribuyen a la generación de GEI. De este modo se puede medir la improductividad de un cierto sector, como el caso del sector agrícola en México, y se pueden definir e implantar estrategias para reducir las huellas, mejorar las eficiencias y reducir impactos ambientales.

### 2.3.3 Materiales constructivos

Para poder hacer una selección de los materiales que menos impacto tienen en el ambiente se deben tomar en cuenta las siguientes características (Construmática, 2009):

- Son de larga duración
- Son ajustables a un determinado modelo
- Son provenientes de una producción regulada y social/ambientalmente responsable
- Poseen un precio accesible
- Son valorizables
- Son no contaminantes
- Consumen poca energía en su ciclo de vida
- Su entorno tiene valor cultural
- Proviene de fuentes abundantes y renovables
- Poseen un porcentaje de material reciclado.
- No utilizan materiales de aislamiento que contenga CFC.

A su vez, para poder determinar qué materiales son idóneos para la construcción sustentable se debe identificar factores tales como el consumo de energía (donde los materiales pétreos son los de menor consumo mientras los metales y plásticos los de mayor), consumo de recursos naturales, impacto sobre los ecosistemas, las emisiones generadas (huella de carbono) y su comportamiento como residuo (existen materiales con mayor posibilidad de ser reutilizados o reciclados).

Por último, es necesario tomar en cuenta el ciclo de vida de los materiales, el cual incluye las siguientes etapas:

- Extracción: cómo se transforma el medio de donde se obtiene.
- Producción: cuál es el consumo de energía, agua y las emisiones generadas en el proceso.
- Transporte: cuánta energía se emplea para que el material llegue a su destino.
- Puesta en obra: cuál es el consumo indirecto de energía y agua, cómo se transforma el medio, cuáles son los efectos en la salud y cuántos residuos se generan.
- Desmantelamiento: cuántas emisiones contaminantes se generan y cómo se transforma el medio nuevamente.

## 2.4 Ciudad Sustentable

Si se parte de que una edificación es el módulo más pequeño de una ciudad entonces se puede afirmar que con el desarrollo de edificaciones sustentables se obtiene una ciudad sustentable. Esto es cierto en cierta medida, pero una vez que se toma en cuenta que una edificación sustentable requiere de cierta infraestructura urbana para funcionar de manera óptima se llega a la conclusión de que tanto una edificación sustentable como la infraestructura de la ciudad deben ser construidas a la par. Un ejemplo claro de esto es el agua tratada: puede ser que una o varias viviendas traten su agua pero no la utilicen toda, por lo que una red de distribución de agua tratada sería necesaria en la ciudad para que las casas puedan conectarse a dicha red y vender su excedente de agua tratada y alguien que la requiera también se conectaría a la red y la compraría.

Algo similar ya está ocurriendo con la energía eléctrica. CFE ya está acondicionando algunas viviendas en Baja California para que puedan vender sus excedentes de generación de energía solar a la red de CFE. En Zaragoza, España, se implantó un sistema híbrido eólico-solar en el estadio de fútbol en construcción donde el excedente de energía se venderá a un precio mayor a la red que lo que se tenga que comprar de la red, esto con el fin de fomentar dichos sistemas.

Existen alrededor del mundo varios lugares donde se está poniendo en práctica los conceptos de sustentabilidad. Por ejemplo, la periodista Catalina Gaya escribió un artículo que habla sobre la ciudad sueca de Malmö que, desde mediados de los noventa, comenzó a aplicar medidas en pro del ambiente haciéndola una de las ciudades sustentables más importantes del mundo junto a otras como Curitiba (Brasil), Portland (EUA) y Reikiavik (Islandia). Lo que hace de esta ciudad un ejemplo para la sustentabilidad entre otras cosas es:

- Posee 410 kilómetros de carriles ciclistas
- 50% de los automóviles públicos utilizan energías sustentables
- Para el 2010 se espera que el 60% de la energía utilizada provenga de energías renovables (en dos de sus barrios ya representa el 100%)
- Tiene dos barrios altamente sustentables donde el 70% del agua pluvial se recoge y acumula, tienen colocados 1,400m<sup>2</sup> de paneles solares, uno de los barrios es totalmente peatonal, el 70% de la basura se recicla, redujeron consumos de energía en un 20%, se mejoraron 16 hectáreas de zonas verdes, entre otras cosas.

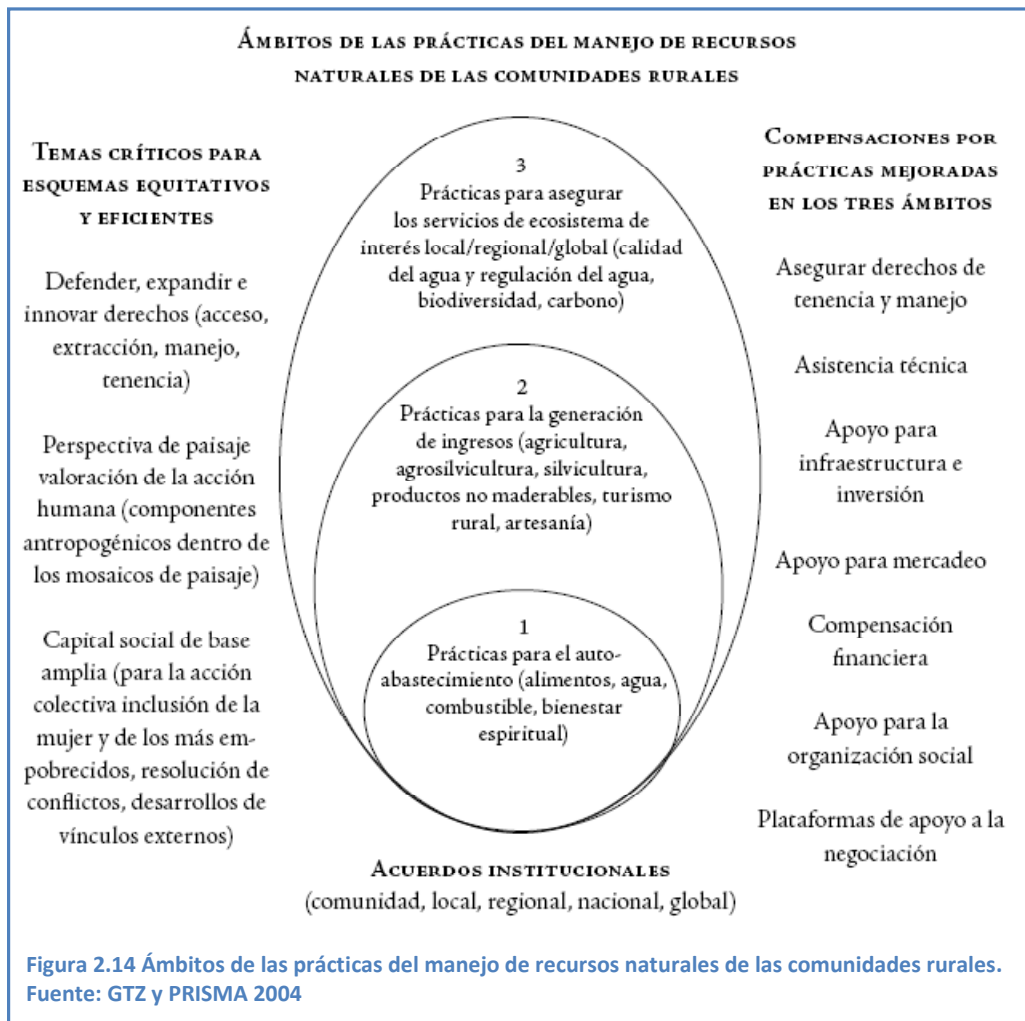
Por otro lado se encuentra la ciudad brasileña de Curitiba que desde 1971 (año en el que tuvo como alcalde a un arquitecto, Jaime Lerner) es modelo a seguir en cuestión de sustentabilidad. La transformación de Curitiba se dio con la creación de zonas exclusivamente peatonales en su centro (isla peatonal) y un sistema de transporte colectivo innovador y eficiente que más tarde sentaría la pauta para otras ciudades latinoamericanas como Bogotá, Santiago y México D.F. Además, se construyeron más de 115 km de ciclovías y para principios de los noventa ya el 28% de la población que se transportaba en auto cambió al uso de transporte público. También se mezcló el desarrollo social con el cambio ecológico que tuvo la ciudad ya que se creó la Universidad del Medio Ambiente, un jardín botánico y se instauraron programas como el muro de cultura, así como políticas ambientales. Todo este desarrollo urbanístico se tradujo en desarrollo social,

económico y ambiental haciendo de Curitiba una de las ciudades más atractivas para invertir en América Latina. (Restrepo)

Hoy en día, quizás el proyecto más ambicioso que se está llevando a cabo es el de la ciudad sustentable de Masdar (Masdar es la compañía de energía de Abu Dhabi, capital de EAU) en Emiratos Árabes Unidos. La ciudad de Masdar está siendo construida de acuerdo al concepto de una ciudad con cero emisiones de carbono. Toda ella será abastecida de electricidad por energía solar y contará con espacios diseñados para fomentar que la gente camine o use la bicicleta para realizar sus actividades diarias (Masdar, 2009). Este proyecto representa un gran reto, el de crear una ciudad sustentable en el desierto.

### 2.4.1 Comunidades rurales sustentables

Para evitar la dispersión social y al mismo tiempo evitar el mal uso de los recursos, se estableció el término de “ciudad rural sustentable”, una tendencia en la que México es pionero. A continuación se presenta un esquema en la figura 2.14 donde se identifican los aspectos que deben ser tomados en cuenta para el buen funcionamiento de una comunidad rural en cuanto al manejo de recursos de la misma.





2.4.1.1 *Nuevo Juan de Grijalva*

De acuerdo a la Secretaria del Campo del estado de Chiapas “la comunidad rural sustentable de Nuevo Juan de Grijalva es pionera en la construcción de comunidades de este tipo. Nuevo Juan de Grijalva se integra bajo cinco componentes fundamentales para la vida en sociedad: infraestructura urbana y vivienda, desarrollo social, económico productivo, componente ambiental, legalidad y gobierno”. La comunidad posee, para desarrollar su economía, los siguientes elementos:

- Planta fermentadora y secadora de cacao.
- Planta empacadora de tomate.
- Procesadora de lácteos.
- 8 invernaderos.
- Planta productora de quesos.
- Procesadora de cacao.
- 3 granjas apícolas.

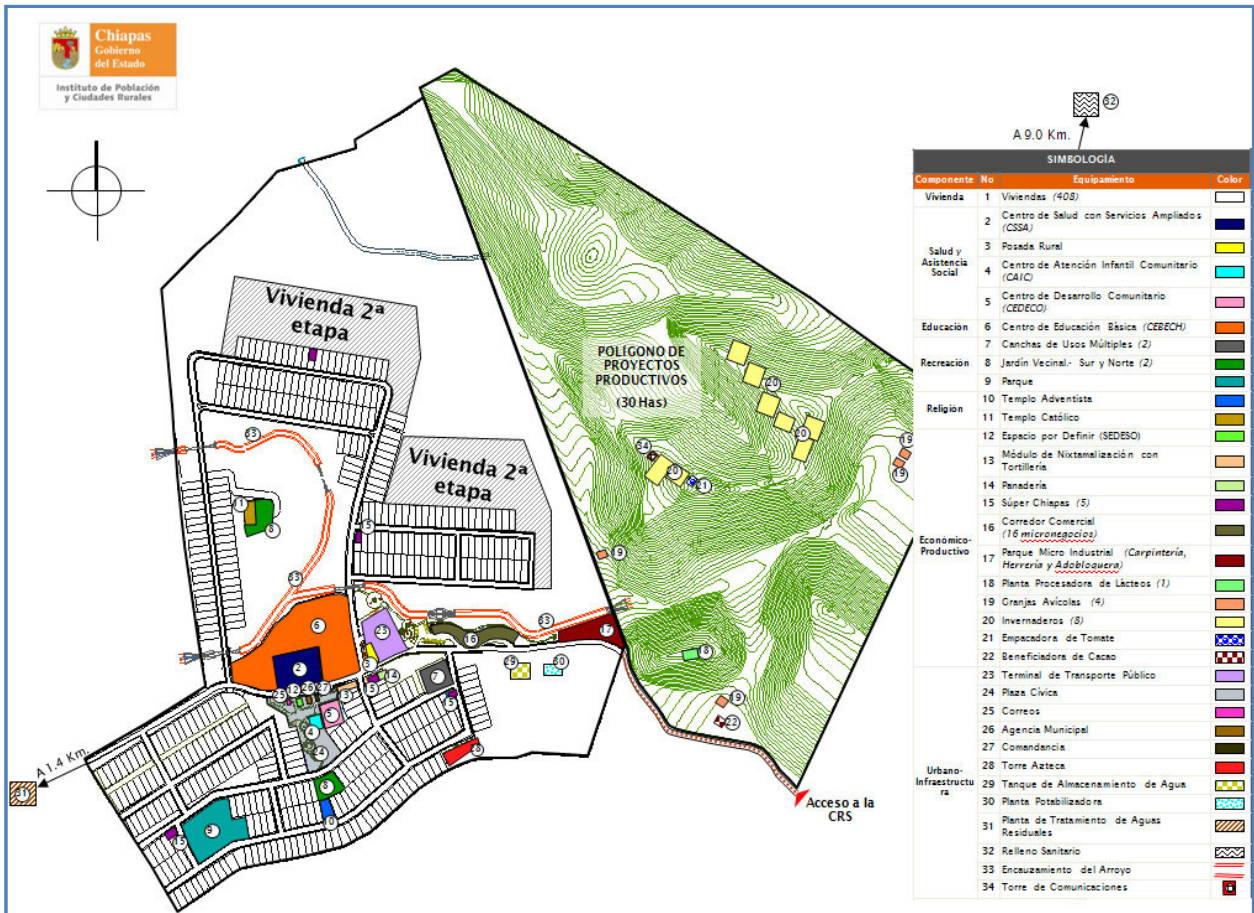


Figura 2.15 Plano de la comunidad Nuevo Juan de Grijalva. Fuente: Gobierno del Estado de Chiapas, 2009

La comunidad cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales, electricidad y alumbrado público mediante celdas solares, así como cultivos de alto valor. Con proyectos como éste, se está sentando la pauta para la planeación de comunidades con modelos nuevos de desarrollo que permiten el crecimiento económico sin mermar el ambiente, mejorando la calidad de vida y evitando la dispersión social que afecta a miles de comunidades rurales en México.

Este tipo de comunidades es un inicio en la búsqueda de planeación sustentable desde la concepción de un núcleo de población y con ellas se busca que su impacto en el ambiente sea mínimo mientras que se produce un desarrollo económico saludable.

# 3 Las externalidades ambientales

---

## 3.1 Importancia

Los proyectos de vivienda sustentable poseen costos de inversión generalmente superiores a aquellos que no son sustentables. La mayor parte del tiempo, tanto inversionistas, como desarrolladores y compradores se basan en estos costos para tomar decisiones, lo que ocasiona que los proyectos de vivienda sustentable no parezcan rentables a simple vista. La pregunta es, ¿la sustentabilidad realmente no representa una mejor opción económicamente hablando? Lo cierto es que, con la manera tradicional de hacer los análisis costo-beneficio, la vivienda sustentable resulta más costosa, pero al analizar los daños al ambiente y a la salud que causan el uso de prácticas comúnmente realizadas se llegó a la conclusión de que todos los beneficios y perjuicios ambientales que se obtienen de un proyecto deben de ser cuantificados de algún modo para poner dichos beneficios/perjuicios en términos monetarios y es ahí donde se observa que la vivienda sustentable representa una mejor opción ante los proyectos comunes. A los daños y beneficios que no son cuantificados dentro de un análisis económico de un proyecto se les denomina externalidad. Al hacer la inclusión de las externalidades al análisis costo-beneficio de un proyecto se proporciona un mejor enfoque en cuanto a un escenario de ganancia o pérdida tomando en cuenta el sector ambiental y social.

## 3.2 Concepto

Todo aquel impacto sobre un grupo que se produce de una cierta actividad (ya sea económicas o sociales) de otro grupo de personas sin que ese grupo este plenamente consciente de él o simplemente no lo tome en cuenta es llamado “externalidad” (European Commission, 2003). Por lo tanto, cuando se genera un impacto sobre el medio ambiente sin tomar en cuenta sus efectos, dicho impacto es considerado una “externalidad ambiental”.

Existen varias maneras de definir a las externalidades de acuerdo a varios autores, a continuación se presentan algunas de ellas:

- Externalidades son eventos que confieren beneficios o costos considerables a una persona o grupo de personas sin que éstas hayan dado su consentimiento al momento de tomar las decisiones que llevaron directa o indirectamente a la ocurrencia de dichos eventos. (Meade, 1973)
- Una externalidad se presenta cuando la utilidad de un individuo A se ve afectada por ciertas variables cuyos valores son decididos por otros (personas, corporaciones o gobiernos), sin tomar en cuenta los efectos en el bienestar del individuo A. (Baumol y Oates, 1988)
- Una externalidad existe cuando la producción o consumo de un bien afecta directamente a individuos que no participan en su compra ni en su venta, y cuando estos efectos no se reflejan totalmente en los precios de mercado. (Aversano y Temperini, 2006)

- De acuerdo a Azqueta (1994): “se dice que estamos en presencia de una externalidad cuando la actividad de un grupo repercute sobre el bienestar de otro (o sobre su función de producción), sin que se pueda cobrar un precio por ello, en uno u otro sentido”.
- “Podría definirse la externalidad como aquella *desutilidad* o coste --en el caso de las externalidades negativas (o también utilidad en el caso de las positivas)-- que sin el pago de una compensación produciría sobre un productor o un consumidor, la actividad de otro productor u otro consumidor” (Oteyza citando a Scitovsky en SEDESOL, 1992)
- Para Pearce (1976) una externalidad involucra a dos o más agentes económicos que poseen una interdependencia y ésta no tiene un precio fijado.

Existen muchas externalidades, algunas de las cuales pueden ser expresadas cuantitativamente en términos monetarios. Algunos ejemplos de externalidades que destacan son: efectos en el paisaje, efectos en la salud humana (morbilidad), incremento o disminución de muertes (mortalidad), pérdida del equilibrio ecológico, efectos en los acuíferos y cuerpos de agua, cambios en la calidad del aire, cambios en el nivel de calidad del agua, pérdida de sitios recreativos, efectos en suelos, calentamiento global, entre otros. (Jaime, 2003)

Para los parámetros mencionados en el capítulo de sustentabilidad sobre las dimensiones medioambientales, sociales y económicas en los proyectos, las externalidades ambientales representan el vínculo fundamental para definir la interacción del parámetro medioambiental con los otros dos parámetros. Esto se debe a que las externalidades permiten identificar de qué manera se influye en el ambiente al construir algo. La dificultad radica en delimitar un método de internalización para poder incluirlas en un análisis beneficio-costos. Debido a la gran actividad en sectores económicos donde existen externalidades (que no están reflejadas en la valoración de los bienes), es necesario establecer un sistema que analice los costos externos para evitar o contrarrestar los impactos causados y éste en su mayoría es alcanzado con la intervención del sector público (Delacámara).

### 3.3 Características

Una vez definida la externalidad, es necesario tomar en cuenta que existen externalidades tanto negativas como positivas. Mientras que las negativas implican que el impacto que tiene una cierta actividad es adverso, las positivas implican lo contrario. A continuación se enuncian las características que, de acuerdo a Pearce (1976), se deben tomar en cuenta al analizar externalidades:

1. Una exterioridad<sup>22</sup> negativa implica que la producción de la actividad “ofensiva” es demasiado grande. Se aplica lo contrario a una exterioridad positiva<sup>23</sup>.
2. No debe eliminarse por completo una exterioridad negativa sino buscarse la cantidad de exterioridad óptima.
3. Los juicios de valor que apoyan la concepción del análisis costo-beneficio son esencialmente: a) que contarán las preferencias de los individuos (disposición a pagar o requerimiento de compensación) b) que estas preferencias se ponderaran por el poder del mercado.
4. La esencia de una exterioridad es que involucra: a) una interdependencia entre dos o más agentes económicos b) el hecho de que no se fija ningún precio a tal interdependencia.

Para Delacámara, “las externalidades causan distorsiones en el uso de los recursos porque la sociedad no paga el precio del bien en cuestión; de ese modo, el problema reside en estimar el precio que debería prevalecer ante el mal funcionamiento del mecanismo de precios del mercado. En la mayor parte de las transacciones, el precio es el mismo para quien provee un bien y para quien lo consume, pero esta simetría no puede mantenerse si aparecen externalidades”. Esto lleva al inconveniente de cuantificar dichas externalidades para de alguna manera restablecer dicha “simetría” a través de la internalización de las externalidades o buscando mecanismos de mitigación de éstos.

---

<sup>22</sup> El autor utiliza la palabra exterioridad como sinónimo de externalidad.

<sup>23</sup> Por ejemplo, si una empresa no asume el costo del daño que les causa a otras industrias al contaminar el ambiente en su producción, entonces este daño será una externalidad negativa. En el caso en que su producción beneficie a otra empresa sin proponérselo, entonces será un caso de externalidad positiva. (González, SEMARNAT,2001)

### 3.4 Costo directo e indirecto

Dentro del análisis costo-beneficio normalmente se incluyen los costos directos e indirectos, a los que se les deben de sumar las externalidades. Se resumen de forma breve las definiciones de éstos para clarificar el apartado.

#### *Costo directo*

El costo directo se refiere a todo aquel gasto que puede ser adjudicado a un solo producto, trabajo o servicio. Las materias primas, el salario de la mano de obra, el uso de ciertas herramientas y maquinarias, así como insumos como gasolina, gas, agua y electricidad utilizados al realizar un producto o trabajo son algunos ejemplos de este tipo de costo.

#### *Costo indirecto*

El costo indirecto es el gasto en el que se incurre sin poder determinar específicamente a qué producto, trabajo o servicio está ligado. Los gastos administrativos, así como la renta de oficinas o naves industriales son ejemplos de dicho tipo de costo.

### 3.5 Proceso de internalización de las externalidades

El proceso de internalización de externalidades es complejo y requiere de una metodología que no siempre se aplica de la misma manera en todos los casos, es por esto que la mayor parte de la presión para internalizar los beneficios y costos ambientales recae en los gobiernos. De acuerdo a la declaración de Rio, “los estados deben de desarrollar leyes nacionales concernientes a la responsabilidad y compensación para las víctimas por contaminación y otros daños ambientales. Así como también deben cooperar para generar leyes internacionales concernientes a la responsabilidad y compensación por efectos adversos de los daños ambientales causados por actividades dentro de su jurisdicción (así como a aquellas áreas que se salen de ésta)”. Esto quiere decir que las autoridades nacionales deben promover la internalización de los costos ambientales y el uso de instrumentos económicos tomando en cuenta que los contaminadores deben correr con los costos por contaminar. (ONU, 1992)

La internalización entonces se da de dos maneras diferentes: por un lado a través de la intervención gubernamental y regulación y por el otro, a través de la autorregulación de las propias empresas. Por el lado de la regulación se desarrollan normas para imponer soluciones que impliquen cambios en las tecnologías utilizadas para los procesos de producción, así como para establecer estándares para cuidar la calidad de los recursos naturales. Por el lado de la autorregulación, existen los Sistemas de Administración Ambiental (como el ISO14000) donde las empresas incluyen los problemas ambientales como parte de su estructura administrativa. (Provencio, SEMARNAT, 2001)

De acuerdo con la metodología del INEGI, primero se debe realizar la cuantificación del volumen de recursos naturales y ambientales utilizados, para luego proceder a realizar su valoración a partir de los diversos métodos comentados en el apartado de metodología de ese estudio. Esa cuantificación es consistente en términos contables con las mediciones del Sistema de Cuentas Nacionales del país, lo que permite calcular, a partir del valor del Producto Interno Bruto, el valor

del Producto Interno Neto Ecológico, al deducir de aquel la cuantía de la depreciación de los activos producidos, así como los costos por agotamiento y degradación de los recursos naturales y ambientales. (Hernández, 1996)

Uno de los ejemplos más claros de internalización de un impacto ambiental es la creación del mercado de carbono. Para esto se llevó a cabo la construcción de un sistema de permisos comerciables de carbono, se instauró un precio por tonelada y se diseñaron y aplicaron regulaciones para ayudar a la eficiencia del mercado (Galindo, 2009). Para llevar a cabo el funcionamiento del mercado de carbono se idearon los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) que permiten la creación de proyectos que buscan la reducción de GEI y generan Certificados de Reducción de Emisiones (CER por sus siglas en inglés) que pueden ser usados por países que han excedido su cuota máxima de emisiones de GEI.

### 3.5.1 El valor de los bienes ambientales

Los recursos naturales deben ser protegidos con el establecimiento de medidas de prevención, mitigación y/o compensación. Dichas medidas poseen un costo asociado a ellas por lo que se asignan valores económicos a los diversos recursos. Es común que una manera de asignar dicho valor surja de la cuantificación del dinero que se tiene que pagar para proteger o restituir un determinado recurso natural (INE, 2000). Este proceso es parte de la internalización de externalidades.

Existen propiedades comunales y privadas cuando se habla de los recursos naturales. Por un lado, en el caso de las propiedades privadas, cuando se crea un daño o la utilización de un recurso de un cierto propietario se puede delimitar una compensación. Por el otro lado, no sucede lo mismo en el caso de la propiedad comunal, donde las externalidades normalmente se presentan debido a que no se puede establecer un pago por el uso del recurso y termina siendo utilizado a un precio de cero y suceden congestiones, abusos y degradaciones del recurso ya que la gente sólo considera el uso de la parte que le concierne como individuo, sin tomar en cuenta que puede causar un costo o desutilidad a otro usuario. (Oteyza, SEDESOL, 1992)

#### *Capital natural*

De acuerdo al Glosario Ambiental Multilingüe de la Agencia Europea Ambiental (EEA por sus siglas en inglés), el capital natural es una extensión de la noción económica de capital (medios manufacturados de producción) a los “bienes y servicios” ambientales. Se refiere a una reserva (por ejemplo un bosque) que produce un flujo de bienes (ej. nuevos árboles) y servicios (secuestro de carbono, control de erosión, hábitat). Es necesario tomar en cuenta que el hablar de un activo capital es implicar su utilidad para crear riqueza, ya sea en términos de bienestar o monetarios (Green Facts, 2009).

#### *Bienes públicos*

De acuerdo a Aversano y Temperini (2006), los bienes públicos poseen dos propiedades que los identifican: “por un lado son no rivales, lo que significa que su utilización por parte de una persona no reduce la cantidad de que disponen las demás. Por otro lado son no excluibles, lo que significa

que es imposible o prohibitivo impedir que lo utilicen las personas que no lo pagan”. Esta última condición propicia que, cuando existe un gran número de agentes involucrados en el padecimiento de la externalidad, se genere un problema denominado *free rider*<sup>24</sup> ya que “la acción de cualquiera de los agentes es beneficiosa para todos los damnificados a pesar de que no todos ellos participen de la misma” generando de esta manera una desincentivación para actuar, ya que cualquiera de los involucrados esperará a que los demás actúen y ellos mismos salgan beneficiados (Aversano y Temperini, 2006). Un ejemplo de un bien público es el clima, que representa la mayor externalidad negativa global de acuerdo al informe Stern (2007).

### *Servicios ambientales*

Derivado del cambio climático y la necesidad de internalizar externalidades, surgieron los denominados servicios ambientales que buscan, mediante el pago a un cierto grupo, la conservación de áreas de alto valor ambiental.

Heidi Wittmer, en su trabajo “*El manejo de los recursos de uso común: Pago por servicios ambientales*”, habla a cerca de los servicios ambientales y como éstos poseen dos o tres aspectos esenciales: de un bien público, de un recurso de acceso común y/o un club good<sup>25</sup> (bienes tarifa). De esto surge que se requiere la colaboración de todos los usuarios relacionados con el área a la que le corresponde el servicio ambiental para que se produzca un manejo adecuado de dichos recursos (a manera de una acción colectiva).

### *Tipos de servicios ambientales*

Para fines prácticos se mencionarán aquellos que, de acuerdo a la Décima Conferencia Bienal de la Asociación Internacional para el Estudio de la Propiedad Común (IASCP), celebrada los días 9 a 13 de agosto de 2004 en Oaxaca, México, son los más importantes: la protección de cuencas hidrográficas, la conservación de la biodiversidad, la captura de carbono y la protección o mantenimiento de los bosques y los paisajes. (Wittmer, SEMARNAT, 2006)

En el caso de la protección de las cuencas hidrográficas normalmente se cuenta con un grupo de personas que deben colaborar juntas para que se dé un manejo adecuado de los recursos disponibles (agua para consumo/irrigación, energía hidráulica). Por el lado de la conservación de la biodiversidad puede ser dada en áreas más pequeñas que en las cuencas hidrográficas por lo que es común que existan propietarios privados. Esto lleva a un problema debido a que es difícil identificar un usuario de dicho servicio que esté dispuesto a pagar por él. En cuanto a la captura de carbono y la conservación de bosques, normalmente se utilizan Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) para identificar a aquellos que harán los pagos por el servicio ambiental y quiénes los recibirán. (Ídem)

<sup>24</sup> Se refiere al acto de beneficiarse por las acciones de otras personas sin necesidad de tomar dichas acciones uno mismo.

<sup>25</sup> El término *club good*, de acuerdo a Heidi Wittmer, “se refiere a un bien donde la utilidad del consumo de cada individuo está en función de la cantidad de lo que consumen los otros de este bien”.



### 3.5.2 Internalización en México

Cada año el país incurre en costos muy altos debido a que las externalidades ambientales no son tomadas en cuenta en los proyectos. A continuación se presenta una tabla de la SEDESOL donde se mencionan algunos de los costos ambientales en México:

**Tabla 3.2. Principales costos ambientales en México para 1992.**

Problemas	Efectos potenciales Producción/salud	Costos anuales (millones de dólares USA)
Erosión del suelo	Pérdida de productividad agrícola	1 200
Efectos a la salud por cont. atmosférica (Ciudad de México)	Particulares: morbilidad (restricción en la actividad diaria por enfermedades respiratorias)	360
	Particulares: mortalidad	480
	Ozono: morbilidad	100
	Plomo: tratamiento a infantes por altos niveles en la sangre	60
	Plomo: Educación compensatoria a los niños	20
	Plomo: infartos al miocardio	10
Excesivo uso de aguas subterráneas debido a precios bajos (no costo social)	Subsidios al abastecimiento de agua a la ciudad de México	1 000
Enfermedades diarreicas por contaminación del agua y basura; falta de sanidad y contaminación de alimentos	Subsidios a la irrigación	160
	Morbilidad	30
	Mortalidad: escenario 1 con situación actual	3 600
	Mortalidad: escenario 2 con hidratación oral y terapia	450 000

Fuente: SEDESOL, 1992

Desde hace 30 años, en el país, se empezó a evaluar el impacto ambiental de las obras y actividades y en 1988 se publicó la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en Materia de Impacto Ambiental (INE). El análisis de impacto ambiental en los proyectos permite conocer los daños que se generarán en materia de recursos naturales para poder definir como evitarlos.

Alrededor de 50 empresas mexicanas ya han sido certificadas bajo un Sistema de Administración Ambiental (ISO 14000, el cual es el más reconocido a nivel internacional) con el fin de disminuir las externalidades ambientales que producen. Además, como lo menciona Provencio, el sector industrial en general “ha pactado 14 convenios de autorregulación que contemplan a más de 1,000 empresas, las cuales han realizado inversiones considerables para el desarrollo de programas voluntarios de mejora ambiental”.

### 3.6 Costos y beneficios en los proyectos de vivienda

Los costos en la vivienda sustentable se centran en la fuerte inversión que se debe de hacer para poder implementar las tecnologías necesarias para el ahorro de agua y energía. Dicha inversión se paga con el transcurso del tiempo (dependiendo de la tecnología usada y de los ahorros concebidos).

En cuanto a la generación de proyectos de vivienda sustentable, Edwards (2004) menciona que existen cuatro beneficios importantes en general:

1. Los promotores pueden promover la alta calidad medioambiental de sus edificios y con ello aumentar las ventas.
2. Los proyectistas pueden demostrar las presentaciones medioambientales de sus obras de una forma cuantificada.
3. Los propietarios pueden evaluar su propiedad desde el punto de vista medioambiental con el objetivo de ahorrar costes.
4. Los empresarios pueden garantizar a sus empleados que su entorno laboral es saludable y de alta calidad.

Por otro lado, Provencio asegura que “el costo marginal de reducir externalidades es superado por el beneficio marginal resultado de la reutilización de materiales, la reducción en insumo por pieza y el reciclaje”. (SEMARNAT, 2002)

Para poder poner en marcha el desarrollo sustentable en México, la CONAVI (2009) está creando un programa para incentivar a que las grandes desarrolladoras realicen construcciones sustentables. El programa se llama “Desarrollos Urbanos Integrales Sustentables” (DUIS) y brinda asistencia a los proyectos aprobados de la siguiente manera:

- Apoyo ante las autoridades locales por parte de las dependencias responsables del desarrollo, ordenamiento territorial, medio ambiente e impulso económico otorgando asistencias técnicas en materia de:
  - Transporte,
  - Manejo integral de residuos,
  - Desarrollo de actividades industriales, comerciales y logísticas;
  - Estudios para la prevención y mitigación de desastres naturales,
  - Planes y programas de desarrollo urbano y ordenamiento territorial y
  - Apoyos en la gestión de factibilidades y licencias.
- Preferencia para agilizar la comercialización de las viviendas ubicadas en DUIS por parte de las Instituciones de apoyo y fomento a la vivienda, a través de subsidios, y puntajes diferenciados entre otros.
- Financiamiento a través de capital, deuda y/o garantías para construcción de infraestructura, equipamiento, edificación y adquisición de vivienda a través de la Banca de Desarrollo del Gobierno Federal, por medio de los instrumentos tradicionales que opera y otros que podrán desarrollar para los DUIS.

En el capítulo siguiente se define exactamente cómo un cierto proyecto de vivienda sustentable tiene beneficios mayores a aquel que no es sustentable.

## 4 Caso estudio: Fraccionamiento Héroes de Tecámac<sup>26</sup>

Teniendo en cuenta los principios de sustentabilidad, en la Ciudad de México se han empezado a construir desarrollos habitacionales que buscan integrar algunos elementos de ahorro de agua y energía. Tal es el caso del Fraccionamiento Héroes de Tecámac, el cual tomo como ejemplo para identificar los beneficios y costos de una manera cualitativa y cuantitativa.

### 4.1 Descripción general del proyecto<sup>27</sup>

El proyecto fue desarrollado por Grupo SADASI y consta de 37,631 viviendas a construir de las cuales se tienen 27,525 ya construidas. Todas las viviendas cuentan con dispositivos y mobiliario para el ahorro de agua, mientras que 539 viviendas poseen, además, calentadores de agua a base de energía solar (marca ELIOLCOL). De todo el desarrollo, están habitadas 15,148 casas.

#### 4.1.1 Ubicación

El complejo habitacional se localiza en el municipio de Tecámac de Felipe Villanueva en el Estado de México, en el área metropolitana de la Ciudad de México. Se encuentra en el kilómetro 44.3 sobre la carretera Lechería Texcoco. El desarrollo urbano está dividido en ocho secciones de Bosques I a Bosques VII, y al norte una sección denominada Jardines (ver figura 4.1).



Figura 4.1 Fotografía aérea del conjunto urbano. Fuente: Google Maps, 2009

<sup>26</sup> El caso estudio se basa en los reportes de la Facultad de Ingeniería y la División de Ingenierías Civil y Geomática que se encuentran en las referencias en la sección “Reportes”.

<sup>27</sup> Datos de agosto del 2009.

#### 4.1.2 Vivienda tipo

El complejo habitacional cuenta con cinco diferentes tipos de vivienda que varían en precio, tamaño y localización. A continuación se describen los aspectos generales de los tipos de vivienda que existen:

##### *Departamentos (\$291,490.00 Planta alta y \$217,500.00 Planta baja)*

Este tipo de vivienda se encuentra edificada en un edificio sextuplex en condominio vertical, distribuida en sala-comedor, dos recámaras con área adicional para clóset, baño, cocina, patio de servicio, cubo de escalera (de uso común) y un cajón fijo de estacionamiento.

El departamento ubicado en Planta Baja tiene una superficie de 55.86 m<sup>2</sup>, el de planta intermedia 55.86 m<sup>2</sup> y el de planta alta 50.9 m<sup>2</sup>

##### *Vivienda progresiva (\$264,190.00)*

Vivienda en condominio horizontal, distribuida en una planta y opción de crecimiento exclusivamente vertical al primer nivel por cuenta del propietario. Cuenta con 35.04m<sup>2</sup>

##### *Tradicional con balcón (\$370,590.00)*

Vivienda cuadruplex en condominio horizontal, distribuida en planta baja y alta, y opción de crecimiento exclusivamente vertical en segundo nivel por cuenta del propietario (casa de 2 recámaras). Cuenta con 65.21m<sup>2</sup> a lo que se le puede agregar un piso más con 33.71 m<sup>2</sup>

##### *Tradicional II (\$370,590.00)*

Vivienda cuadruplex en condominio horizontal, distribuida en planta baja y alta y opción de crecimiento exclusivamente vertical en segundo nivel por cuenta del propietario (casa de 2 recámaras). Cuenta con 62.85m<sup>2</sup> a lo que se le puede agregar un piso más con 33.71 m<sup>2</sup>

##### *Modificada plus (\$349,490.00)*

Vivienda cuadruplex en condominio horizontal, distribuida en planta baja y alta y opción de crecimiento exclusivamente vertical en segundo nivel por cuenta del propietario. (Casa de 2 recámaras). Cuenta con 65.20m<sup>2</sup>

Algunas de las viviendas del conjunto urbano tienen un sistema de calentamiento solar “Heliocol”, A continuación se presentan las cifras de casas con calentadores según su tipo<sup>28</sup>:

- Existen 204 viviendas progresivas con sistema de calentamiento solar colocado.
- Existen 177 departamentos con sistema de calentamiento solar colocado.
- Existen 154 viviendas del tipo tradicional con sistema de calentamiento solar colocado.

<sup>28</sup> Obtenidas de los informes mencionados anteriormente.

## 4.2 Dispositivos de ahorro de agua y energía

### 4.2.1 Ahorro de agua

Todos los dispositivos se acoplan fácilmente a las instalaciones existentes. No requieren de modificaciones de hábito. Los dispositivos ahorradores representan un aumento en el costo directo de la vivienda debido a que se realiza un gasto que de otra manera no estaría presente. Este aumento en el costo se ve amortizado en el tiempo debido a los ahorros que se generan al poseer los dispositivos.

En el caso del agua, en las viviendas se utilizaron tres tipos de dispositivos:

- Para fregaderos/lavabos
- Para inodoros
- Para regaderas

El dispositivo mostrado en la figura 4.2 es una válvula de regulación de gasto. Se llama Aquanomic Chaul y de acuerdo al proveedor es un “ahorrador automático de agua, pre-calibrado de fábrica que permite un gasto máximo de agua de 10.0 litros por minuto sin importar la presión en la línea ó la apertura de las llaves”. Dicho regulador se instaló en fregaderos, lavabos y regaderas.



Figura 4.2 Dispositivos ahorradores instalados en los aparatos de las viviendas del complejo. Fuente: Aldemar, 2009

En la figura 4.3 se pueden ver los detalles del inodoro utilizado en las casas “verdes”. Se trata de un inodoro Marathon de la marca Vitromex, que maneja un volumen de agua de 4.8 litros.



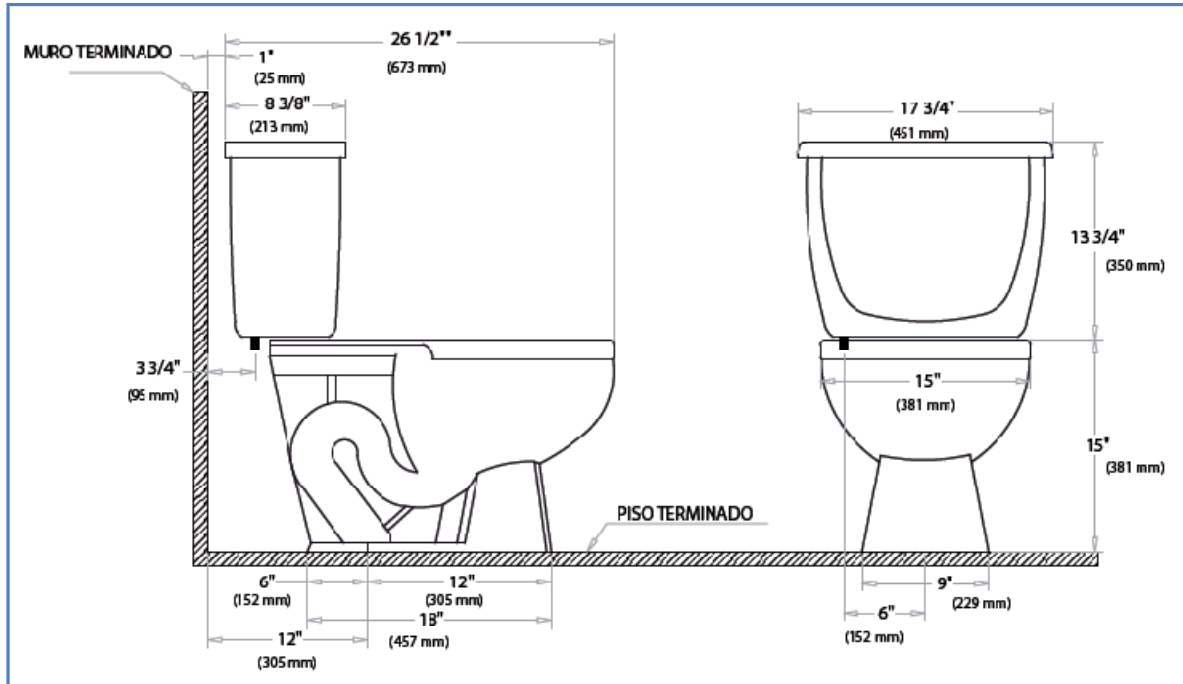


Figura 4.3. Esquema de las dimensiones del inodoro Marathon Fuente: Vitromex, 2010

#### 4.2.2 Ahorro de energía

Las casas con tecnologías ahorradoras están equipadas con focos de bajo consumo eléctrico. Debido a que no se tienen especificaciones por parte de la empresa desarrolladora se asume que existen alrededor de treinta focos por vivienda y que consumen 15 Watts.

#### 4.2.3 Ahorro de gas

Para el ahorro de gas, se instalaron calentadores solares de la marca Heliocol, cuyo diseño y funcionamiento se muestran en las figuras 4.4 y 4.5. De acuerdo al vendedor la vida útil de los colectores solares es de más de 25 años y no requieren mantenimiento<sup>29</sup>.

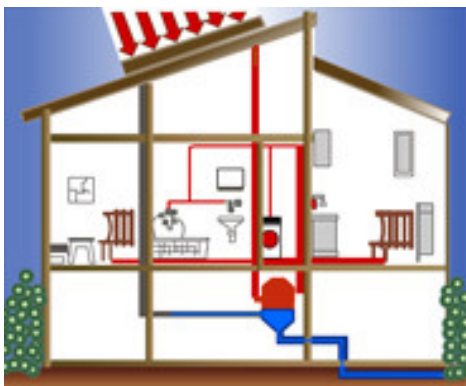


Figura 4.4. Esquema de funcionamiento y foto del calentador solar. Fuente: Heliocol, 2009

<sup>29</sup> Obtenido de la pagina <http://www.heliocol.com.mx/clients/residencial.php>, el día 21 de enero de 2010.

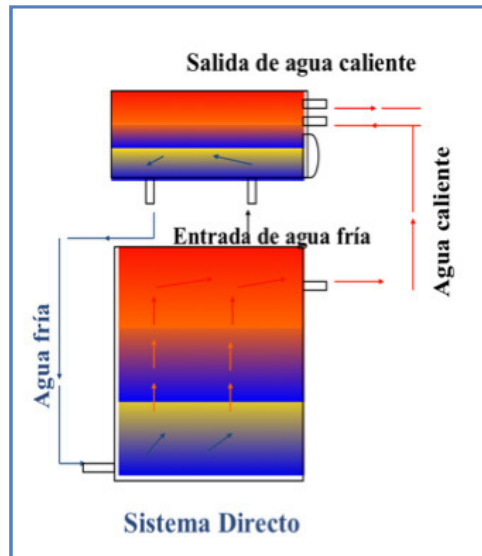


Figura 4.5 Esquema de funcionamiento de los calentadores solares instalados en el conjunto habitacional. Fuente: Heliocol, 2009

Por último se debe mencionar que los dueños de las viviendas denominadas “casas ecológicas”<sup>30</sup> reciben del desarrollador una carpeta técnica del programa de Hipoteca Verde de INFONAVIT, que contiene la descripción del equipamiento ecológico de la vivienda así como cartas garantía de los proveedores y los procedimientos para hacer efectivas las mismas. Cabe destacar que aunque esta carpeta es entregada, esto no asegura que el propietario conozca la información necesaria para operar y mantener los dispositivos.

<sup>30</sup> Aquellas viviendas que poseen los dispositivos ahorradores y calentador solar.



### 4.3 Análisis Costo-Beneficio

Para realizar el análisis costo-beneficio se determinaron dos casos: el primero es aquél donde la vivienda no posee las adecuaciones ahorradoras y la segunda es el de la “casa ecológica” con todos los dispositivos de ahorro.

Para los cálculos de ahorro de agua y energía se tomó en cuenta el informe de la División de Ingenierías Civil y Geomática. Se cuenta con 539 casas “verdes” en el complejo con un promedio de 4.05 ocupantes por vivienda. Dichas viviendas poseen los dispositivos ahorradores que son: válvulas para fregadero, lavabos y regadera, focos ahorradores, así como inodoros de bajo consumo y calentadores solares.

Para poder hacer la comparación de las “casas ecológicas” con una vivienda normal, se definió el concepto de “casa testigo”. Las casas testigo son viviendas que no poseen tecnologías ecológicas dentro del conjunto urbano y sirven para realizar la comparación de ahorro.

#### 4.3.1 Inversión inicial

Tanto las “casas ecológicas” como las viviendas sin tecnologías ahorradoras tuvieron costos de construcción iguales por lo que pueden ser excluidos de los análisis de costo-beneficio. La diferencia radica en el costo de los materiales utilizados en las “casas ecológicas” y su instalación.

Esta diferencia es la inversión en los dispositivos ahorradores, el costo real del agua y la energía y cualquier mantenimiento que incurra en costos a lo largo de la vida útil de los aparatos.

Por un lado se cuenta con las válvulas ahorradoras en las regaderas y fregaderos e inodoros de bajo consumo, por otro el calentador solar y los focos ahorradores. En la tabla 4.1 se pueden observar los costos de cada elemento ahorrador y su cantidad dentro de la vivienda, mientras que en la tabla 4.2 se muestran los costos de los elementos de una casa sin dispositivos ahorradores.

**Tabla 4.1. Elementos ahorradores de las “casas ecológicas” y sus precios**

Elemento	Precio/u	Cantidad	Costo
Regulador Acuanomic Chaul para regadera	\$ 17.50	2	\$ 35.00
Regulador Acuanomic Chaul para lavabos	\$ 17.50	4	\$ 70.00
Tasa más tanque Vitromex Marathon	\$ 874.22	2	\$ 1,748.44
Calentador solar Heliocol	\$ 5,500.00*	1	\$ 5,500.00
Focos ahorradores	\$ 30.00	30**	\$ 900.00

\*Costo tentativo basado en el mercado de calentadores solares en general, debido a que no se obtuvo una cifra exacta del desarrollador.  
 \*\* Número promedio, no se cuentan con datos del desarrollador.

Fuente: respectivas marcas

Tabla 4.2. Elementos de las viviendas testigo y sus precios

Elemento	Precio/u	Cantidad	Costo
Tasa más tanque de WC	\$ 500.00*	2	\$ 1,000.00
Calentador	\$ 2,000.00*	1	\$ 2,000.00
Focos incandescentes	\$ 9.00*	30**	\$ 270.00

\*precio promedio ya que la marca no fue especificada por el desarrollador  
 \*\* Número promedio, no se cuentan con datos del desarrollador.

Fuente: búsqueda de precios en internet, 2010

#### 4.3.2 Ahorro de agua

Con el uso de los dispositivos ahorradores de agua se puede decir que:

- Se ahorran 2 litros por persona y por descarga en los inodoros (tomando en cuenta que los inodoros normales tienen un volumen de 6 litros mientras que los ecológicos solo 4 litros)
- Si se realizan 3 descargas en el día por persona, se ahorran 6 litros por día por persona.
- Se ahorran 10 litros por persona por minuto en las regaderas (tomando en cuenta que las regaderas normales poseen un gasto de 20 litros por minuto, contra 10 litros por minuto con el dispositivo)
- Si se toma en cuenta que la gente se baña en promedio 15 minutos y una vez al día, el ahorro es de 150 litros por persona por día.
- Se ahorran 5 litros por minuto en los lavabos y fregadero (tomando en cuenta que los lavabos y fregadero sin dispositivo tienen un gasto de 15 litros por segundo mientras que con el dispositivo tienen un gasto de 10 litros por segundo)
- Si se toma en cuenta que el lavabo y fregadero se utilizan 10 minutos por persona por día, se tiene un ahorro de 50 litros por persona por día.

Con los datos anteriores se deduce que, en teoría, se ahorran 206 litros de agua por persona al día. A continuación se presentan los cálculos para obtener el ahorro total de agua y dinero. Los siguientes cálculos muestran la cantidad de agua que se ahorra al año en el conjunto.

$$206 \frac{\text{litros}}{\text{día} * \text{persona}} * 365 \text{ días} * 4.05 \text{ personas} = 304,520 \text{ litros ahorrados por vivienda}$$

$$304,520 \frac{\text{litros}}{\text{vivienda}} * 539 \text{ viviendas} = 164,136,010 \text{ litros anuales}$$

$$206 \frac{\text{litros}}{\text{día} * \text{persona}} * 4.05 \text{ personas} * 61 \frac{\text{días}}{\text{bimestre}} * 0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{litros}} = 50.9 \text{ m}^3 \text{ bimestrales}$$

Se ahorran más de 164,000,000 de litros de agua al año en el conjunto urbano de casas equipadas con las tecnologías ahorradoras.

Se supone un consumo promedio bimestral en el rango entre los 100 y 125 metros cúbicos. De acuerdo al organismo operador de la zona, Odapas Tecámac, se sabe que el precio de un metro cúbico adicional, en el rango de consumo de 100 a 125m<sup>3</sup> bimestrales, es de \$13.32 (véase tabla 4.3). Entonces, si se toma en cuenta que el precio del agua es de \$0.01332 por litro, se están ahorrando en conjunto una cantidad de más de \$2,113,000.00 anuales por concepto de agua.

**Tabla 4.3. Tabla de precios por concepto de consumo de agua doméstico**

Servicio medido: Uso doméstico*		
Consumo bimestral m <sup>3</sup>	Costo	Costo por m <sup>3</sup> adicional
0-15	\$65.73	
15-30	\$65.73	\$4.38
30-45	\$131.44	\$4.88
45-60	\$204.62	\$5.51
60-75	\$286.56	\$8.79
75-100	\$399.63	\$10.02
100-125	\$650.44	\$13.32
125-150	\$983.70	\$16.65
150-300	\$1,400.31	\$18.10
300-500	\$4,115.07	\$18.41
500-700	\$7,800.23	\$19.77
700-1200	\$11,753.93	\$20.09
1200 Y +	\$21,799.19	\$20.18

**\*Se debe de agregar el 8% por concepto de drenaje a todos los precios**

Fuente: ODAPAS Tecámac, 2010

Así como el ahorro de agua representa reducción de costos para las familias, también representa ahorro en costos para el organismo operador de agua. De acuerdo a los datos proporcionados por el tesorero del Gobierno del Distrito, Luis Gutiérrez<sup>31</sup>, se sabe que el costo real de cada metro cubico de agua es de \$23.00, ya que se toma en cuenta el consumo eléctrico, la operación y la administración del sistema. Entonces, por la reducción en consumo de más de 164 millones de litros de agua, el sistema operador estaría ahorrando alrededor de \$3,772,000.00.

<sup>31</sup> El dato fue dado en una presentación del foro “Los desafíos de la política de acceso al agua en el D.F.”

### 4.3.3 Ahorro de electricidad

Para el cálculo de ahorro de electricidad se utilizó el trabajo “*Estudio de las casas del desarrollo urbano Los Héroes de Tecámac*” elaborado por la Facultad de Ingeniería de la UNAM. De ahí se tomaron los datos para las tablas 4.4 a 4.7. Cabe mencionar que la muestra de casas encuestadas constó de 40 casas con focos ahorradores y 15 sin focos ahorradores.

Primero que nada se definió el uso y consumo promedio de los diferentes tipos de electrodomésticos que se encuentran en una vivienda, como se muestra en la tabla 4.4

**Tabla 4.4. Consumo y uso promedio de electrodomésticos**

Electrodoméstico	Consumo [W]	Horas de uso semanal
Lavadora	400	3
Secadora	5,600	2
Televisión	250	variable
Estéreo	75	10
Secadora de pelo	1,800	35 mins
Plancha	1,200	3
Tostador	1,000	7 mins
Refrigerador chico	250	48
Refrigerador mediano	290	48
Refrigerador grande	375	48
Microondas	1,200	12 mins
Horno eléctrico	1,000	1
Parrilla eléctrica	1,200	7
Licuada	400	15 mins
Aspiradora	800	15 mins
Computadora	300	20
Lámparas incandescentes	60	21
	75	21
	100	21
Lámparas fluorescentes compactas	20	21

Fuente: Facultad de Ingeniería UNAM, 2009

Posteriormente se realizó la encuesta en la muestra de casas que arrojó los resultados que se muestran en las tablas 4.5 y 4.6.

**Tabla 4.5. Datos observados en las casas con focos ahorradores**

Promedio pago bimestral	[\$/bimestre]	Promedio consumo bimestral	[kWh/bimestre]
Por habitante	74.34	Por habitante	82.17
Por vivienda	279.35	Por vivienda	309

Consumo mínimo bimestral [kWh]	199
Consumo máximo bimestral [kWh]	418

Intervalos en [kWh/bimestre]	Viviendas con lámparas ahorradoras
0-150	0
151-300	18
301-450	22
451-600	0
601-750	0

Fuente: Facultad de Ingeniería UNAM, 2009

**Tabla 4.6. Datos observados en las casas sin focos ahorradores**

Promedio pago bimestral	[\$/bimestre]	Promedio consumo bimestral	[kWh/bimestre]
Por habitante	211.14	Por habitante	125.22
Por vivienda	825.67	Por vivienda	499

Consumo mínimo bimestral [kWh/bimestre]	393
Consumo máximo bimestral [kWh/bimestre]	607

Intervalos en [kWh/bimestral]	Viviendas sin lámparas ahorradoras
0-150	0
151-300	0
301-450	3
451-600	11
601-750	1

Fuente: Facultad de Ingeniería UNAM, 2009

Una vez teniendo los datos anteriores se hizo un análisis del ahorro tanto monetario como eléctrico que representa el tener una casa con los focos ahorradores, como se observa en la tabla 4.7.

**Tabla 4.7. Resultados calculados de ahorro monetario y de energía**

Promedio de pago [\$/bimestre]	Por habitante	Por vivienda
Viviendas con tecnologías	74.34	279.35
Viviendas sin tecnologías	211.14	825.67
Ahorro (%)	64.79%	66.17%

Estimado de consumo [kWh/bimestre]	Por habitante	Por vivienda
Viviendas con tecnologías	82.17	309
Viviendas sin tecnologías	125.22	499
Ahorro (%)	34.38%	38.11%

Fuente: Facultad de Ingeniería UNAM, 2009

De la tabla 4.7 se puede obtener un dato promedio de ahorro de \$546.32 por vivienda al bimestre y de 190 kWh por vivienda al bimestre, al comparar las viviendas con tecnologías ahorradoras y las que no las poseen. Al extrapolar dichos resultados a las 539 casas que cuentan con focos ahorradores se obtiene que el conjunto de viviendas ahorra \$1,766,799.00 por año mientras que el ahorro de electricidad es de 614,460 kWh. A continuación se presentan los cálculos para obtener los datos anteriores.

$$546.32 \frac{\$}{\text{bimestre} * \text{casa}} * 539 \text{ casas} * 6 \frac{\text{bimestres}}{\text{año}} = \$1,766,799 \text{ ahorrados al año}$$

$$190 \frac{\text{kWh}}{\text{bimestre} * \text{casa}} * 539 \text{ casas} * 6 \frac{\text{bimestres}}{\text{año}} = 614,460 \text{ kWh ahorrados al año}$$

## 4.4 Evaluación de externalidades positivas del proyecto Héroes de Tecámac

Al pretender realizar un estudio de externalidades a un cierto proyecto que no las toma en cuenta, se observaría que éste arrojaría una relación beneficio-costos menor de lo que se había calculado. Este efecto está fundamentado e incluso, según cálculos de la OCDE, la mayoría de los países desarrollados presentarían tasas de crecimiento económico menores entre un 3 y 5% al realizar la contabilización de externalidades sociales y ambientales, estas últimas en mayor medida (Verdejo, citando a Reichman).

Para el caso específico de esta tesis, se tomará en cuenta para el cálculo de externalidades el dióxido de carbono que se deja de liberar al ambiente por concepto de ahorro de agua y energía<sup>32</sup>.

Las siguientes cantidades de dinero calculadas se basan en que, al realizar un proyecto que ahorra CO<sub>2</sub>, este puede recibir Certificados de Reducción de Emisiones (CERs por sus siglas en inglés). Dichos CER's pueden ser vendidos en el mercado del carbono y su precio es variable.

### 4.4.1 Agua

De acuerdo a la tabla 4.8, el consumo de un metro cúbico de agua potable genera 14.4 kilogramos de CO<sub>2</sub>. Si se toma en cuenta el ahorro en agua de más de 164 millones de litros, esto equivale a que se dejarán de emitir más de 2,360,000 de kilogramos de CO<sub>2</sub> anuales a la atmósfera.

Sabiendo que el precio de la tonelada de CO<sub>2</sub> en el mercado de los CERs es de alrededor de 13€ (es decir 213 pesos), entonces se puede decir que se podrían obtener ganancias de alrededor de \$504,000 anuales dependiendo del precio de la tonelada de CO<sub>2</sub>.

$$164,136,010 \text{ litros anuales} * 0.001 \frac{m^3}{\text{litros}} * 14.4 \frac{kg \text{ de } CO_2}{m^3} = 2,363,559 \text{ kg de } CO_2$$

$$2,363,559 \text{ kg de } CO_2 * 0.001 \frac{\text{tonelada}}{kg} * 213 \frac{\$}{\text{tonelada}} = \$503,911 \text{ anuales}$$

<sup>32</sup> Debido al alcance de esta tesis, no se tomarán en cuenta las externalidades negativas que presentan los desarrollos de vivienda de éste tipo pero se puede considerar que tanto los que tienen hipoteca verde como los que no tienen presentan las mismas externalidades negativas por lo que se eliminan.

Tabla 4.8. Tabla de la huella de carbono por algunos productos consumidos

CONCEPTO	EQUIVALENCIA	CO2 EMITIDO (KILOGRAMOS)
ENERGÍA ELECTRICA DE LA RED	1 KWH	0.4
GASOLINA (VEHICULO UTILITARIO MEDIO)	1 litro	2.3
GASOIL (VEHÍCULO UTILITARIO MEDIO)	1 litro	2.7
FUEL OIL / GAS OIL	1 m3	2,660
GAS NATURAL	1 m3	1.7
PROPANO, BUTANO	1 kg	2.7
PAPEL	1 kg	3
PAPEL RECICLADO	1 kg	1.8
AGUA POTABLE EN VIVIENDAS Y SECTOR SERVICIOS (40 % A.C.S. Y 60 % AGUA A TEMPERATURA AMBIENTE)	1 m3	14.4
AGUA POTABLE A TEMPERATURA AMBIENTE	1 m3	4
AGUA POTABLE CALIENTE SANITARIA (A.C.S.) (65 °C )	1 m3	40

Fuente: WebAmbiental, 2010

#### 4.4.2 Electricidad

Anteriormente se había calculado que el proyecto evita que se consuman 614,460 kWh al año. Si se toma en cuenta que 1 kWh consumido representa 0.43 kg de CO<sub>2</sub>, se estarían ahorrando 18.51 kg de CO<sub>2</sub> por habitante y 81.77 kg de CO<sub>2</sub> por vivienda bimestralmente, mientras que en un año se evitaría la emisión de 264,218 kg de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Nuevamente, sabiendo el precio de la tonelada de CO<sub>2</sub>, se puede decir que se podrían obtener ganancias de alrededor de \$56,278 anuales dependiendo del precio de la tonelada de CO<sub>2</sub>.

$$614,460 \text{ kWh anuales} * 0.43 \frac{\text{kg de CO}_2}{\text{kWh}} = 264,218 \text{ kg de CO}_2$$

$$264,218 \text{ kg de CO}_2 * 0.001 \frac{\text{tonelada}}{\text{kg}} * 213 \frac{\$}{\text{tonelada}} = \$56,278 \text{ anuales}$$



### 4.4.3 Valor Presente Neto

Para poder realizar una comparación entre la inversión requerida en las casas ecológicas y el ahorro que se puede obtener a través de los años, se utiliza el Valor Presente Neto que se encarga de traer cualquier flujo de dinero en el futuro al presente, utilizando una tasa de descuento que representa un porcentaje que se podría ganar si el dinero fuera invertido en otro lado que no fuera los dispositivos ahorradores.

Para realizar dicho cálculo se requiere de la siguiente ecuación.

$$VPN = -inversion + \frac{\text{flujo de dinero año 1}}{(1 + \text{tasa de descuento})^1} + \frac{\text{flujo de dinero año 2}}{(1 + \text{tasa de descuento})^2} + \frac{\text{flujo de dinero año 3}}{(1 + \text{tasa de descuento})^3} + \dots$$

La operación se realiza hasta el año que se desea saber o hasta donde terminen los flujos de dinero. Para razones de esta tesis se tomo un período de cinco años con una tasa de descuento del 5% ya que es a lo que equivale en promedio el porcentaje de retorno que tiene invertir dinero en el banco (basado en la tasa CETES en México, redondeo en septiembre del 2010). En las tabla 4.9 se pueden observar los ahorros después de haberse realizado los cálculos, que representan casi \$20,000 por vivienda y más de \$10,500,000 por todo del conjunto habitacional.

**Tabla 4.9 Ahorros en cinco años por concepto de pago de agua y energía por vivienda y por el conjunto habitacional**

Valor Presente Neto*					
*tomando 5 años y tasa de descuento anual de 5%					
	Conjunto habitacional			Vivienda	
	agua	energía		agua	energía
<b>inversión</b>	\$ 3,963,504.16	\$ 485,100.00		\$ 7,353.44	\$ 900.00
<b>año 1</b>	\$ 1,627,336.83	\$ 1,682,665.60		\$ 3,019.18	\$ 3,121.83
<b>año 2</b>	\$ 1,549,844.60	\$ 1,602,538.67		\$ 2,875.41	\$ 2,973.17
<b>año 3</b>	\$ 1,476,042.48	\$ 1,526,227.30		\$ 2,738.48	\$ 2,831.59
<b>año 4</b>	\$ 1,405,754.74	\$ 1,453,549.81		\$ 2,608.08	\$ 2,696.75
<b>año 5</b>	\$ 1,338,814.04	\$ 1,384,333.15		\$ 2,483.89	\$ 2,568.34
<b>VPN</b>	\$ 3,434,288.54	\$ 7,164,214.53		\$ 6,371.59	\$ 13,291.68
<b>Total</b>	<b>\$ 10,598,503.07</b>			<b>\$ 19,663.27</b>	

Fuente: elaboración propia, 2010

Así mismo, si se asume que el proyecto puede ser incluido como MDL y entra al mercado del carbono a través de CERs se pueden obtener ganancias de casi dos millones de pesos suponiendo un precio estático de la tonelada de carbono (213 pesos por tonelada para fines de esta tesis) como se puede ver en la tabla 4.10.

<b>Tabla 4.10 Ganancia por concepto de CERs en cinco años</b>			
<b>Valor Presente Neto*</b>			
<b>*tomando 5 años y tasa de descuento anual de</b>			<b>5%</b>
<b>Conjunto habitacional</b>			
	<b>Venta de CERs por ahorro de agua</b>	<b>Venta de CERs por ahorro de energía</b>	
<b>Inversion*</b>	\$ -	\$ -	
<b>año 1</b>	\$ 375,079.15	\$ 53,598.47	
<b>año 2</b>	\$ 357,218.24	\$ 51,046.16	
<b>año 3</b>	\$ 340,207.85	\$ 48,615.39	
<b>año 4</b>	\$ 324,007.47	\$ 46,300.37	
<b>año 5</b>	\$ 308,578.54	\$ 44,095.59	
			<b>Total</b>
<b>VPN</b>	\$ 1,705,091.25	\$ 243,655.98	<b>\$ 1,948,747.23</b>

**\*la inversión ya fue contabilizada para los compradores de las viviendas verdes**

**Fuente: elaboración propia, 2010**

#### 4.5 Análisis del funcionamiento real de los dispositivos

Gracias a la encuesta realizada en agosto del 2009 en el conjunto habitacional de Héroes de Tecámac por un equipo de la División de Ingeniería Civil y Geomática de la UNAM se saben algunos datos que complementan el análisis realizado en este trabajo.

El agua que el conjunto habitacional recibe es de mala calidad<sup>33</sup>. De acuerdo a los habitantes encuestados a veces el agua llega con malos olores, además se detectó el deterioro en los muebles de baño e incrustaciones de minerales en los dispositivos ahorradores, imposibilitando su buen uso y causando el remplazo de éstos o simplemente su desinstalación. Se puede establecer que la calidad del agua influye mucho en que se puedan o no obtener los ahorros que se estipulan en la teoría. Debido a esta mala calidad en el agua, hay personas que afirman dejar abierta la llave durante la noche para que al día siguiente esté libre de olores, ocasionando altos desperdicios de agua y haciendo inútil la existencia de las válvulas ahorradoras.

Otro elemento que disminuye en el éxito del proyecto es que las viviendas no tienen medidores de agua, es decir que pagan una tarifa fija. Esto dificulta que se puedan analizar patrones de consumo y que se puedan determinar los ahorros reales que se están dando en las “viviendas ecológicas” con respecto a las viviendas testigo. Además, el hecho de que los habitantes no estén pagando por su consumo real hace difícil que sean conscientes de cuánto están usando de agua y no están motivados a utilizar menores cantidades para conseguir mayores ahorros ya que su tarifa no cambia.

En el sistema también se observó una presión elevada en las tuberías, lo que no permite el funcionamiento adecuado de los dispositivos ahorradores ya que tienen rangos de presión en los que trabajan de manera correcta. Esto ocasiona que algunos de los dispositivos estén proporcionando mayores caudales que los teóricos, haciendo que los ahorros de agua difieran de lo calculado.

Se llegó a la conclusión que la continuidad del programa de Hipoteca Verde es de dos años debido al mal funcionamiento de los elementos ahorradores y a la falta de información respecto a su mantenimiento y reemplazo y debido a la baja responsabilidad ambiental de los usuarios observada por medio de la encuesta.

Respecto al aspecto de la energía, los usuarios de las “viviendas ecológicas” han reemplazado los focos ahorradores por cuestiones de baja iluminación y porque se funden. De las cuarenta casas entrevistadas, en veintitrés se realizaron los reemplazos y sólo en tres de éstas se reemplazaron por otros focos ahorradores, mientras que en las demás se sustituyeron por focos incandescentes normales. Esto habla de una baja cultura ambiental y no permite una continuidad en el ahorro de energía eléctrica.

---

<sup>33</sup> El agua que recibe el desarrollo viene de un acuífero debajo del desarrollo. El organismo operador ODAPAS Tecámac tiene el control del pozo.

Al igual que en el caso del agua, no se cuenta con medidores eléctricos por vivienda así que los ahorros tuvieron que ser calculados teóricamente. Los habitantes del complejo pagan una tarifa fija de energía, evitando nuevamente que se fomente una conciencia sobre lo que realmente están consumiendo de energía y los habitantes no se ven motivados a reducir sus consumos.

A través de la encuesta no se detectó ningún problema con respecto al funcionamiento del calentador solar ya que los usuarios se mostraban satisfechos y no reportaron la existencia de percances. La encuesta arrojó que, comparando con las casas testigo, existen ahorros de gas de \$152 pesos por mes por vivienda, lo que significa un ahorro por vivienda de \$1,824.00 anual y más de \$983,000 de ahorro anual por todo el complejo.

La realización de las encuestas fue una herramienta sumamente útil para el conocimiento del funcionamiento real del programa de Hipoteca Verde en el fraccionamiento Héroes de Tecámac. Se puede observar que, a pesar de que en la teoría se identifiquen ahorros sustanciales, en la práctica se tiene el bajo desempeño del programa debido a la falta de información con respecto a las tecnologías ahorradoras utilizadas, la falta de medidores de agua y luz por vivienda y la falta de conciencia ambiental para permitir la continuidad del programa.

## 5 Conclusiones y Recomendaciones

---

“El saber ambiental es la apertura de la ciencia interdisciplinaria y sistémica hacia un diálogo de saberes”  
PNUMA

Con dicha frase emanada del Manifiesto por la Vida de la región de América Latina y el Caribe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) me gustaría rescatar la importancia del ambiente como eje rector para el desarrollo y generador de crecimiento sustentable. Es con este diálogo de saberes que se llega a prácticas acordes a las problemáticas que vive nuestro planeta, haciendo una conjunción de esfuerzos en todos los ámbitos de la sociedad.

La sustentabilidad es un concepto sencillo: cubrir las necesidades que tenemos como población sin alterar las posibilidades de las generaciones futuras de hacer lo mismo. Siguiendo este precepto se debe de crear un desarrollo que permita que tanto el medio ambiente como la sociedad y la economía tengan una sinergia. La sustentabilidad tiene entonces varias dimensiones: la tecnológica para facilitar la ayuda al ambiente; la ética para que la población se comprometa con la causa y enfoque sus esfuerzos a fomentarla; la política para proteger legalmente al ambiente por medio de políticas públicas y reglamentaciones; la científica para aumentar el conocimiento en torno a la sustentabilidad; y la legal para hacer cumplir las disposiciones concernientes al medio ambiente, entre otras. En general, la amplitud de la sustentabilidad obliga a que cada sector de la población se involucre en su seguimiento.

El sector de la construcción, debido a su alto consumo de recursos y su alta generación de emisiones, es un actor crítico para alcanzar la sustentabilidad. Por el lado de la construcción de vivienda y edificios es posible reducir el impacto que se tiene sobre el ambiente si se realizan las adecuaciones pertinentes. El reuso de materiales como el acero y aluminio, la preferencia por productos amigables con el ambiente, los diseños bioclimáticos, la generación de energía limpia, el tratamiento de agua y la aplicación de tecnologías verdes para ahorro de agua y energía pueden hacer de la construcción un fuerte aliado en el alcance de la sustentabilidad.

Se definieron los problemas que la sustentabilidad ayuda a abatir: generación de GEI, desabasto y contaminación del agua, pérdida de recursos naturales y la excesiva generación de residuos. El sector de la construcción podría reducir su participación en el consumo de energía de un 40% a un 28% si aplica el diseño sustentable. Los cambios en uso de suelo generan el 14% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en México y muchos de estos cambios de suelo son tierras ejidales que pasan a ser desarrollos de vivienda, por lo que, si dichos desarrollos de vivienda fueran sustentables, se

estaría reduciendo el efecto negativo que tienen por el cambio de uso de suelo. Por otro lado, la generación de energía representa el 61% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en México y gran parte de esa energía es utilizada en las viviendas y edificios, por lo que las prácticas sustentables podrían tener un impacto directo en la cantidad de energía que requieren las construcciones, disminuyendo así su contribución a la emisión de CO<sub>2</sub>. El sector agropecuario es el que incurre en el mayor consumo de agua en México, así que es necesario concentrar esfuerzos en hacer eficientes los procesos utilizados en el campo y el agua no consumida podría ser utilizada para otros fines, como el abastecimiento de comunidades donde se tiene escases del recurso. Tan solo el 35% del agua residual en México es tratada, representando un problema ambiental por la contaminación de ríos, lagos y costas. Los residuos en México no son manejados de una manera adecuada, los niveles de reciclaje son bajos y no se incentiva una cultura de bajo consumo, reuso y reciclaje, por lo que la generación de basura es grande y causa problemas ambientales.

El agua, la energía y los residuos deben ser gestionados de manera adecuada para conseguir la sustentabilidad. Por el lado del agua, se debe captar y aprovechar el agua pluvial, mientras que el agua residual debe ser tratada en su totalidad y reaprovechada. Se debe buscar también que toda edificación posea la mayor cantidad de áreas que permitan la recarga de los mantos acuíferos. Por el lado de la energía, se debe buscar una generación por medio de recursos renovables y limpios y se debe ahorrar lo más posible utilizando focos ahorradores y electrodomésticos de bajo consumo. Por último, se debe fomentar la separación de residuos para que puedan ser reciclados, reusados o se pueda generar energía y gas, y cambiar la cultura de la gente para generar menos residuos.

Existen varias tecnologías y diseños que pueden ser incorporados en los hogares para manejar los recursos que entran y salen de ellos. Se tienen dispositivos ahorradores que se colocan en los muebles de baño, fregaderos, llaves, etc. hoy en día hay una gran cantidad de sistemas que permiten el aprovechamiento del agua de lluvia, utilizando filtros que la limpian de impurezas. En cuanto al tratamiento de agua residual, existen los tradicionales discos biológicos, los lodos activados, los filtros percoladores, e incluso los humedales artificiales. Para el caso de la energía, existen los focos ahorradores que permiten un consumo hasta seis veces menor que los focos incandescentes. En las viviendas se puede instalar celdas fotovoltaicas y micro-generadores eólicos, permitiendo una generación de energía limpia proveniente de recursos renovables como lo son el sol y el viento. Debe diseñarse bioclimáticamente para evitar lo más que se pueda el uso de calefacción, aire acondicionado e iluminación artificial. El consumo de gas en el hogar también puede ser reducido gracias al uso de calentadores solares, que trabajan en conjunto con los calentadores normales para aumentar el aprovechamiento del sol para calentar el agua. Por el lado de los residuos, existen muebles de baño que permiten separar la orina y las heces para ser aprovechada como fertilizantes o bien, en proyectos de varias viviendas, se pueden utilizar plantas de biogás que las aprovechan junto con los bioresiduos provenientes de la cocina y jardines para generar energía. También, se debe separar la basura para poder reciclar y reusar aquello que sea apto para eso.

Para poder conseguir la sustentabilidad es necesario que existan regulaciones y códigos que guíen y sienten la pauta para la construcción. Existen muchos países que ya tienen códigos y México no se está quedando atrás. El CEV es el documento de referencia para que los constructores mexicanos puedan empezar a incluir la sustentabilidad en sus proyectos. En el código se habla del ahorro de energía, de energías renovables, del diseño bioclimático, del agua potable, del agua residual y de recarga de acuíferos. En el aspecto de energías renovables, se introduce el concepto de derecho al sol y viento para garantizar el funcionamiento de los elementos generadores de energía limpia (celdas fotovoltaicas y generadores eólicos). El CEV necesita también regular el área de los residuos ya que todavía no han sido incluidos en él, así como brindar ejemplos de diseños.

El ciclo de vida, así como la huella de carbono, la hídrica y la ecológica deben ser tomados en cuenta en el proceso constructivo de una vivienda y en el momento de escoger materiales para su edificación. El análisis del ciclo de vida es importante porque permite saber la cantidad de recursos que se gastan y la contaminación que se produce en el proceso de construcción, utilización y desmantelamiento de un edificio y existen programas que permiten hacer dicho análisis como el Simapro. En México se desarrolla la base de datos MEXICANIUH que podrá ser consultada para obtener los ciclos de vida de muchos materiales en el país. En la elaboración de un producto o la prestación de un servicio la huella hídrica permite saber la cantidad de agua utilizada, mientras que la huella de carbono indica la cantidad de gases GEI que se emiten al ambiente brindando un conocimiento significativo al consumidor sobre cómo afecta al ambiente el uso de determinado producto o servicio. La huella ecológica indica cuántas hectáreas de área productiva se requieren para satisfacer las necesidades de un individuo, vivienda o país. Una recomendación sería que, así como existen las tablas nutricionales para los alimentos, se mostrara en el empaque de un producto su huella de carbono, hídrica y ecológica o que los proveedores tuvieran que incluir siempre en sus descripciones estas huellas. Así, el comprador tendría la opción de elegir aquellos productos, materiales y servicios que tengan un impacto menor en el ambiente, favoreciendo a las empresas ambientalmente responsables y fomentando que otras empresas busquen prácticas más favorables para el ambiente para que sus productos sean consumidos.

La ciudad sustentable es el resultado de un enfoque a la gestión de recursos de manera integral. Su funcionamiento depende de que posea la infraestructura adecuada para el manejo de agua, energía y residuos, así como de traslados humanos y de mercancías. Las ciudades sustentables poseen más áreas verdes, más eficiencia en el transporte público, una mayor cantidad de tecnologías limpias para la generación de energía, un tratamiento total del agua, así como redes de agua pluvial y agua tratada para su aprovechamiento por varios sectores de la población. Ya existen casos de ciudades con resultados exitosos en la implementación de la sustentabilidad como Malmö y Curitiba, se debe de analizar dichos casos de éxito para encontrar las similitudes con nuestras condiciones y ver de qué manera podemos aprovechar los elementos que esas ciudades utilizaron y como aplicarlas tomando en cuenta nuestras diferencias de cultura, tecnología y recursos. La equivalente por el lado rural es la denominada comunidad sustentable y es aquella que posee un desarrollo económico que va de la mano con la buena administración de

los recursos naturales y productivos que posee. En México se tiene iniciativa para comenzar a crear diversas comunidades sustentables que eviten la dispersión social y permitan un crecimiento económico dentro de las posibilidades biofísicas de su entorno. Se debe de investigar más a fondo el funcionamiento de dichos polos sociales y darles seguimiento para observar los resultados que brindan y hacer lo posible por que sigan funcionando con el paso del tiempo y de los cambios de gobierno.

Las externalidades ambientales son impactos que se tienen sobre un cierto grupo por la realización de una actividad de otro grupo sin que el primero lo haya permitido o esté consciente de ellos y por lo tanto dichos impactos no son cuantificados.

Es necesario comprender que el crecimiento actual de muchos países es sólo aparente. Como se mencionaba en diversos informes como el Stern o Galindo, si se tomaran en cuenta las externalidades ambientales y sociales, las tasas de crecimiento económico disminuirían entre un 3 y 5% lo que implicaría que en realidad se está teniendo un decrecimiento general debido a la sobreexplotación de recursos y pérdida de patrimonio natural. Es por eso que el papel de las externalidades es primordial para inclinar la balanza a favor de la sustentabilidad a la hora de analizar la ejecución de un proyecto porque hace que el análisis costo-beneficio de un proyecto sustentable brinde mayores rendimientos que un proyecto tradicional.

Se debe concientizar a la gente de que la prevención es mejor que la corrección. Sin embargo, en la cultura mexicana existe una tendencia contraria que se refleja incluso en el uso del dicho popular: “ahogado el niño, se tapa el pozo”. Para lograr esta prevención es necesario que todo proyecto incluya por norma además de estudios de impacto ambiental, estudios de factibilidad ambiental, posibles tecnologías a utilizar, análisis de externalidades ambientales y, en proyectos de alta envergadura, viabilidad de posicionar el proyecto como MDL para generar recursos económicos.

Hoy en día se estudian ampliamente las diversas maneras de cuantificar las externalidades y se ha intentado realizar una internalización de las mismas. Así es como surgieron los pagos por servicios ambientales, que significa que a un grupo de personas se les paga por conservar un recurso como los bosques. La creación del mercado de carbono también es una consecuencia de la búsqueda de internalizar las externalidades, pues se le pone un precio la contaminación por GEI y se fomentan proyectos que reducen las emisiones de carbono, los MDL.

Existe todavía un gran campo de oportunidad de incluir los proyectos de vivienda sustentable en proyectos de MDL para obtener remuneraciones en el mercado del carbono. Desarrollando proyectos susceptibles de generar CERs se puede crear un fondo ambiental donde los recursos por la venta de bonos de carbono vaya a dicho fondo y éste sirva para el financiamiento de nuevos proyectos también capaces de generar CERs y así el monto del fondo pueda irse incrementando mientras que se fomenta el desarrollo sustentable, estableciéndose así un círculo virtuoso donde, entre más sustentable se vuelve la ciudad, más recursos se obtendrán para dicho propósito. Como ejemplo, en ciudades como la de México, se puede utilizar dicho fondo para el micro



financiamiento de sistemas de captación y uso de agua pluvial a nivel individual de cada edificación. De este modo se puede realizar la infraestructura necesaria para dicho sistema sin que recaiga el peso completo de ésta sobre el gobierno o alguna institución como CONAGUA o el SACM.

Al hacer cálculos por el uso de tecnologías simples, como lo son los dispositivos ahorradores de agua y energía, se arrojan resultados de ahorros de alrededor de \$20,000 pesos en tan sólo cinco años, mientras que la inversión requerida es recuperada en tres años en el caso de ahorro de energía y en menos de un año en el caso de ahorro de agua. Sin embargo, hay que tener cuidado al pasar de la teoría a la práctica y tomar en cuenta la cultura, usos y costumbres de la sociedad al pensar en ahorro de agua y energía. Las disposiciones que se tomen deben ser personalizadas a la medida de la población en la que se piensa y se debe de intentar cubrir de manera adecuada sus necesidades para que realmente ocurra un ahorro de recursos.

El éxito que puede tener el uso de ecotecnologías se ve mermado por la nula medición del agua en el fraccionamiento héroes de Tecámac, por lo que los residentes no tienen incentivo al ahorro ya que pagan cuotas fijas, por lo que no les importa dejar abierta la llave toda la noche para que por la mañana salga sin olor ni color. Si dicho factor es consistente en la mayor parte de los desarrollos de vivienda de este tipo entonces habría que repensar si realmente se está ayudando al ambiente al utilizar sólo las hipotecas verdes. Es por ellos que los reglamentos de construcción deberían exigir que toda vivienda en los desarrollos posea medidores de agua y electricidad, ya que así, en el caso de las “viviendas ecológicas” se podría llevar un control en el tiempo de los ahorros verdaderos que se dan en las casas y en el caso de las viviendas tradicionales se conocería realmente cuanto se utiliza de agua y energía y los mismos residentes buscarían reducir sus consumos para no pagar más.

Se observó que en fraccionamiento Héroes de Tecámac no se están teniendo los resultados esperados debido a la calidad del agua y la alta presión de la red de abastecimiento. Es posible mejorar la calidad del agua para que se logren los beneficios esperados por su ahorro. Se pueden comprar equipos que usan ondas sonoras para alterar las moléculas de calcio y evitar su adherencia a las tuberías (puede ser uno grande para todo el complejo, o uno pequeño para cada casa) y esto no sólo aplica para dicho fraccionamiento, sino también para el caso de cualquier zona con agua dura. También se puede instalar una válvula reductora de presión para que los dispositivos ahorradores trabajen de manera óptima y brinden los beneficios esperados.

Se determinó en el análisis de la Facultad de Ingeniería para el fraccionamiento Héroes de Tecámac que el propósito de esas “casas ecológicas” solo brindarían ahorros por dos años en promedio, debido a que no hay un seguimiento del programa y a que los dispositivos no tienen un mantenimiento adecuado o son remplazados. Esto representa una amenaza a los esfuerzos por hacer más ecológicas a las casas. Es ahí donde el INFONAVIT puede convertirse en un gran aliado en el alcance de la sustentabilidad en México, debido a su capacidad de convocatoria y a que representa un importante actor en el mercado de los desarrollos de vivienda.

Ya que no se puede obligar a los desarrolladores a asegurar que las tecnologías y dispositivos ahorradores van a seguir siendo utilizados a lo largo del tiempo, se debe de instruir a los residentes de una vivienda con tecnologías verdes para que ellos se involucren y aprendan sobre lo que tienen dentro de su hogar. Aunado a la instrucción de los residentes, el INFONAVIT puede incentivar a la gente a que mantenga el buen estado y funcionamiento de las tecnologías en su hogar a través de descuentos en pagos, tasas de interés más bajas o deducciones de mensualidades (como ya lo hace con los deudores cumplidos) para garantizar la continuidad de los beneficios ambientales.

El programa Hipoteca Verde incentiva la producción de tecnologías ambientalmente amigables pues el INFONAVIT requiere de proveedores que las surtan y, al haber un amplio nuevo mercado, surgen cada vez más, nuevos proveedores que identifican el área de la vivienda sustentable como una posibilidad para crecer económicamente. Sin embargo, el INFONAVIT debe de regular mejor los desarrollos que califican para el programa de Hipoteca Verde para asegurar que los desarrolladores brinden una calidad que perdure en el tiempo. Además, esta institución debe de aprovechar su posición de poder para normar y obligar a que todos los desarrolladores que busquen que sus complejos sean susceptibles de crédito INFONAVIT cuenten con estándares de calidad y sustentabilidad. Por ejemplo, el INFONAVIT podría especificar como requisito para la construcción de desarrollos de vivienda que el desarrollador incluya una planta de tratamiento, un área mínima para recarga de mantos acuíferos, un área para manejo de residuos, un porcentaje mínimo de generación de energía limpia y un sistema de captación y aprovechamiento de agua pluvial para todo el conjunto. Esto llevaría a los desarrolladores a tener que pensar de qué manera van a conseguir tener todas estas áreas sin sacrificar ganancias por las viviendas que quieren vender y los haría buscar tener una mayor eficiencia en el aprovechamiento de su espacio, así como buscar tecnologías que les permitan conseguirlo fomentando el crecimiento de las tecnologías verdes, aumentando la demanda y por ende haciendo que los precios se vuelvan más accesibles. Por ejemplo, un desarrollador que necesita un área mínima de recarga decide probar un concreto permeable en banquetas y vialidades que permite la infiltración del agua (reduciendo también el escurrimiento superficial y por lo tanto evitando que se sature el sistema de drenaje), de este modo, incentiva el uso de este nuevo material, cumple con la norma y gana espacio para otros elementos dentro de su predio. Si bien las inversiones serían elevadas, un desarrollo de vivienda con todas estas características sería un generador de CERs y de altos ahorros en energía, gas y agua. Incluso podrían generar ingresos por venta de la energía excedente si se cuenta con el servicio.

Los desarrollos de vivienda poseen un gran potencial para ser “laboratorios de sustentabilidad”, es decir que en ellos se pueden aplicar métodos y tecnologías para observar su desempeño al mismo tiempo que se brindan beneficios al ambiente. Haciendo una mayor inversión en las tecnologías que los desarrolladores incluyen en sus viviendas, será posible obtener retribuciones más grandes, de manera monetaria y al mismo tiempo el alcance que se tendrá en el cuidado del ambiente será mayor. Los desarrollos de vivienda pueden ser el lugar donde se implemente la captación de agua pluvial en todas las viviendas, donde se utilicen nuevas tecnologías, donde se trate la totalidad del

agua residual del conjunto, donde se tenga una generación eléctrica por celdas fotovoltaicas, microgeneradores eólicos y por el biogás resultante de los desechos orgánicos del conjunto, donde se dé un manejo integral de los residuos y se fomente el reuso y el reciclaje.

Extrapolando la sustentabilidad en un desarrollo habitacional se puede llegar a un barrio/colonia sustentable donde, además de estar incluidos los elementos mencionados en el párrafo anterior, también se cuente como áreas para el esparcimiento, ciclovías, mercados, áreas comerciales que satisfagan las necesidades de los residentes de dicho desarrollo de vivienda. Se generaría un espacio urbano autosuficiente, que minimizaría los traslados y aumentaría la calidad de vida de sus residentes, fomentando un micro desarrollo económico y social más comprometido con su entorno.

El tema de la sustentabilidad tiene hoy más que nunca una importancia que debe ser atendida rápidamente. México, debido a su gran biodiversidad y riqueza natural, debe de ser cuidadoso de sus recursos y preservarlos para poder tener un crecimiento social y económico constante y equitativo. El acercamiento que se le debe de dar al tema no es un trabajo aislado de cierto sector de la población. Para que el cambio se dé, es necesaria la participación entre diversos profesionistas, principalmente ingenieros, arquitectos y políticos y toda la sociedad. Por un lado los ingenieros y arquitectos deben de tener claros los métodos y técnicas para la creación de espacios sustentables, mientras que los políticos deben favorecer programas y políticas públicas que permitan y aceleren el desarrollo sustentable, al tiempo que la población debe de adoptar dichas medidas y tener conciencia de su ambiente y una cultura de ahorro y respeto hacia las cuestiones ambientales. Sin el trabajo conjunto, el desarrollo sustentable es como una máquina a la que falta un engrane, y dicho engrane evita que se ponga en marcha el mecanismo complejo que la sustentabilidad representa. Se debe fomentar la participación ciudadana en temas ambientales, se debe de instruir a todos los niveles de la población, sobre todo a los niños que son los más receptivos a cambiar sus costumbres y a indicar cuando alguien no respeta algo. Así mismo, se debe de tener un sistema legal sano para que las normas referentes a la sustentabilidad sean seguidas y debe de existir un control de calidad por organismos calificados para corroborar que los procesos así como las disposiciones tomadas realmente protejan al ambiente.

Me parece importante mencionar que la sustentabilidad encuentra obstáculos en su desarrollo, como lo indica Enrique Provencio en su libro “Una visión global sobre el desarrollo sustentable”. Dichos problemas a los que el alude son los siguientes:

- Percepciones sociales y culturales que retrasan la adopción de criterios de sustentabilidad.
- Marco de valores y consensos.
- Grupos de interés e intereses hegemónicos.
- Solución de los conflictos sociales en la adopción de decisiones.
- Dificultades conceptuales: como criterios clave.
- Información.
- Modelos.
- Patrones tecnológicos productivos y de consumo.

- Dificultades para la adopción.
- Inadecuación institucional.
- Legislación limitada.
- Organización atomizada.
- Instrumentos limitados.

Invito al lector a reflexionar sobre dichos problemas y observar la naturaleza y origen de éstos. La mayor parte de ellos se pueden resolver con un cambio en la visión que se ha llevado desde siempre, donde la economía llevaba la pauta de los caminos que se deben tomar pensando sólo en la remuneración máxima, mas no en el beneficio máximo.

Me gustaría dejarlos con algo en qué pensar. Los problemas ambientales que tiene México son reflejo de su población. La única forma en que se puede seguir el camino de la sustentabilidad es empezando por uno mismo, sin esperar a que nos obliguen a hacerlo o peor, que lo hagan por nosotros. ¿Cuántas veces dejamos correr el agua en la regadera mientras nos enjabonamos? ¿Cuántos productos consumimos que realmente no son necesarios para nuestra vida cotidiana? ¿Cuántos recursos desperdiciamos, ya sea comida, papel u otros materiales? ¿Cuántas veces dejamos encendidos aparatos o focos que no estamos utilizando? Los exhorto a hacer un análisis propio de las externalidades ambientales que nosotros mismos estamos generando a nivel individual. Sólo teniendo claras estas ideas será posible actuar para generar los cambios necesarios en las problemáticas que involucran a comunidades, ciudades o países enteros. Debemos de estar conscientes de que la sustentabilidad no depende sólo de tecnologías y medidas preventivas sino de todo un cambio de enfoque y paradigmas en nuestro modo de vida y reconocer que dichos cambios no representan un ataque a las comodidades con las que vivimos hoy en día. La sustentabilidad no está peleada con el confort ni con el crecimiento económico. La sustentabilidad depende de todos y cada uno de nosotros.

“No se puede esperar cambiar a la sociedad  
si uno mismo no ha cambiado”  
Nelson Mandela

## Referencias

### Libros y publicaciones

- Azqueta Oyarzun, Diego (1994). **Valoración económica de la calidad ambiental**. España: McGraw Gill
- Durán, Gloria (2009). **Vivienda Sustentable: Un caso de estudio**. FI UNAM: Trabajo Terminal
- Edwards, Brian (2004). **Guía básica de la sostenibilidad**. España: Editorial Gustavo Gili, SA
- Galindo, Luis (2009). **La Economía del Cambio Climático**. México: Secretaria de Hacienda y Crédito Público.
- Gaya, Catalina (). **Malmö: Laboratorio Limpio**. España: Revista Quo
- Hernández, Enrique (1996). **Los costos ambientales en México: Magnitud reciente (1988-1996) y prospectiva (2010)**. México: UAM
- Hoekstra y Chapagain (2006). **Water footprints of nations: Water used by people as a function of their consumption pattern**. EUA: Springer Science and Business Media B.V.
- INE Instituto Nacional de Ecología (2000). **La evaluación del Impacto Ambiental**. México: SEMARNAP.
- Pearce, David W. (1976). **Economía Ambiental**. México: Fondo de Cultura económica
- Secretaria de Medio Ambiente del Estado de México y GTZ (2009). **Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos**. México: Sakbe Comunicación Ambiental
- SEDESOL (1992). **Los Instrumentos Económicos aplicados a la protección del ambiente**. México: Sedesol
- SEMARNAT e INE (Wittmer, Hartmann y Petersen, ) (2006). Compilación: **El manejo de los recursos de uso común: Pago por servicios ambientales**. Mexico: SEMARNAT, INE, CSMSS, Ford Foundation, The Christensen Fund

### Reportes

- División de Ingeniería Civil y Geomática, UNAM (2009). **Externalidades ambientales del proyecto Hipoteca Verde de INFONAVIT (Ahorro de agua)**. México: UNAM (inédito)
- Facultad de Ingeniería, UNAM (2009). **Estudio de las casas del desarrollo urbano Los Héroes de Tecámac (Ahorro de energía)**. México: UNAM (inédito)

### Publicaciones electrónicas

- Aversano y Temperini (2006). **El calentamiento global: Bonos de carbono, una alternativa**. [electrónico] [http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/bonos\\_de\\_carbono](http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/bonos_de_carbono) [recuperado de la Word Wide Web el 22 de septiembre del 2009]
- Badii y Abreu (2006). **Sustentabilidad**. Daena: International Journal of Good Conscience [electrónico] [http://www.spentamexico.org/revista/volumen1/1\(1\)%2021-36\\_2006.pdf](http://www.spentamexico.org/revista/volumen1/1(1)%2021-36_2006.pdf) [recuperado de la Word Wide Web el 12 de octubre del 2009]
- Brundtland Comission (1987). **Our common future**. [electrónico] <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm#I> [recuperado de la Word Wide Web el 12 de octubre del 2009]
- CONAFOVI (2005). **Código de edificación de vivienda**. México: CONAFOVI [http://www.conavi.gob.mx/publicaciones/codigo\\_ev.pdf](http://www.conavi.gob.mx/publicaciones/codigo_ev.pdf) [recuperado de la Word Wide Web el 16 de octubre del 2009]

- CONAFOVI (2008). **Criterios e indicadores para desarrollos habitacionales sustentables.** [electrónico] [http://www.conafovi.gob.mx/publicaciones/cuad\\_criterios\\_web.pdf](http://www.conafovi.gob.mx/publicaciones/cuad_criterios_web.pdf) [recuperado de la Word Wide Web el 19 de octubre del 2009]
- Delacámara. **Guía para decisores: análisis económico de externalidades ambientales.** Naciones Unidas en Chile: CEPAL [electrónico] <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/7/33787/LCW-200.pdf> [recuperado de la Word Wide Web el 25 de octubre del 2009]
- Departamento de Comunidades y gobiernos locales (2006). **Code for sustainable homes.** Reino Unido: Crown. [electrónico] [http://www.planningportal.gov.uk/uploads/code\\_for\\_sust\\_homes.pdf](http://www.planningportal.gov.uk/uploads/code_for_sust_homes.pdf) [recuperado el 4 de noviembre del 2009]
- INEGI (2006). **Estadísticas a propósito del día mundial del agua: datos nacionales.** [electrónico] <http://www.inegi.gob.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Contenidos/estadisticas/2006/agua2006.pdf> [recuperado de la Word Wide Web el 16 de octubre del 2009]
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). **Climate Change 2007: Synthesis Report , Summary for Policymakers.** [electrónico] [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_spm.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf) [recuperado de la Word Wide Web el 1 de octubre del 2009]
- ONU (1992). **Rio Declaration on Environment and Development.** [electrónico] <http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm> [recuperado de la Word Wide Web el 12 de octubre del 2009]
- Plan Nacional de Desarrollo (2007). **Residuos Sólidos y Peligrosos.** [electrónico] <http://pnd.calderon.presidencia.gob.mx/sustentabilidad-ambiental/residuos-solidos-y-peligrosos.html> [recuperado de la Word Wide Web el 1 de octubre del 2009]
- PNUMA (2002). **Manifiesto por la vida.** [electrónico] <http://www.pnuma.org/educamb/documentos/Manifiesto.pdf> [recuperado de la Word Wide Web el 12 de octubre del 2009]
- SEMARNAT (2007). **México en el régimen internacional de cambio climático.** [electrónico] [http://www.semarnat.gob.mx/queessearnat/politica\\_ambiental/cambioclimatico/Documents/enac/reporte%20anual/071207%20Reporte\\_acc.cc.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/queessearnat/politica_ambiental/cambioclimatico/Documents/enac/reporte%20anual/071207%20Reporte_acc.cc.pdf) [recuperado de la Word Wide Web el 14 de octubre del 2009]
- Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental, SEMARNAT (2009). **Mecanismo para un desarrollo limpio.** [electrónico] [http://www.semarnat.gob.mx/queessearnat/politica\\_ambiental/cambioclimatico/Pages/mdl.aspx](http://www.semarnat.gob.mx/queessearnat/politica_ambiental/cambioclimatico/Pages/mdl.aspx) [recuperado de la Word Wide Web el 14 de octubre del 2009]

#### Páginas web

- Ademar International (2007). **Linea de ahorradores.** [electrónico] [http://www.ademarinternational.com/ademar/index.php?option=com\\_content&task=view&id=41&Itemid=53](http://www.ademarinternational.com/ademar/index.php?option=com_content&task=view&id=41&Itemid=53) [recuperado de la Word Wide el 13 de septiembre de 2009]
- CONUEE y Arce, Raúl (2009). **Aparatos y espacios que consumen más energía.** [electrónico] [http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/espacio\\_aparatos](http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/espacio_aparatos) [recuperado de la Word Wide Web el 19 de octubre del 2009]
- ERA Ingeniería (2009). **Energía solar, conexión a red.** [electrónico] [http://www.eraingenieria.com/portal/lang\\_\\_es-ES/tabid\\_\\_7108/default.aspx](http://www.eraingenieria.com/portal/lang__es-ES/tabid__7108/default.aspx) [recuperado el 4 de noviembre del 2009]
- GreenFacts (2009). **Natural Capital.** [electrónico] <http://www.greenfacts.org/glossary/mno/natural-capital-asset.htm> [recuperado de la Word Wide Web el 13 de octubre del 2009]

- Lemonick, Michael (2009). **Top 10 myths about sustainability**. Revista Scientific American Earth 3.0. [electrónico] <http://www.masr.com.mx/los-10-mitos-de-la-sustentabilidad/> [recuperado de la Word Wide Web el 30 de agosto del 2009]
- Masdar (2009). **Welcome to Masdar**. [electrónico] <http://www.masdar.ae/en/home/index.aspx> [recuperado de la Word Wide Web el 13 de octubre del 2009]
- Odapas(2010). **Tarifas de agua**. [electrónico] [http://www.odapastecamac.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=11&Itemid=40](http://www.odapastecamac.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=11&Itemid=40) [recuperado de la Word Wide Web el 23 de agosto de 2010]
- Restrepo, Juan. **Curitiba**. [electrónico] [http://www.buenanota.org/web2/index.php?option=com\\_content&view=article&id=383:urbanismo-sostenible-curitiba-&catid=40:mundo&Itemid=57](http://www.buenanota.org/web2/index.php?option=com_content&view=article&id=383:urbanismo-sostenible-curitiba-&catid=40:mundo&Itemid=57) [recuperado de la Word Wide Web el 13 de octubre del 2009]
- Sheinbaum, Diana. **¿Qué es la sustentabilidad?** [electrónico] [http://sepiensa.org.mx/contenidos/2007/l\\_susten/susten1.html](http://sepiensa.org.mx/contenidos/2007/l_susten/susten1.html) [recuperado de la Word Wide Web el 4 de octubre del 2009]
- Universidad de Cornell (2006). **Cornell Sustainable Campus**. [electrónico] <http://www.sustainablecampus.cornell.edu/csi.cfm> [recuperado de la Word Wide Web el 13 de octubre del 2009]
- Vanguardia México (2005). **Produce la humanidad 2 mil millones de toneladas de basura cada año**. [electrónico] <http://www.eco2site.com/news/Nov-05/tone-basu.asp> [recuperado de la Word Wide Web el 19 de octubre del 2009]
- Villegas, Arturo (2009). **El sector construcción debe cambiar para alcanzar los objetivos globales de energía**. [electrónico] [http://www.circuloverde.com.mx/artman2/publish/lo\\_relevante/El\\_sector\\_construccion\\_debe\\_cambiar.shtml](http://www.circuloverde.com.mx/artman2/publish/lo_relevante/El_sector_construccion_debe_cambiar.shtml) [recuperado de la Word Wide Web el 18 de octubre del 2009]

#### Conferencias y ponencias

- Cabral, Roberto (2009). Ponencia **“Economía verde en México”** para el XVII Congreso del Medio Ambiente (del 29 de septiembre al 1 de octubre, 2009).
- CONAVI (2009). **Foro internacional: “Códigos de edificación para un desarrollo habitacional sustentable” presentación sobre Incentivos para los desarrollos urbanos habitacionales sustentables “DUIS”**. [electronico] [http://www.conavi.gob.mx/foro\\_intnal\\_codigos/Incentivos%20para%20Desarrollos-Paloma%20Silva.pdf](http://www.conavi.gob.mx/foro_intnal_codigos/Incentivos%20para%20Desarrollos-Paloma%20Silva.pdf) [recuperado de la Word Wide Web el 16 de octubre del 2009]
- Laboratorio de Urbanismo de la UNAM. **II Coloquio de Diseño Sustentable**. UNAM. México, D.F. (del 5 al 7 de Octubre, 2009).
- Presentaciones en foros de desarrollo y medio ambiente (Verdejo, González, Provencio, et al.) (1999- 2001). Compilación: **Economía, sociedad y medio ambiente**. México: SEMARNAT.
- PUEC (2010). **Foro: Los desafíos de la política de acceso al agua en el D.F.** UNAM, México D.F. (8 de octubre, 2010).

## Anexo A Esquemas de tratamiento y reuso del agua

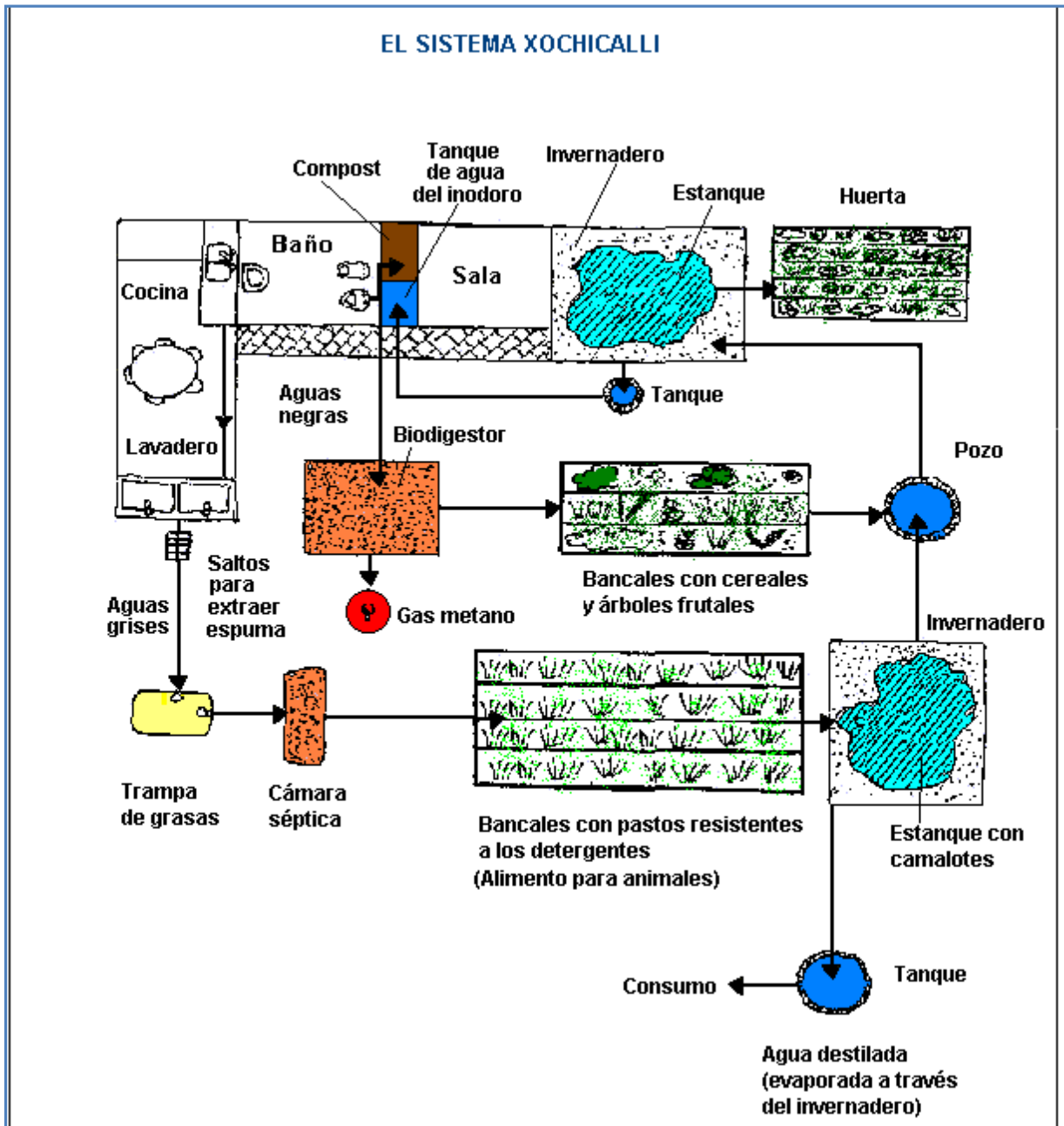


Figura A 3 Esquema de tratamiento de aguas en la casa "Xochicalli"

En este esquema se pueden apreciar tácticas para manejo de agua y creación de energía. El sistema utiliza un biodigestor que se encarga de generar y aprovechar gas metano mientras que el desecho es utilizado como fertilizante para una huerta familiar. Por el lado del agua, el agua negra pasa por el biodigestor y terrazas de siembra para después colectarse en un estanque donde se evapora y el agua obtenida se utiliza para el riego mientras que el agua gris atraviesa una trampa de grasa y posteriormente un humedal artificial y finalmente llega a un estanque donde se realiza acuicultura y se hace posible la reincorporación del agua al ambiente sin causar perjuicios a éste.



## Proyecto del humedal de Cucuchucho



Figura A 4 Esquema del humedal de Cucuchucho

En Michoacán, en el pueblo de Cucuchucho se realizó la obra de un humedal artificial cuyo esquema se puede ver en la figura A 2. El sistema consiste en un pretratamiento con un sedimentador, después el agua pasa por un humedal de lodos donde crecen carrizos, posteriormente por un humedal de tratamiento donde crecen chuspatas y tules, a continuación por una laguna de maduración para consecutivamente pasar por un humedal de pulimento y finalmente un estanque de peces.

## Anexo B Huellas de carbono, hídrica y ecológica

Tabla B.1	Huella hídrica promedio de productos seleccionados de ciertos países (m3/ton)											
	EUA	China	India	Rusia	Indonesia	Australia	Brasil	Japón	México	Italia	Holanda	Promedio mundial*
Arrozal	1275	1321	2850	2401	2150	1022	3082	1221	2182	1679		2291
Salvado de arroz	1656	1718	3702	3118	2793	1327	4003	1586	2834	2180		2975
Arroz	1903	1972	4254	3584	3209	1525	4600	1822	3257	2506		3419
Trigo	849	690	1654	2375		1588	1616	734	1066	2421	619	1334
Maiz	489	801	1937	1397	1285	744	1180	1493	1744	530	408	909
frijoles de soya	1869	2617	4124	3933	2030	2106	1076	2326	3177	1506		1789
Caña de azúcar	103	117	159		164	141	155	120	171			175
Semilla de algodón	2535	1419	8264		4453	1887	2777		2127			3644
Algodón	5733	3210	18694		10072	4268	6281		4812			8242
Barley	702	848	1966	2359		1425	1373	697	2120	1822	718	1388
Sorgo	782	863	4053	2382		1081	1609		1212	582		2853
Coco		749	2255		2071		1590		1954			2545
Millet	2143	1863	3269	2892		1951		3100	4534			4596
Café (verde)	4864	6290	12180		17665		13972		28119			17373
Café (tostado)	5790	7488	14500		21030		16633		33475			20682
Té		11110	7002	3002	9474		6592	4940				9205
Carne de res	13193	12560	16482	21028	14818	17112	16961	11019	37762	21167	11681	15497
Carne de puerco	3946	2211	4397	6947	3938	5909	4818	4962	6559	6377	3790	4856
Carne de cabra	3082	3994	5187	5290	4543	3839	4175	2560	10252	4180	2791	4043
Carne de oveja	5977	5202	6692	7621	5956	6947	6267	3571	16878	7572	5298	6143
Carne de pollo	2389	3652	7736	5763	5549	2914	3913	2977	5013	2198	2222	3918
Huevos	1510	3550	7531	4919	5400	1844	3337	1884	4277	1389	1404	3340
Leche	695	1000	1369	1345	1143	915	1001	812	2382	861	641	990
Leche en polvo	3234	4648	6368	6253	5317	4255	4654	3774	11077	4005	2982	4602
Queso	3457	4963	6793	6671	5675	4544	4969	4032	11805	4278	3190	4914
Piel (bovina)	14190	13513	17710	22575	15929	18384	18222	11864	40482	22724	12572	16656

\*Para las cosechas, los promedios mundiales se calcularon como la relación entre el total mundial de uso de agua para la producción de una cosecha y el volumen de producción mundial. Para los productos procesados, el promedio mundial fue calculado como la relación entre el volumen de intercambio de huella hídrica y el volumen de intercambio global de un producto.

Fuente: Hoekstra, *Water footprint of nations*

**Tabla B.2 Composición de la huella hídrica de países selectos para el periodo 1997-2001 # (Gm3/año)**

País	Población	Uso doméstico de recursos hídricos					Uso foráneo de recursos hídricos			
		Consumo doméstico de agua #	Evapotranspiración*		Consumo industrial		Para consumo nacional		Para re-exportación de bienes importados #	
			Para consumo nacional #	Para exportación #	Para consumo nacional #	Para exportación #	Productos agrícolas #	Productos industriales #		
Alemania	82,169,250	5.45	35.64	18.84	18.771	13.15	49.59	17.5	38.48	
Australia	19,071,705	6.51	14.03	68.67	1.229	0.12	0.78	4.02	4.21	
Bangladesh	129,942,975	2.12	109.98	1.38	0.344	0.08	3.71	0.34	0.13	
Brasil	169,109,675	11.76	195.29	61.01	8.666	1.63	14.76	3.11	5.2	
Canadá	30,649,675	8.55	30.22	52.34	11.211	20.36	7.74	5.07	22.62	
China	1,257,521,250	33.32	711.1	21.55	81.531	45.73	49.99	7.45	5.69	
Egipto	63,375,735	4.16	45.78	1.55	6.423	0.66	12.49	0.64	0.49	
EUA	280,343,325	60.8	334.24	138.96	470.77	44.72	74.91	55.29	45.62	
Francia	58,775,400	6.16	47.84	34.63	15.094	12.8	30.4	10.69	31.07	
Holanda	15,865,250	0.44	0.5	2.51	2.562	2.2	9.3	6.61	52.84	
India	1,007,369,125	38.62	913.7	35.29	19.065	6.04	13.75	2.24	1.24	
Indonesia	204,920,450	5.67	236.22	22.62	0.404	0.06	26.09	1.58	2.74	
Italia	57,718,000	7.97	47.82	12.35	10.133	5.6	59.97	8.69	20.29	
Japón	126,741,225	17.2	20.97	0.4	13.702	2.1	77.84	16.38	4.01	
Jordania	4,813,708	0.21	1.45	0.07	0.035	0	4.37	0.21	0.22	
México	97,291,745	13.55	81.48	12.26	2.998	1.13	35.09	7.05	7.94	
Paquistán	136,475,525	2.88	152.75	7.57	1.706	1.28	8.55	0.33	0.67	
Reino Unido	58,669,403	2.21	12.79	3.38	6.673	1.46	34.73	16.67	12.83	
Rusia	145,878,750	14.34	201.26	8.96	13.251	34.83	41.33	0.8	3.94	
Sudáfrica	42,387,403	2.43	27.32	6.05	1.123	0.4	7.18	1.42	2.1	
Tailandia	604,487,800	1.83	120.17	38.49	1.239	0.55	8.73	2.49	3.9	
<b>Promedio/total mundial</b>	5,994,251,631	344	5434	957	476	240	957	240	427	

\*Incluye el uso agrícola de agua azul y verde

Fuente: Hoekstra, Water footprint of nations

**Tabla B.3 (Continuación) Composición de la huella hídrica de países selectos para el periodo 1997-2001 # (Gm3/año) ## (m3/hab/año)**

País	Huella hídrica		Huella hídrica doméstica interna ##	Huella hídrica por categoría de consumo			
	Total #	Per cápita ##		Bienes agrícolas		Bienes industriales	
				Huella hídrica interna ##	Huella hídrica externa ##	Huella hídrica interna ##	Huella hídrica externa ##
<b>Alemania</b>	126.95	1545	66	434	604	228	213
<b>Australia</b>	26.56	1393	341	736	41	64	211
<b>Bangladesh</b>	116.49	896	16	846	29	3	3
<b>Brasil</b>	233.59	1381	70	1155	87	51	18
<b>Canadá</b>	62.8	2049	279	986	252	366	166
<b>China</b>	883.39	702	26	565	40	65	6
<b>Egipto</b>	69.5	1097	66	722	197	101	10
<b>EUA</b>	696.01	2483	217	1192	267	609	197
<b>Francia</b>	110.19	1875	105	814	517	257	182
<b>Holanda</b>	19.4	1223	28	31	586	161	417
<b>India</b>	987.38	980	38	907	14	19	2
<b>Indonesia</b>	269.96	1317	28	1153	127	2	8
<b>Italia</b>	134.59	2332	138	829	1039	176	151
<b>Japón</b>	146.09	1153	136	165	614	108	129
<b>Jordania</b>	6.27	1303	44	301	908	7	43
<b>México</b>	140.16	1441	139	837	361	31	72
<b>Paquistán</b>	166.22	1218	21	1119	63	12	2
<b>Reino Unido</b>	73.07	1245	38	218	592	114	284
<b>Rusia</b>	270.98	1858	98	1380	283	91	5
<b>Sudáfrica</b>	39.47	931	57	644	169	26	33
<b>Tailandia</b>	134.46	2223	30	1987	144	20	41
<b>Promedio/total mundial</b>	7452	1243	57	907	160	79	40

Fuente: Hoekstra, Water footprint of nations

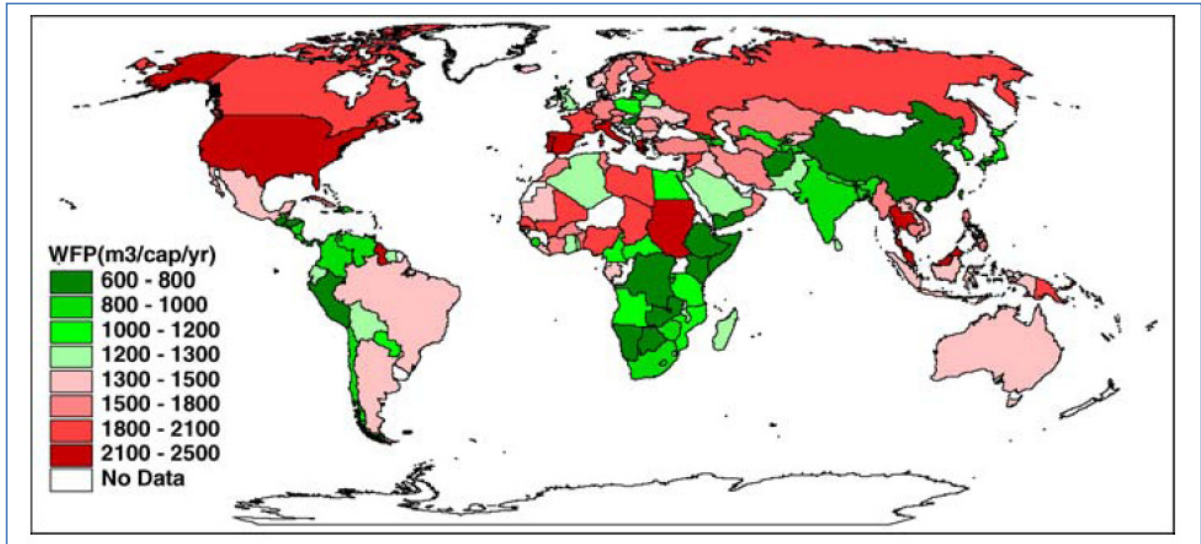


Figura B.1 Huella hídrica promedio por país (m<sup>3</sup>/hab/año). Los países en verde tienen una huella promedio es igual o menor al promedio mundial. Los países en rojo tienen una huella mayor al promedio mundial. Fuente: Wikipedia

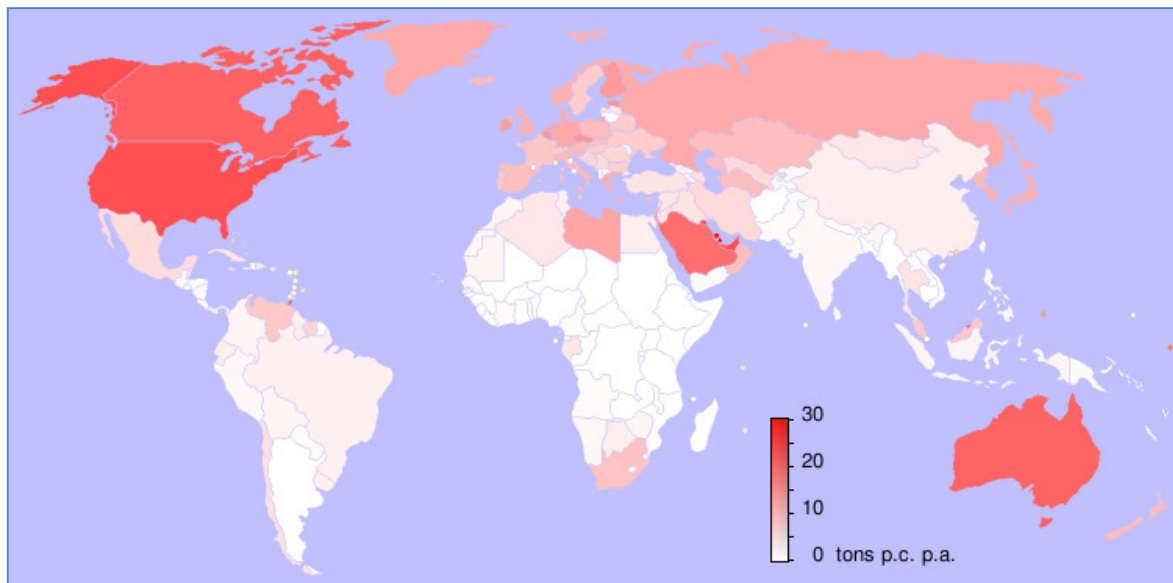


Figura B.2 Huella de carbono por país (tonCo<sub>2</sub>e/hab/año). Fuente: Wikipedia, 2009

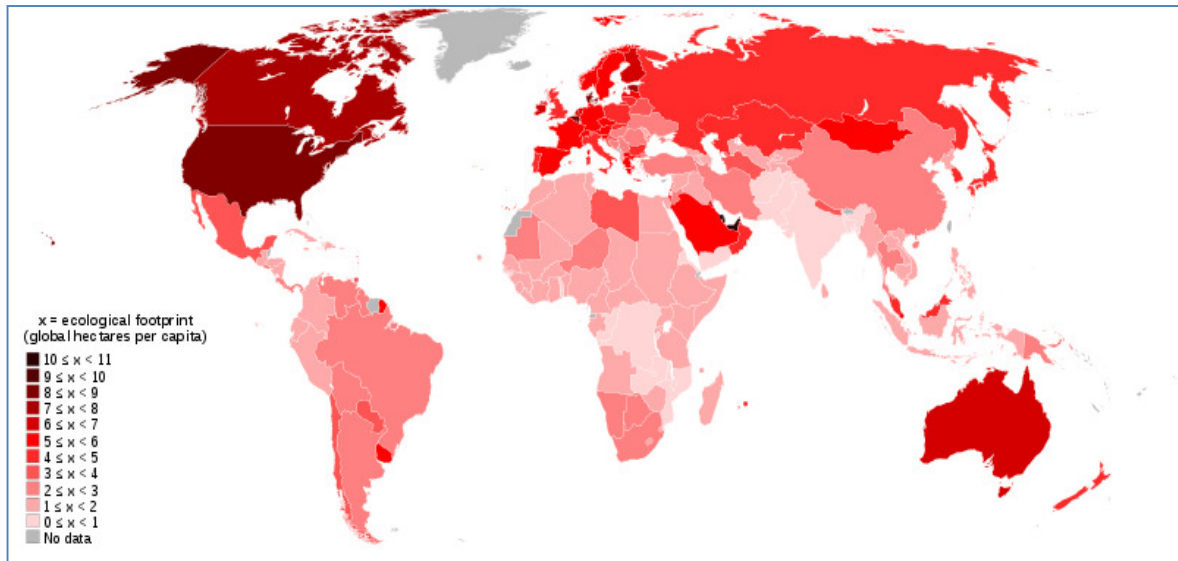


Figura B.3 Huella ecológica por país (hectáreas globales per cápita). Fuente: Wikipedia, 2010