



**UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA
DEL ESTADO DE PUEBLA**

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE POSGRADOS
INVESTIGACIÓN Y CONSULTORÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN**

**DOCTORADO EN TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y
ANÁLISIS DE DECISIONES**

**CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DOMÓTICOS Y
MODELADO DE DISPOSITIVOS PARA
LA VIVIENDA SUSTENTABLE DE BAJOS RECURSOS**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN TECNOLOGÍAS DE
INFORMACIÓN Y ANÁLISIS DE DECISIONES**

PRESENTA:

GABRIELA DE JESUS CORDOVA LARA



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

El uso de textos, imágenes, gráficas, 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 de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

Lista de Tablas.....	IV
Lista de Figuras.....	V
Acrónimos.....	VI
Resumen.....	IX
Capítulo 1 Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.1.1 Historia de la Domótica.....	1
1.1.2 Implementación de Sistemas Domóticos.....	2
1.1.3 Problemas para la implementación de Sistemas Domóticos.	3
1.2 Problema de investigación.....	4
1.3 Hipótesis.....	5
1.4 Objetivo	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5 Justificación.....	6
1.6 Alcance de la tesis	7
1.7 Impacto esperado.....	8
1.8 Organización del documento	9
Capítulo 2 Sistemas Domóticos	11
2.1 Introducción	11
2.2 Características de un sistema domótico.....	11
2.3 Principales elementos en un sistema domótico.	12
2.3.1 Sensores	12
2.3.2 Red de control.....	13
2.3.3 Red de comunicaciones	14
2.3.4 Actuadores	17
2.4 Descripción de los principales sistemas a gestionar.	18
2.5 Hogar tradicional vs hogar domótico	20
2.6 Breve historia del hogar.	21
2.7 Viviendas de bajos recursos en México.	22
2.8 Características de las viviendas de bajos recursos.....	28
2.9 Uso de las nuevas tecnologías en el hogar.	29
2.10 Sistemas domóticos y vivienda sustentable.	30
2.11 Costos de un sistema domótico.....	32
Capítulo 3 Programación por metas.....	33
3.1 Introducción	33
3.2 Programación lineal.....	34
3.2.1 Construcción del modelo de PL.....	34
3.3 Proceso de formulación de un problema de PL	37
3.4 Métodos de solución.....	38

3.4.1 Método gráfico	38
3.4.2 Método simplex.....	39
3.4.3 Método de programación por metas.....	40
3.5 Herramientas computacionales para la optimización de funciones	41
3.5.1 LINGO (Linear Generalize Optimizer)	41
3.5.2 LINDO (Linear Interactive Discrete Optimizer)	42
3.5.3 PHPSimplex.....	43
3.5.4 Solver	44
3.5 Principales aplicaciones	44
Capítulo 4 Caracterización y análisis de las variables.....	46
4.1 Introducción	46
4.2 Caracterización de los sistemas domóticos.....	46
4.2.1 Características de las viviendas	47
4.2.2 Características de la región.....	49
4.2.3 Características de las tecnologías.....	50
4.2.4 Variables económicas	52
4.2.5 Variables ecológicas	53
4.2.6 Variables sociales	54
4.3 Elaboración del instrumento de medición.	55
4.3.1 Selección de la población de estudio	55
4.3.2 Elaboración de la encuesta.....	56
4.3.3 Análisis de la información	56
4.4 Normalización de valores.....	65
4.4.1 Datos para el rubro del agua.	65
4.4.2 Datos para el rubro del gas	66
4.4.3 Datos para el rubro de la energía	67
Capítulo 5 Diseño del modelo lineal	69
5.1 Introducción	69
5.2 Descripción del conjunto de dispositivos	69
5.2.1 Dispositivos para el agua	70
5.2.2 Dispositivos para el gas	70
5.2.3 Dispositivos para la energía eléctrica.....	71
5.3 Descripción del conjunto de consumo	71
5.3.1 Análisis de consumo actual.....	72
5.3.2 Análisis de consumo de los nuevos productos.....	77
5.4 Descripción del conjunto de inversión	84
5.4.1 Costos de los nuevos productos para el rubro del agua	85
5.4.2 Costos de los nuevos productos para el rubro del gas	86
5.4.3 Costos de los nuevos productos para el rubro de la energía eléctrica.....	86
5.5 Modelo lineal	87
5.5.1 Ecuación para el agua	87
5.5.2 Ecuación para el gas	88
5.5.3 Ecuación para la energía eléctrica	88
5.5.4 Ecuación general.....	89
5.5.6 Restricciones	89
5.5.7 Retorno de inversión	91
Capítulo 6 Resultados	93
6.1 Introducción	93

6.2 Experimentos de la función para el rubro del agua.	93
6.3 Experimentos de la función para el rubro del gas y de la energía eléctrica.....	101
6.4 Experimentos con la función integrada.....	106
Conclusiones y trabajo futuro.....	114
Referencias.....	117
ANEXO 1.....	121
ANEXO 2.....	125

Lista de Tablas

TABLA 1.1 CONSUMO DE AGUA EN LAS GRANDES URBES.....	8
TABLA 4.1 PORCENTAJES DE GAS GASTADO EN LA COCCIÓN DE ALIMENTO Y EL CALENTAMIENTO DE AGUA.	67
TABLA 4.2 DATOS DE LOS KITS SOLARES.....	68
TABLA 5.1 DATOS DE LOS PORCENTAJES DE AHORRO DE LOS DISPOSITIVOS PARA EL RUBRO DEL AGUA.	78
TABLA 5.2 COSTO DE LOS DISPOSITIVOS PARA EL RUBRO DEL AGUA.	85
TABLA 5.3 COSTO DE LOS DISPOSITIVOS PARA EL RUBRO DEL GAS.	86
TABLA 5.4 COSTO DE LOS DISPOSITIVOS PARA EL RUBRO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.	87
TABLA 6.1 TABLA DE DATOS PARA EL RUBRO DEL AGUA.....	94
TABLA 6.2 VARIABLES DE DECISIÓN PARA EL RUBRO DEL AGUA.....	94
TABLA 6.3 AHORRO GENERADO EN EL RUBRO DEL AGUA	95
TABLA 6.4 CÁLCULO DE LOS AÑOS PARA PAGAR LOS PRODUCTOS CONSIDERANDO LA INVERSIÓN INICIAL.	95
TABLA 6.5 RESULTADO DEL PRIMER EXPERIMENTO EN EL RUBRO DEL AGUA.	96
TABLA 6.6 RESULTADOS DEL SEGUNDO EXPERIMENTO EN EL RUBRO DEL AGUA.	97
TABLA 6.7 RESULTADOS DEL TERCER EXPERIMENTO EN EL RUBRO DEL AGUA.....	97
TABLA 6.8 RESULTADOS DEL CUARTO EXPERIMENTO EN EL RUBRO DEL AGUA.....	98
TABLA 6.9 RESULTADOS DEL QUINTO EXPERIMENTO EN EL RUBRO DEL AGUA.....	99
TABLA 6.10 RESULTADOS DEL SEXTO EXPERIMENTO EN EL RUBRO DEL AGUA.....	99
TABLA 6.11 RESULTADOS DEL EXPERIMENTO SIETE EN EL RUBRO DEL AGUA.....	100
TABLA 6.12 RESULTADOS DEL EXPERIMENTO OCHO EN EL RUBRO DEL AGUA.	100
TABLA 6.13 TABLA DE DATOS PARA LOS RUBROS DEL GAS Y DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.	102
TABLA 6.14 DATOS GENERALES DEL GAS Y DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA	102
TABLA 6.15 VARIABLES DE DECISIÓN PARA LOS RUBROS DEL GAS Y DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA	103
TABLA 6.16 RESULTADOS DEL PRIMER EXPERIMENTO PARA LOS RUBROS DE GAS Y DE ENERGÍA ELÉCTRICA	103
TABLA 6.17 RESULTADOS DEL SEGUNDO EXPERIMENTO PARA LOS RUBROS DE GAS Y DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	104
TABLA 6.18 RESULTADOS DEL TERCER EXPERIMENTO PARA LOS RUBROS DE GAS Y DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	104
TABLA 6.19 RESULTADOS DEL CUARTO EXPERIMENTO PARA LOS RUBROS DE GAS Y DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	105
TABLA 6.20 RESULTADOS DEL EXPERIMENTO CINCO PARA LOS RUBROS DE GAS Y DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	105
TABLA 6.21 RESULTADOS DEL EXPERIMENTO SEIS PARA LOS RUBROS DE GAS Y DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	105
TABLA 6.22 TABLA DE DATOS PARA LOS TRES RUBROS.....	107
TABLA 6.23 VARIABLES DE DECISIÓN PARA LOS RUBROS DEL GAS Y DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.	108
TABLA 6.24 TABLA CON EL TOTAL DE LOS CONSUMOS EN CADA RUBRO, ASÍ COMO EL TOTAL DE LA INVERSIÓN.	108
TABLA 6.25 AHORROS GENERADOS EN CADA RUBRO ASÍ COMO LOS AÑOS REQUERIDOS PARA EL RETORNO DE INVERSIÓN.	109
TABLA 6.26 RESULTADOS DEL PRIMER EXPERIMENTO DE LA FUNCIÓN INTEGRADA.	110
TABLA 6.27 RESULTADOS DEL SEGUNDO EXPERIMENTO DE LA FUNCIÓN INTEGRADA.	111
TABLA 6.28 RESULTADOS DEL EXPERIMENTO TRES DE LA FUNCIÓN INTEGRADA.	112
TABLA 6.29 RESULTADOS DE TODOS LOS EXPERIMENTOS REALIZADOS CON LA FUNCIÓN INTEGRADA.	113

Lista de Figuras

FIGURA 1.1 DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE UN HOGAR.....	8
FIGURA 2.1 PRINCIPALES ELEMENTOS EN UN SISTEMA DOMÓTICO.	12
FIGURA 2.2 MEDIOS DE INTERCONEXIÓN.	14
FIGURA 2.8 SISTEMAS A GESTIONAR EN UN SISTEMA DOMÓTICO.	18
FIGURA 2.9 HOGAR TRADICIONAL VS HOGAR DOMÓTICO.	20
FIGURA 2.10 SURGIMIENTO DE LAS PRIMERAS LEGISLACIONES EN CUESTIÓN DE VIVIENDA.	24
FIGURA 2.11 NACIMIENTO DE LOS PRINCIPALES DESARROLLOS URBANOS EN MÉXICO.	25
FIGURA 2.12 CREACIÓN DE INFONAVIT Y FOVISSSTE.	26
FIGURA 2.13 NACIMIENTO DEL DESARROLLO INTEGRAL SUSTENTABLE.	27
FIGURA 3.1 PROCESO DE OPTIMIZACIÓN EN LA FUNCIÓN OBJETIVO.	36
FIGURA 4.1 VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL MODELO.	47
FIGURA 4.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS VIVIENDAS.	49
FIGURA 4.3 CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN.....	50
FIGURA 4.4 CARACTERÍSTICAS DE LA TECNOLOGÍA.....	51
FIGURA 4.5 VARIABLES ECONÓMICAS.....	52
FIGURA 4.6 VARIABLES ECOLÓGICAS.....	54
FIGURA 4.7 VARIABLES SOCIALES.....	55
FIGURA 4.8 EDAD PROMEDIO DE LAS PERSONAS ENTREVISTADAS.....	57
FIGURA 4.9 GRADO DE ESCOLARIDAD DE LOS ENTREVISTADOS.	57
FIGURA 4.10 NÚMERO DE HIJOS DE LAS PERSONAS ENTREVISTADAS.....	58
FIGURA 4.11 INGRESO MENSUAL DE LOS ENTREVISTADOS.....	58
FIGURA 4.12 CARACTERÍSTICAS SOCIALES.....	60
FIGURA 4.13 MEJORAS EN LA CALIDAD DE VIDA.	60
FIGURA 4.14 PERCEPCIÓN EN EL AHORRO DE ENERGÍA USANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS.	61
FIGURA 4.15 PERCEPCIÓN DEL AHORRO EN SERVICIOS BÁSICOS USANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS.	61
FIGURA 4.16 PERCEPCIÓN DE LOS USUARIOS EN CUANTO AL RETORNO DE INVERSIÓN.	62
FIGURA 4.17 REDUCCIÓN DE LA HUELLA ECOLÓGICA CON EL USO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS.....	62
FIGURA 4.18 CLASIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS VIVIENDAS Y DE LA REGIÓN.....	63
FIGURA 4.19 CLASIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGÍAS.	64
FIGURA 4.20 CLASIFICACIÓN DE LAS VARIABLES ECONÓMICAS, SOCIALES Y ECOLÓGICAS.....	64

ACRÓNIMOS

BANOBRAS	Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos
CEDOM	Asociación Española de Domótica e Inmótica
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CORETT	Comisión para la Tenencia de la Tierra
CNA	Comisión Nacional del Agua
DUIS	Desarrollo Urbano Integral Sostenible
EHSA	European Home System Protocol
EIBA	European Installation Bus Association
EIB	European Installation Bus
FIDEUBRE	Fideicomiso de Interés Social para el Desarrollo de la Ciudad de México
FOVI	Financiamiento Bancario de la Vivienda
FOVISSSTE	Instituto de Seguridad Social y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado
IO	Investigación de Operaciones
IMSS	Instituto Mexicano del Seguro Social
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INFONAVIT	Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores
INVI	Instituto Nacional de la Vivienda
ISSSTE	Instituto de Seguridad Social y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado
LINGO	Linear Generalize Optimazer
LINDO	Linear Interactive Discrete Optimazer
PM	Programación por metas
PL	Programación Lineal
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
vsm	Veces el salario mínimo

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi infinito agradecimiento:

A Dios, por darme la oportunidad de ver realizados mis proyectos personales y profesionales.

A mis directores de tesis, Dr. Manuel Alberto Pérez Coutiño y Dr. Sodel Vázquez Reyes, por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica, fundamentales para la concreción de este trabajo, por sus sugerencias e ideas, de las que tanto provecho he sacado.

DEDICATORIA

Quisiera dedicar el presente trabajo a:

Mi esposo **Roberto**, que ha sido mi apoyo incondicional y que junto con mis tres adorables hijas: **Fátima, Jacqueline y Emely**, son mi hermosa familia, mi motivo de salir adelante y lo que más quiero en esta vida, por que gracias a su incansable paciencia, amor y constante estímulo, he podido lograr este objetivo personal.

Mis padres y hermanos, **Juanita, José Luis, Erika y Nito**, por brindarme un hogar cálido, enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr nuestros sueños y por que gracias a Dios, aún puedo disfrutar de su compañía.

Arlette, por que nos has enseñado a todos que la vida es demasiado corta, hay que disfrutar y vivir cada día con la misma alegría con la que tú estuviste con nosotros, y por que sé que desde el cielo iluminas nuestras vidas con esa misma sonrisa, te queremos mucho Ale.

RESUMEN

Los sistemas domóticos forman parte de la revolución tecnológica que vivimos en la actualidad, mejorando aspectos de las viviendas como el confort y el control integral de los elementos de manera eficiente. Este tipo de sistemas tienen ventajas que pueden ser utilizadas como apoyo a las nuevas necesidades de la sociedad, debido principalmente al crecimiento demográfico y a la devastación del planeta, aportando en el cuidado y optimización de los recursos en el hogar, de manera que el usuario pueda percibir un beneficio tangible.

Sin embargo, no existe una forma confiable de conocer los beneficios de la implementación de estos nuevos dispositivos tecnológicos en las viviendas, solo se cuenta con la información que proporciona el fabricante, como la cantidad en porcentaje de ahorro pero de manera generalizada, el usuario desconoce el beneficio que esto significa para la familia, y más aún, le es complicado poder tomar la decisión de usar alguna de las diferentes tecnologías, ya que desconoce los beneficios que puede aportar cada una de ellas.

Por estas razones, en el presente trabajo se realiza la caracterización de los sistemas domóticos con objeto de modelar los dispositivos que impulsen el desarrollo de la vivienda sustentable, y analizar los beneficios de las diferentes tecnologías, mediante la optimización en la selección de los dispositivos que generan el óptimo ahorro económico, considerando las principales variables encontradas para su implementación, tanto desde el punto de vista económico, como del ecológico y el social.

Los resultados muestran que efectivamente, el comportamiento del modelo evaluado bajo las diferentes restricciones obtenidas del estudio realizado, proporciona las mejores alternativas tecnológicas, que permiten maximizar el ahorro en los gastos mensuales que tienen las familias de este tipo de viviendas, además de lograr un ahorro sustancial en el consumo de recursos no renovables, teniendo un impacto no sólo a nivel vivienda, sino a nivel regional y más aún, a nivel mundial, ya que se puede aportar en la reducción de la huella ecológica.

Capítulo 1 Introducción

1.1 Antecedentes

En la última década, el tema de la inserción de la tecnología en los hogares se ha incrementado cada vez más, con la idea de poder controlar nuestro entorno de acuerdo a nuestras necesidades cambiantes de la época (Oborkhale, Salatian y Bypass, 2011). Las nuevas tecnologías han modificado muchas de las costumbres establecidas, dando a los consumidores una gama de productos innovadores que pueden utilizar, con la finalidad de encontrar soluciones a sus necesidades y de mejorar su calidad de vida. Uno de los entornos más importantes son las viviendas, ya que éstas se han convertido no sólo en nuestros lugares de descanso, sino también en nuestras oficinas o lugares de trabajo. El surgimiento de la domótica es generada por estas necesidades y tendencias de la sociedad, para aprovechar la tecnología y adaptar nuestro hogar a los nuevos estilos de vida.

1.1.1 Historia de la Domótica

La historia de la domótica comprende una serie de etapas, desde los primeros protocolos establecidos, sobre todo para lograr el control remoto de los sistemas, hasta la programación de funciones lógicas complejas, capaces de realizar tareas como el control automático y la auto regulación (Hudrobo Moya & Millán Tejedor, 2009).

El término domótica proviene de la palabra “domo” del latín *domus* que significa casa, y el sufijo “tic” que significa tecnologías de información y comunicaciones, y la “a” de la automatización (Flores, 2004). Entonces, según lo anterior, un sistema domótico se caracteriza por integrar en nuestras viviendas la tecnología que permite gestionarla de forma energéticamente eficiente, segura y confortable para el usuario.

Los primeros sistemas domóticos comerciales, se limitaban en aquel entonces al control de la temperatura de un edificio o de una vivienda, además de electrodomésticos inteligentes que podían ser programados para encenderse o apagarse en un momento específico. Estos primeros sistemas comerciales fueron instalados y utilizados sobre todo en Estados Unidos, Europa y Japón (Romero-Morales, Vazquéz-Cerrano, & de Castro-Lozano, 2006), e inclusive cada país tiene su propia visión sobre la utilidad de esta tecnología emergente. En Estados Unidos, su orientación es hacia el hogar interactivo, con servicios como teletrabajo o tele-enseñanza. En Japón, la orientación es hacia un hogar automatizado, incorporando al máximo aparatos eléctricos de consumo; mientras que en Europa se sigue un objetivo técnico económico que da más importancia a la ecología, a la salud y al bienestar de los ocupantes, así como a los aspectos organizativos.

1.1.2 Implementación de Sistemas Domóticos.

La mayor parte del éxito cuando se pretende implementar un sistema domótico, se deriva de las consideraciones realizadas a la hora de hacer el diseño (Rosslin y Kim, 2010). Se debe considerar el tipo y tamaño de la vivienda, tener en cuenta si es una vivienda ya construida o no, el diseño debe conjuntamente con los arquitectos, asegurar los espacios así como el cableado interno necesario y por último, se deben de tener bien claras las funciones que se desean automatizar y con ello, encontrar soluciones económicamente viables al cliente.

En la actualidad, la mayoría de aparatos electrodomésticos están dotados de cierto grado de automatización, donde los usuarios pueden programarlos para ajustarlos a sus necesidades, sin embargo el siguiente paso de los sistemas de automatización para las casas inteligentes, sería la programación de la inteligencia artificial que le permitirá tomar decisiones de manera automática (Rosslin y Kim, 2010).

Las iniciativas más importantes las están realizando las empresas eléctricas y las universidades que se han dedicado a la investigación de este tema (CEDOM, 2010). La visión en un futuro, es que los consumidores puedan acceder fácilmente a los servicios, y que los proveedores de servicios puedan igualmente acceder a los consumidores, sin apenas preocuparse por las instalaciones eléctricas, por competidores que controlan el mercado actualmente, o por las características socio-económicas que pudiera tener el sector al que va dirigido el proyecto.

Se podría decir que el hogar es tecnología por el hecho de que incorpora en la medida de lo posible objetos, herramientas y diseños orientados a los objetivos humanos más importantes como la comodidad, la seguridad, el descanso y en ocasiones, para el status y la convivencia (García-S. & López Peñalver, 2004). Sin embargo, la integración, aplicación y puesta en marcha de la combinación de (Bonino & Corno, 2008) tecnologías del hogar, es para conseguir aplicaciones y servicios de utilidad para la mayoría de los habitantes del hogar o bien, de alguna comunidad.

Sin embargo y hasta la fecha, la única manera de ir incorporando este tipo de tecnologías en los hogares es con la ayuda de personas que tengan conocimiento al respecto, y los diseños en eso se basan, en la experiencia que tienen cada uno de ellos con las diferentes tareas a automatizar, así como los elementos que permiten resolver la o las necesidades que pudiera tener el usuario, convirtiendo cada diseño en algo personalizado, y basando su solución en la experiencia de los diseñadores (Bonino & Corno, 2008).

Al llevar a cabo este tipo de diseños e instalaciones, el usuario final se deja llevar por el diseñador, sin tener una manera de comprobar que efectivamente los dispositivos propuestos, sean la solución más óptima en su vivienda, convirtiéndolo a cada caso particular, en pruebas unitarias y lejos de ser soluciones comunitarias que permitan replicar este tipo de diseños en otras viviendas con características similares, ya que cada diseño es evaluado de acuerdo al usuario de la vivienda y no con información por ejemplo, del consumo de recursos.

La implantación futura de los sistemas inteligentes en las casas, dependerá, principalmente, del grado en el que la casa resuelva las necesidades reales de los usuarios. En esto se verá la total coincidencia en el planteamiento realizado con anterioridad sobre las necesidades de los

habitantes de un hogar. Esto dará lugar a que aparezcan nuevas aplicaciones, nuevos servicios y nuevas oportunidades de negocio, y que se produzcan diseños con un soporte fiable de soluciones tecnológicas, basada en algo más que la experiencia del diseñador.

1.1.3 Problemas para la implementación de Sistemas Domóticos.

Esta industria que es sumamente creciente, sin embargo ha sufrido un estancamiento, cuyos puntos débiles más importantes son las normas, las ventas al por menor, la instalación personalizada y el desconocimiento sobre el tema así como la falta de visión acerca de los beneficios sustentables que se pueden lograr no sólo para los habitantes, sino para el mundo entero (Chaparro, 2003).

Desafortunadamente y a pesar de todos los beneficios que se pueden lograr con un buen diseño domótico, estos se siguen viendo como un lujo, y no como un valor agregado que se pueden tener en las viviendas. La implementación de este tipo de sistemas en proyectos habitacionales está apenas en sus inicios, pero la desinformación de los arquitectos o ingenieros encargados de las obras, que lejos de promover esta tecnología, prefieren no complicarse la vida y no informar al cliente, quien posiblemente estaría gustoso de adaptarla en la construcción de su casa.

Si se piensa por ejemplo en las viviendas de interés social de nuestro país, estas fueron pensadas en sus inicios sólo con la idea de poder proveer de un techo a los trabajadores a bajos costos y efectivamente, son la mayoría de las veces viviendas mal diseñadas, construidas, y distribuidas. A pesar de ello y desafortunadamente, este sector de la población las sigue comprando, a sabiendas de sus deficiencias y la mayoría lo hace por la falta de recursos (Higuera Zimbrón & Rubio Toledo, 2011).

Entre los principales proyectos para la implementación de este tipo de tecnologías en los hogares, el INFONAVIT (Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores), desde del año 2010, comenzó con iniciativas de lo que se llamó como “Viviendas Sustentables”, teniendo dentro de sus principales objetivos, el fomentar soluciones habitacionales que mejoren la calidad de vida y promuevan el desarrollo sustentable. Sin embargo, el proyecto se limitaba a poner a consideración ya sea de la constructora o del usuario, una serie de elementos tecnológicos como calentadores solares por ejemplo, para poder implementarlos en las viviendas, únicamente con la información que proporcionaba el fabricante, sin hacer un análisis de costo beneficio de acuerdo a la región donde podría ser implementado. Esto ha hecho que este tipo de proyectos sólo sean usados por las constructoras para poder vender sus casas como viviendas sustentables como valor diferencial, a precios un poco más altos y poder acceder a mayor financiamiento por parte del INFONAVIT, para la construcción de nuevas viviendas.

Para que la proliferación de casas inteligentes, sustentables o domóticas sea una realidad, inclusive en estos tipos de proyectos, son necesarios ciertos cambios en los agentes tradicionales de la construcción y equipamiento del hogar, así como la incorporación de nuevos actores que permitan la gestión integrada del mismo (Huidrobo Moya & Millán Tejedor, 2009).

Los actores tradicionales del sector de la construcción son el promotor, la inmobiliaria, el arquitecto, la constructora, los instaladores así como todo tipo de proveedores de servicios y por

supuesto, el usuario final.

Aunado a este equipo encargado del diseño y la supervisión de la construcción, se puede agregar a consultores de sistemas domóticos que permitirían, de una forma eficiente, integrar soluciones domóticas en cualquier tipo de proyecto, independientemente de las características socioeconómicas de cada sector, basados en modelos que permita desarrollar la solución óptima o bien la más adecuada, y respaldada con la información de los diferentes consumos que tiene la vivienda. (Egido García, 2009).

Queda claro entonces, que se pueden hacer grandes cambios tanto de forma física, es decir, en la construcción de las viviendas, como en la manera en que los consumidores perciben la adquisición de las mismas, con soluciones acordes a las características socioeconómicas de cada sector, logrando la incorporación de los sistemas domóticos. El trabajo realizado como parte de la presente investigación, coadyuva a la consolidación de este mercado emergente, así como un estudio de la población específica donde se llevará a cabo el proyecto bajo tres planos de estudio, el social, el económico y el ecológico, para que entonces todos los agentes que participan en la cadena de valor, pero principalmente el usuario final, perciban un claro beneficio, algo que aún resulta ser una plataforma no explorada.

1.2 Problema de investigación

Los sistemas domóticos son una de las posibilidades más cercanas de poder integrar las nuevas tecnologías en sectores de la población que más lo requieren, como por ejemplo en viviendas de bajos recursos, dando no sólo un valor agregado al bien inmueble, sino también todos los beneficios que conlleva su utilización a corto, mediano y largo plazo, reflejados por ejemplo, en la optimización de todo tipo de recursos, aumento en la calidad de vida de los habitantes así como el cuidado del medio ambiente, este último cada vez más importante a nivel mundial.

A pesar de ello, los sistemas domóticos son vistos como una tecnología cuya implementación es costosa, no como una inversión que se recupera con el tiempo y más aún, si la vivienda donde se va a implementar ya ha sido construida. Se piensa como algo que solamente las personas con alto poder adquisitivo pueden tener, sin lograr visualizar las ventajas por las que puede llegar a ser una buena inversión.

Los sistemas domóticos se pueden ver como el uso de tecnologías que pueden ayudar a reducir en un porcentaje significativo el consumo de recursos en una vivienda y mejor aún, la domótica bien aplicada, con un estudio de fondo, puede ayudar a los sectores económicamente más desprotegidos en nuestro país, aumentando la calidad de vida de los habitantes así como a un mejor aprovechamiento de los recursos, principalmente de los no renovables, logrando así una cultura de vivienda sustentable.

Para poder aplicar esta tecnología, es necesario considerar las principales características de los sistemas domóticos con base en tres factores fundamentales: el económico, el ecológico y el

social; que permitan su integración particularmente en viviendas de bajos recursos, incrementando el beneficio a un sector de la población vulnerable.

En México, son aún pocas las viviendas que utilizan un sistema domótico que realice una gestión completa de sus recursos, la mayoría son viviendas de tipo residencial, impactando muy poco en cuestiones de demandas de recursos al país. Si pensamos ahora en una vivienda de bajos recursos, es casi nula la posibilidad de contar con este tipo de sistemas y no precisamente por ser costosos, sino por la falta de un estudio que resalte las necesidades básicas que se pueden gestionar, para entonces integrar las tecnologías que sean económicamente viables y acorde a las necesidades colectivas de los usuarios.

Existen una gran cantidad de sistemas a gestionar, entre los más importantes están la gestión de la energía, del confort, de la seguridad y de las comunicaciones, pero no todos son necesarios para lograr un cambio en las viviendas de bajos recursos y en sus habitantes. Caracterizar las diferentes variables de los sistemas domóticos y modelar los dispositivos que impulsen el desarrollo de la vivienda sustentable con sus respectivas restricciones, con base en diferentes factores que involucran aspectos económicos, ecológicos y sociales, permitirán definir la tecnología óptima partiendo de un modelo que permita el máximo ahorro económico para las familias.

Lo anterior es de suma importancia, ya que la mayoría de las implementaciones de este tipo de sistemas, independientemente del sector o del tipo de consumidor que se tiene, se proponen con base en el estudio realizado para casos específicos, resultando en soluciones personalizadas que difícilmente pueden ser aplicadas bajo otras condiciones. Por ello no existe evidencia de soluciones que integren los factores mencionados, más aún, se trata presumiblemente de sistemas que no consideran en principio este sector de la población, donde la interrelación de todas las variables resulta primordial.

Como parte del presente trabajo de investigación es importante resaltar que algunas de las variables de los factores económicos, ecológicos y sociales tienen cierta interacción, por ello es relevante determinar cuáles de estas afectan de manera directa o indirecta el modelo así como el funcionamiento del mismo.

1.3 Hipótesis

La hipótesis de investigación es:

A partir de la caracterización de los sistemas domóticos y el modelado de dispositivos con base en diferentes variables y restricciones socio-económicas y ecológicas, es posible obtener el sistema óptimo que impulse el desarrollo de una vivienda sustentable en sectores de la población de bajos recursos.

1.4 Objetivo

1.4.1 Objetivo general

El objetivo principal de esta investigación es, caracterizar los sistemas domóticos y realizar el modelado de dispositivos para identificar los elementos tecnológicos óptimos, que permitan impulsar el desarrollo de una vivienda sustentable en sectores de la población de bajos recursos desde un enfoque social, económico y ecológico.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar los factores sociales, económicos y ecológicos de las viviendas en sectores de la población de bajos recursos.
- Identificar los diferentes servicios a gestionar y/o automatizar de acuerdo con la importancia y beneficio que se requiere alcanzar.
- Caracterizar los sistemas domóticos y realizar el modelado de dispositivos con un enfoque sustentable, que pudieran ser utilizados para satisfacer el punto anterior.
- Definir un modelo de optimización considerando las diferentes variables y restricciones, que permitan impulsar el desarrollo de una vivienda sustentable en sectores de la población de bajos recursos
- A partir del modelo, maximizar el beneficio en la reducción del uso de recursos no renovables y el gasto económico para las familias del sector señalado.

1.5 Justificación

Los sistemas domóticos proveen aplicaciones y servicios en grandes empresas o edificios, lo que comúnmente se conoce como Inmótica, en diferentes áreas como automatización y control, seguridad y vigilancia, comunicaciones y servicios de ocio; cada una con sus correspondientes funciones. Además, los sistemas domóticos han proporcionado a la sociedad actual un sinnúmero de servicios como información, entretenimiento, educación, servicios de salud, compras, finanzas, etc.; y es en estas áreas donde los sistemas domóticos han tenido su mayor auge.

Con la utilización de los sistemas domóticos se puede lograr la optimización de los recursos, sobre todo de los no renovables como el agua, el gas y la luz y con ello, un ahorro económico para quien se decide a utilizarlos. Sin embargo, por las características socioeconómicas en México, es aún difícil ver una casa que contenga un sistema de gestión domótico completo y menos aún, ver este tipo de sistemas implementados en viviendas de bajos recursos, ya que la mayoría de los sistemas se han desarrollado en países del primer mundo y en grandes edificaciones o en viviendas residenciales.

Además de lo anterior, la mayoría de las soluciones que se proporcionan a los usuarios son personalizadas y con base en los requerimientos que se logren percibir de lo que demandan los usuarios, basadas muchas veces en la experiencia de los instaladores. No existe una forma sistemática con la cual se pueda generar, con base en diferentes variables y restricciones, un modelo que permita optimizar las opciones tecnológicas para ser implementadas; no se cuenta con un método, técnica o sistema, a partir del cual tras cambiar alguna de las variables o restricciones, como las condiciones meteorológicas de la región, el modelo se actualice y se mantenga funcionando.

Uno de los beneficios más importantes por resaltar de la presente investigación, es precisamente que por medio de la caracterización de los sistemas domóticos y el modelado de dispositivos para viviendas de bajos recursos, es posible modelar la interrelación de diferentes variables así como sus restricciones y con ello, obtener el sistema óptimo. Además, bajo este esquema, es posible replicar el modelo incluso para regiones con condiciones similares no sólo en el país, sino en América Latina considerando solo el ajuste o la adición de ciertas variables.

Por lo anterior, será posible generar sistemas para la vivienda sustentable, económicamente viables, funcionales y que pueden ser implementados de forma exitosa con beneficio social, económico y ecológico, no solo para los habitantes de la misma, sino para la sociedad en general.

1.6 Alcance de la tesis

El propósito de la presente investigación es, caracterizar los sistemas domóticos y modelar el comportamiento de las diferentes tecnologías para viviendas sustentables de bajos recursos.

En particular se trabajará con la idea fundamental de caracterizar a los sistemas domóticos con un enfoque sustentable, buscando maximizar el ahorro económico, minimizando principalmente los consumos de los recursos no renovables como son el agua, el gas y la energía eléctrica, por considerarse como los principales recursos consumidos en este tipo de viviendas.

Para lograr lo anterior se requieren métricas de una serie de elementos, en un país y en un momento específico. En este caso, el estudio tomará como muestra la zona conurbada Guadalupe Zacatecas, propiamente los nuevos fraccionamientos de viviendas de interés social, que se encuentran en el segundo de los cajones salariales según el INEGI. Si bien existe una gran cantidad de sistemas domóticos que podrían utilizarse, el trabajo sólo se enfocará en los que resuelven el problema desde los tres contextos mencionados, considerando los servicios a gestionar (agua, energía, gas), las necesidades así como posibilidades económicas de los usuarios y la forma de aprovechar al máximo las características climatológicas de la región.

1.7 Impacto esperado

Los hogares, a diferencia de lo que se puede pensar, son los grandes consumidores de agua y de energía. Por ejemplo, la Figura 1 muestra la distribución del consumo eléctrico de un hogar, suponiendo que todo su consumo energético se efectúa mediante la electricidad, como habitualmente están diseñadas las casas en México. (CEDOM, 2008).

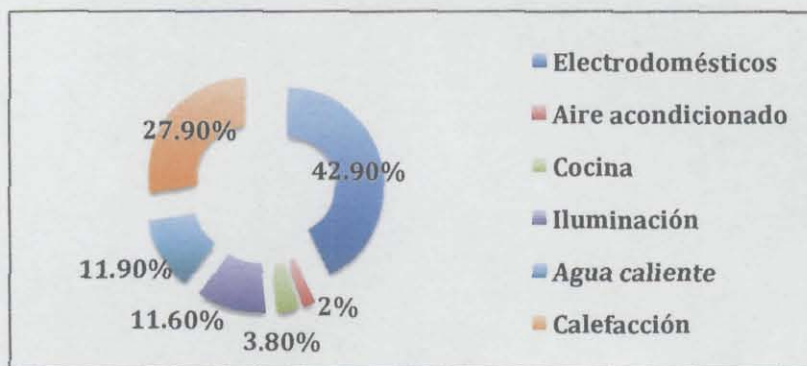


Figura 1.1 Distribución del consumo eléctrico de un hogar.

Si ahora nos referimos al consumo de agua, en México el crecimiento económico no ha tomado en cuenta plenamente las señales de escasez de este vital recurso. La concentración de la población y la actividad económica han creado zonas de alta escasez, no sólo en las regiones de baja precipitación pluvial sino también en zonas donde eso no se percibía como un problema al comenzar el crecimiento urbano o el establecimiento de agricultura de riego. Tan sólo para ilustrar la situación extrema en la que se encuentra el agua subterránea, podemos mencionar que, según cálculos de la Comisión Nacional del Agua (CNA), 101 mantos acuíferos de un total de 600 están sobre explotados, y esto seguirá creciendo conforme la población en el país aumenta.

En las grandes ciudades se consumen más de 1000 litros de agua per cápita al día en las viviendas, por el uso de servicios básicos como descargar el sanitario, tomar un baño, lavado de platos, lavado de ropa, etc. (Vega Rodríguez , 2012)

Tabla 1.1 Consumo de agua en las grandes urbes.

En una ducha de cinco minutos	100 litros
Descarga del baño	16 litros
Lavado de ropa	30 litros
Lavado de platos	27 litros
Jardín	18 litros
Lavar y cocinar alimentos	15 litros
Otros usos como beber y lavarse las manos	10 litros

Los problemas sociales y ambientales que se pueden resolver con la implementación de un modelo que permita obtener el sistema óptimo para lograr la vivienda sustentable de bajos recursos son muchos. Se pueden hacer cambios en una vivienda para poder gestionar la energía

de forma más eficiente que la simple incorporación de los focos ahorradores, la domótica puede adaptar el nivel de luz artificial necesario en función de la luz solar exterior, la presencia de personas, de acuerdo a los espacios en la casa, etc. Si a esto añadimos el control automático de las persianas para que se abran en función también de la luz exterior, permite aprovechar al máximo esta luz que tenemos de forma natural, sin contaminantes de ningún tipo además de que a su vez, se mantiene cálida la vivienda sin necesidad del uso de calefactores. De la misma forma que se puede dar una solución al consumo de energía, se puede lograr la eficiencia en el uso del agua, con la incorporación de sistemas que permitan una mejor distribución del recurso o hasta el reciclado del mismo.

En este sentido, el desarrollo de un modelo que permita obtener el sistema y dispositivos óptimos para implementarlo en viviendas de bajos recursos, representa la principal contribución. Con este modelo se establecen cuáles de las tecnologías pueden implementarse, además que permite ser utilizado en otras regiones no sólo del país, sino de países con condiciones socioeconómicas parecidas a las de México, con el sólo hecho de poder cambiar las variables así como las restricciones que cada región posee.

Hasta la fecha no existe un enfoque similar pensado para viviendas de interés social, ni tampoco un modelo que involucre las variables económicas, sociales y ecológicas que permitan explotar el potencial que tiene la implementación de este tipo de sistemas en las viviendas.

1.8 Organización del documento

El trabajo se encuentra dividido en seis capítulos. El primer capítulo contiene una introducción, los antecedentes, objetivos, justificación, alcances de la investigación así como la contribución esperada.

En el capítulo dos se define el marco teórico que da soporte a la investigación, se hace una clasificación, así como la descripción de los requerimientos y componentes básicos de los sistemas domóticos, con la finalidad de responder al problema de definir cuáles serían las características principales de los sistemas domóticos para las viviendas de bajos recursos. También se realiza una descripción y análisis de las características de las viviendas de bajos recursos así como una primer identificación de las características mínimas que deben de tener las viviendas para poder insertar un sistema domótico.

El capítulo tres presenta un análisis de la programación por metas y se presenta el procedimiento para la construcción del modelo de optimización, algunos de los métodos de solución y de herramientas computacionales para la optimización de funciones.

El cuarto capítulo, presenta la caracterización y estudio de las variables que se involucran para la incorporación de dichos sistemas en las viviendas de bajos recursos, teniendo en consideración como región de estudio a la zona conurbada Guadalupe-Zacatecas de la ciudad de Zacatecas.

El quinto capítulo presenta la implementación de todas las variables así como restricciones encontradas en un modelo matemático, que permite obtener el sistema óptimo para ser implementado para la vivienda sustentable de bajos recursos. Este modelo aporta información acerca de la tecnología que se debe de incorporar así como los porcentajes de ahorro que se pueden lograr, además del costo de la inversión inicial requerida y un aproximado del retorno de inversión.

El sexto capítulo presenta y discute los resultados alcanzados, se evalúa el modelo involucrando aspectos relacionados con los resultados que se pueden generar desde el punto de vista funcional, social, ecológico y económico.

Finalmente se presentan las conclusiones y trabajo futuro.

Capítulo 2 Sistemas Domóticos

2.1 Introducción

El nacimiento de la domótica es aún difícil de precisar con exactitud, sin embargo aparece en un momento clave de la humanidad, la transición entre el siglo XX y el siglo XXI, y resulta ser una actividad eje en el desarrollo que involucra lo tecnológico y social, formando parte de esta revolución tecnológica (Chan M. & Escriba, 2008). Su desarrollo es inseparable del avance de las tecnologías de la información y las comunicaciones, plantea un nuevo concepto de instalación eléctrica, más versátil, completa y flexible (Moro Vallina, 2011).

La domótica es una disciplina técnica, que tiene una faceta social no menos importante (Domínguez, 2006), ya que el objetivo principal de los sistemas domóticos es mejorar los aspectos como el confort, la seguridad así como la eficiencia energética de las viviendas. Sus ámbitos de aplicación son múltiples y existen diversas soluciones tecnológicas para lograrlo. Sin embargo, no todas las necesidades son las mismas ni son de la misma naturaleza, por eso es necesario hacer una descripción más clara de los servicios que proporciona un sistema domóticos, protocolos y reglas establecidas así como de los requerimientos necesarios de acuerdo al sector de la población al que va dirigido el proyecto.

2.2 Características de un sistema domótico

Una de las tareas más importantes a la hora de implementar un sistema domótico, es considerar las características que resultan indispensables en el desarrollo del sistema. Esto ha sido especialmente complicado porque la mayoría de los diseños son personalizados y con necesidades específicas para cada uno. Sin embargo, todos los diseños han coincidido en los rasgos generales que debe de tener y que se pueden resumir en los siguientes (Egido García, 2009):

1. En un sistema domótico el sistema de control debe de ser simple y fácil de utilizar, de tal manera que sea intuitivo para los usuarios. Esto permitirá una inserción más fácil así como una menor resistencia para su uso, el cual es uno de los principales factores que interviene cuando se incorporan nuevas tecnologías en los hogares.
2. En todo momento se debe de considerar la idea de hacer un diseño modular y flexible, es decir, que permita no sólo ampliaciones o modificaciones al diseño en cualquier etapa del mismo e inclusive años después de haberlo implementado, sino que también permita evitar fallos en todo el sistema, elevando los costos no sólo de mantenimiento sino de reparación.

3. El diseño debe de ser integral, ya que debe de incluir las necesidades de los usuarios, las características de la zona, las características socioeconómicas y socioculturales, así como los elementos funcionales adaptados del sistema.

2.3 Principales elementos en un sistema domótico.

Una vivienda tiene una cantidad de elementos que pueden ser gestionados a partir de un sistema domótico, sin embargo para poder realizar el control total del mismo, son necesarios una serie de elementos que resultan esenciales para su correcto funcionamiento, y que responderán de acuerdo a la programación de los mismos. La instalación domótica entonces, capta señales del entorno y actúa sobre él siguiendo una cierta lógica especificada en la red de control (Moro Vallina, 2011).

Para conseguir lo anterior, el sistema de control debe comunicarse con el entorno, siendo necesario para ello una serie de sensores que le suministren información, una serie de actuadores que ejecuten sus acciones de control, así como toda una infraestructura de comunicaciones y acondicionadores de la señal que los conecte entre sí, sin olvidar las interfaces que mostrarán la información y serán manipuladas por los usuarios (Moro Vallina, 2011) (Pallas Areny, 2003). Para monitorear, captar y responder a dichas señales, se requiere de una serie de elementos como se muestra en las Figura 2.1.

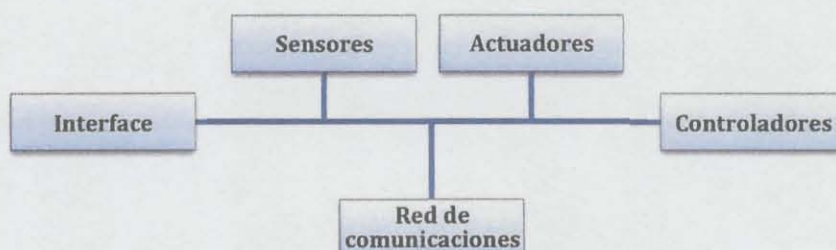


Figura 2.1 Principales elementos en un sistema domótico.

2.3.1 Sensores

Los **sensores** son los encargados de monitorear el entorno, detectando magnitudes ya sean físicas o químicas y transformándolas en información generalmente eléctrica, como voltajes (Pallas Areny, 2003). Los sensores más comúnmente utilizados son:

Sensores de temperatura.- Estos sensores son los encargados de medir la temperatura de la vivienda y determinar en base a un parámetro establecido, las condiciones de temperatura de la misma, es decir, si está haciendo frío o calor para que en base a eso, se puede poner en marcha el sistema de calefacción o simplemente abrir o cerrar ventanas.

Sensores de presencia.- Estos sensores son empleados principalmente para la detección de intrusos en la vivienda, aunque en un sentido más amplio, también son usados para la detección de movimiento y con ello, poder apagar o encender dispositivos de ciertos espacios, lo que permite un ahorro de energía y comodidad.

Sensores de iluminación.- Estos sensores funcionan de acuerdo a la cantidad de luz incidente en ellos, ya que unas de las principales funciones que se manipulan en las viviendas es el control de la iluminación de los hogares. En ese sentido, los sensores de iluminación al detectar la cantidad de luz proveniente de forma natural, mandan la información para determinar si se apagan o se encienden, se cierran o se abren ciertos dispositivos.

Sensores de humedad.- Estos sensores están destinados a detectar posibles escapes de agua, evitando de esta manera inundaciones debidas a fugas en cualquiera de los sistemas de distribución de agua que existen en la casa, tanto de agua potable como de aguas grises. También se usan en el riego automático de jardines.

Sensores de humo.- Estos sensores no son otra cosa que los detectores de incendio, ya que permiten detectar la existencia de monóxido de carbono en la vivienda y alertar a los usuarios en caso de sobrepasar ciertos valores establecidos.

2.3.2 Red de control

Dentro de una red domótica, existe una red de control. Esta red de control queda limitada al manejo de todos los sensores y actuadores conectados en el sistema, lo que permite la automatización de la casa, por lo que no tiene fuertes requerimientos de ancho de banda para su funcionamiento, ya que este tipo de dispositivos sólo intercambian comandos y no de forma continua (Huidrobo Moya & Millán Tejedor, 2009).

Esta red está formada a su vez por los medios físicos de transmisión, que por lo regular utilizan sistemas cableados, aunque en la actualidad existen muchos avances con sistemas inalámbricos. El medio de transmisión de la información, interconexión y control, entre los diferentes dispositivos de los sistemas de domótica puede ser de varios tipos como se muestra en la Figura 2.2.

Los principales medios para la transmisión de la información son (Gerhart, 1999):

- **Cableado propio:** La transmisión por un cableado propio es el medio más común para los sistemas de domótica, principalmente se utilizan medios como el par apantallado, par trenzado, cable coaxial o fibra óptica, los cuales poseen protocolos para su uso.
- **Cableado compartido:** Se utilizan cables compartidos y/o redes existentes para la transmisión de su información, por ejemplo la red eléctrica (corrientes portadoras), la red telefónica o la red de datos.

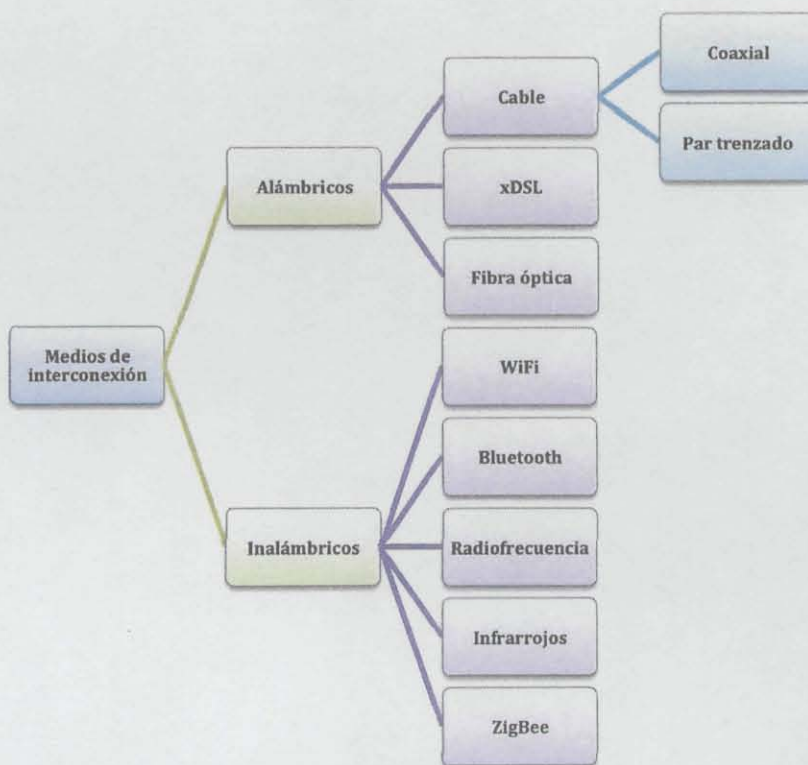


Figura 2.2 Medios de interconexión.

- **Inalámbrica:** Muchos sistemas de domótica utilizan soluciones de transmisión inalámbrica entre los dispositivos, y principalmente usan tecnologías de radiofrecuencia o infrarrojo, aunque existe otro tipo de tecnología más reciente como la tecnología ZIGBEE.

2.3.3 Red de comunicaciones

La red de comunicaciones en un sistema domótico es la encargada de transmitir la información siguiendo unas determinadas reglas denominadas protocolos de comunicación, y que permiten que los diversos dispositivos de la red se entiendan unos a otros. En las comunicaciones entre dos dispositivos, el protocolo desempeña el mismo papel que el lenguaje entre dos personas que hablan.

En la actualidad, existe un gran número de protocolos de comunicación para el sistema de control de dispositivos domóticos (Boscan & Villalobos, 2009), algunos de ellos propietarios diseñados para cubrir necesidades específicas o áreas específicas. Estos protocolos constan siempre de al menos los siguientes niveles del modelo de referencia OSI: físico, enlace, red y aplicación. A continuación se describirán los protocolos más conocidos en los sistemas domóticos.

2.3.3.1 Descripción de los protocolos de comunicación

X-10 es uno de los protocolos más antiguos que han sido utilizados en aplicaciones domóticas. Fue diseñado por la empresa escocesa Pico Electronics entre los años de 1976 y 1978, con el objetivo de transmitir datos por la red eléctrica de baja tensión. Este protocolo no es propietario por lo que cualquier fabricante puede producir dispositivos X-10 y ofrecerlos, eso sí, está obligado a usar los circuitos del fabricante escocés (Delgado-Hidalgo, Moreno-Demera, Véliz-Velastegui, & Leyton, 2009).

El protocolo X-10 utiliza una modulación relativamente más sencilla en comparación con otros protocolos. La transmisión completa de una orden X-10 necesita 11 ciclos de corriente alterna. Los 11 bits que corresponden a un ciclo de corriente con una duración de 20 ms que es el tiempo de bit, corresponden a: código de inicio (2 bits) + código de casa (4 bits) + código de función (5 bits). Así, esta trama se divide en tres campos de información:

- Dos ciclos representan el código de inicio.
- Cuatro ciclos representan el código de casa
- Cinco ciclos representan o bien el código numérico o bien el código de función (encender, apagar, aumentar, disminuir, todo encendido y todo apagado).

KNX es la iniciativa de tres asociaciones europeas (EIBA, BCI y EHSA) con el objetivo de aunar los esfuerzos de todos los fabricantes de sistemas domóticos del mercado Europeo, y poder crear un único estándar para la automatización de la viviendas y de las oficinas. Es decir, el estándar KNX trata de concentrar toda la experiencia y conocimiento de los principales estándares europeos en un único estándar común, abierto y con dispositivos a precios competitivos (Boscan & Villalobos, 2009).

El estándar KNX contempla tres modos de configuración:

- Modo-S (modo sistema). En esta configuración los diversos dispositivos o nodos de la nueva instalación, son instalados y configurados por profesionales con ayuda de una aplicación software sobre PC, diseñada específicamente para este propósito.
- Modo-E (Modo fácil). En esta configuración, los dispositivos son programados en fábrica para realizar una función concreta. Aun así, deben de ser configurados algunos detalles durante su instalación, ya sea con el uso del controlador central o mediante micro-interruptores alojados en el mismo dispositivo.
- Modo A (Modo Automático). Esta configuración sigue una filosofía Plug & Play, es decir, ni el instalador ni el usuario final tienen que configurar el dispositivo. Es exactamente la misma filosofía a la que tienden muchos productos informáticos de uso cotidiano, pues permite una rápida y sencilla instalación o ampliación de las redes, evitando que el usuario final tenga que leer complicados manuales de instalación o especificaciones. Este modo está especialmente indicado para el empleo de electrodomésticos y equipos de entretenimiento.

Un dato importante sobre KNX, es que puede funcionar sobre tres medios físicos distintos: par trenzado, ondas portadoras y Ethernet.

EIB (European Installation Bus) es un protocolo de control domótico europeo, desarrollado con el objetivo de contrarrestar las importaciones de productos similares que se estaban produciendo desde el mercado japonés y el norteamericano, donde estas tecnologías se habían desarrollado antes que en Europa. EIB fue promovido por la EIBA (European Installation Bus Association), que es una asociación de más de 115 empresas europeas líderes en el mercado eléctrico, ya que entre todos los miembros cubren más del 80% de las demandas del equipamiento eléctrico en Europa (Egido García, 2009).

Este es un protocolo de red abierto, se fortalece de todas y cada una de las empresas que lo suscriben. En un principio únicamente se contempló como medio físico un único cable de dos hilos conductores a través del cual se comunican todos los participantes del canal, es decir, todos los participantes están autorizados a iniciar la comunicación con tal de que el canal se encuentre disponible. Cada dispositivo de EIB tiene dos direcciones de 16 bits, la física y la lógica. Ambas se asignan al preparar la instalación, pero tienen funciones diferentes.

La dirección física sólo se utiliza mientras se da de alta o se configuran los dispositivos de la instalación, su misión es identificar cada uno de los dispositivos y está compuesta de: zona (4 bits) + línea (4 bits) + dispositivo (8 bits), en total tiene 64,000 posibilidades de direccionamiento. Por otro lado, la dirección de grupo de 16 bits, es con la que el dispositivo trabajará realmente en la instalación mientras está operando de forma normal y no tiene por qué ser única, ya que varios dispositivos pueden compartir una misma dirección lógica, por lo tanto sirve para definir grupos de dispositivos desde un punto de vista funcional.

La característica principal del EIB es su organización descentralizada, es decir, todos los componentes de la instalación eléctrica, como sensores y actuadores, pueden comunicarse entre sí sin necesidad de una unidad central de control. El funcionamiento en general es sencillo, todos los interruptores, actuadores y sensores están conectados al bus. Si por ejemplo se acciona un interruptor hacia el conductor bus parte un paquete de órdenes con una determinada dirección. Los actuadores reciben la información pero sólo se activa el actuador o grupo de actuadores que están indicados en la dirección del paquete.

2.3.4 Actuadores

En una red domótica, los actuadores se sitúan en el polo opuesto de los sensores, ya que estos son dispositivos de salida que se pueden operar en función de las señales enviadas por los sensores (Pallas Areny, 2003). Sin embargo, no es la única forma de encenderlos, ya que también pueden operar en función de cierto control programado a través de un temporizador o de una secuencia más compleja de operaciones. Los actuadores también realizan una traducción de las señales eléctricas en una rotación, emisión de luz, de sonido, una apertura o cierre de una válvula, puerta, ventada, etc.

Una de las principales funciones de los actuadores es el control de la iluminación en el hogar. Existen dos familias de actuadores para el control de la iluminación: los de encendido y apagado, que son los que actúan en la fase de alimentación de los dispositivos de iluminación, por ejemplo, de una lámpara, y los reguladores de luminosidad que aparte de desempeñar el encendido y apagado, también regulan la luz que proporcionan los dispositivos. Los dispositivos electrónicos utilizados para este fin son denominados *dimmers*.

Otro de los actuadores que se pueden encontrar en los sistema domótico, es el de control de fluidos, ya sean líquidos o gases y lo hacen por medio de **electroválvulas**. En ellas, una bobina genera con el paso de la corriente eléctrica, un campo magnético que abre o cierra el elemento que se interpone al paso del fluido. Estas electroválvulas son usadas por ejemplo para el riego automático.

En el control de persianas y de toldos, el elemento actuador básico es un **motor**, que por medio de una alimentación de corriente y los comandos establecidos, se acciona para que gire en un sentido o en otro y poder con ello, abrir o cerrar persianas de forma automática. Esto es usado principalmente en el ahorro de energía, ya que permite de forma automática aprovechar al máximo la energía proveniente de forma natural, para mantener espacios de las viviendas iluminados.

Los **contactores y los relevadores**, son dispositivos electromagnéticos que disponen de una bobina que accionan el interruptor y cierra los contactos eléctricos, proporcionando o cortando la alimentación eléctrica a la carga. Cuando la alimentación de la bobina cesa, los contactos vuelven a su posición inicial a través de un resorte. Estos dispositivos son muy usados para el control de las cargas eléctricas de cierta potencia, como los motores usados para abrir o cerrar las persianas.

Por último pero no menos importantes, se encuentran los **dispositivos de aviso**, que pueden ser dispositivos acústicos, luminosos o recientemente, los usados para enviar algún tipo de mensaje o señal ya sea a los teléfonos celulares o las computadoras por medio de programas específicos. Por ejemplo, en la detección de humo o de una fuga de agua o de gas, se le puede avisar a los usuarios o habitantes de la vivienda por alguno de estos medios de forma inmediata.

2.4 Descripción de los principales sistemas a gestionar.

Desde hace varios años, se han desarrollado numerosas soluciones que permiten una mayor integración de todos, o por lo menos de la mayoría de los electrodomésticos utilizados en las viviendas. Esta integración tecnológica se ha dado con la finalidad de cubrir necesidades de los habitantes del hogar que se pueden derivar en numerosos aspectos como el facilitar el control integral de la casa, aumenta la seguridad, incrementar la comodidad, mejorar las telecomunicaciones y en los últimos años se ha puesto un especial énfasis en ahorrar los recursos naturales al mismo tiempo de dinero y tiempo (Junestrand, S., Passaret, J., and Vázquez, D., 2011). De esta manera, la clasificación de los sistemas a gestionar se hacen de manera que los

agrupa dependiendo del servicio: gestión de la energía, gestión de la comodidad, gestión de la seguridad y gestión de las comunicaciones, como lo muestra la Figura 2.2.

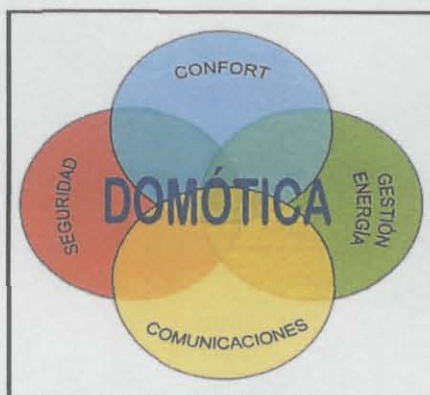


Figura 2.3 Sistemas a gestionar en un sistema domótico.

La **comodidad** es aquello que produce bienestar y satisfacción, y tal vez sea esta la razón por la cual la comodidad sea el aspecto más valorado de los sistemas domóticos para los usuarios, pues es el que perciben directamente (Richarson J., 2009). El simple hecho de automatizar los elementos de una vivienda y poder gestionarlos de forma remota proporciona un nivel de comodidad que hasta ahora era desconocido. Con una instalación domótica el usuario se libera de invertir tiempo y esfuerzo en realizar acciones que muchas veces son repetitivas y se convierten en tareas cotidianas, lo cual permite a los usuarios despreocuparse por aspectos que el sistema resuelve de forma automática. Entre las funciones que se pueden considerar como comodidad están:

- Apagado o encendido de las luces de la vivienda de forma remota.
- Regulación automática de la iluminación.
- Accionamiento automático de electrodomésticos.
- Control de la climatización así como de la apertura o cierre de ventanas y puertas.
- Automatización del riego.

La **seguridad** cotidianamente se puede referir como la ausencia de riesgo o la confianza en algo o en alguien, de manera que la implementación de un sistema domótico en este sentido permite asegurar la integridad de las personas y sus bienes (Romero-Morales, Vazquéz-Cerrano, & de Castro-Lozano, 2006). La seguridad y que muchas veces puede considerarse como la gestión de vigilancia, que nos proporciona un sistema domótico, es mucho más amplia que la que nos puede proporcionar cualquier otro sistema, ya que integra mecanismo como:

- Detección de intrusos
- Simulación de presencia
- Alarmas de intrusión
- Alarmas técnicas como de incendio, de fuga de gas, de control de acceso, etc.

Desde las necesidades más básicas como calentarse o cocinar alimentos, hasta las más modernas y sofisticadas, como la conservación de esos mismos alimentos hasta por meses, o enviar mensajes por fax, exige en todo momento el consumo de energía. De hecho, muchas de las mejoras en el bienestar de los seres humanos han exigido de disponer un excedente de energía en muchos países.

Un principio esencial en el **ahorro de energía** consiste en conocer cómo funcionan los aparatos y equipos que tenemos en el hogar, los diferentes tipos de energía que consumen y el distinto aprovechamiento que podemos obtener de ellos (Reinish, Klefer, Iglesias, & Kastner, 2011). Debido a la gran cantidad de aparatos que se incorporan en una vivienda, el consumo de energía puede llegar a ser importante.

Mediante un sistema domótico, es posible implementar mecanismos que regulen y optimicen dicho consumo, como:

- Uso de energías alternas
- Control de la climatización
- Control de la iluminación por detección de presencia o ausencia de personas
- Regulación de iluminación en función de la luz solar
- Desconexión automática de dispositivos

Por otro lado, se encuentran las comunicaciones, que juegan un papel fundamental en la actualidad, ya que son las encargadas de la gestión técnica de la información como captar, transportar, almacenar, procesar y difundir datos provenientes de los distintos dispositivos conectados. Mediante un adecuado sistema de comunicaciones integrado con el sistema domótico, es posible establecer comunicaciones en el interior de la vivienda, desde el interior hacia el exterior y viceversa.

Por ejemplo, el sistema de comunicación es el encargado de:

- La gestión remota de alarmas mediante un SMS
- Gestión remota de la climatización
- Portero automático
- Video control de la vivienda mediante internet
- Actividad profesional (trabajo)
- Mensajería instantánea como chat, etc.

2.5 Hogar tradicional vs hogar domótico

Los cambios en los modos de vida de los usuarios así como de las necesidades y las nuevas formas de ocio, han modificado sustancialmente la relación que teníamos hasta hace unos años con el hogar (Huidrobo Moya & Millán Tejedor, 2009). Ahora la casa ideal es aquella en la que podemos disfrutar plenamente de nuestro tiempo de ocio sin que resulte necesario preocuparse por tareas repetitivas gracias a los avances tecnológicos (Moro Vallina, 2011).

La introducción de todos estos sistemas y tecnologías en los hogares mexicanos aún no es una realidad, salvo en contadas ocasiones, pero sí hay muchos catalizadores que ayudará a que ello se realice rápidamente. Por una parte, cada vez existen más dispositivos electrónicos provocando una necesidad real de comunicar unos con otros, como lo muestra la Figura 2.9. Por otra parte, la estandarización de las tecnologías de comunicación, como las redes Ethernet cableadas o la tecnología WiFi, han reducido los costos a niveles accesibles para muchos usuarios (Herrera Quintero, 2005).

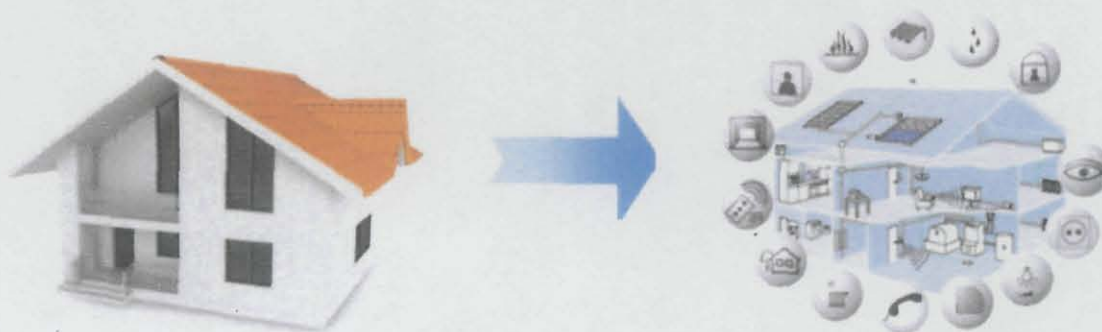


Figura 2.4 Hogar tradicional vs hogar domótico.

Para las empresas promotoras de viviendas, dotarlas de una instalación domótica, supone añadirles valor, lo que les permite una mejor inserción en el mercado (García S & López Peñalver, 2004). Y mientras las empresas de telecomunicaciones y los proveedores de servicios, ven la posibilidad de aumentar o de poner a disposición una gama de servicios para sus clientes, generando nuevos ingresos, los usuarios ven la posibilidad cada vez más cercana de lograr ahorros en los consumos de la vivienda, principalmente en agua, luz o gas.

Para una persona anciana o de la tercera edad, un sistema de tele asistencia simple tecnológicamente, pero con un alto nivel de servicio, le permitirá a los familiares garantizar que en caso de urgencia, se pueda dar una asistencia de forma inmediata. Para una familia con varios hijos, puede ser mucho más importante la gestión de forma eficiente de todos los recursos de la vivienda. Pero para una pareja trabajadora, con hijos pequeños, puede ser que resulte más atractivo el hecho de poder poner una cámara IP en su casa, que les permita ver en todo momento los cuidados de sus hijos (Rosique, Sánchez, Jimenez, & Álvarez, 2010).

2.6 Breve historia del hogar.

Internacionalmente el tema de la vivienda fue una preocupación hasta mediados del siglo XIX aproximadamente, y principalmente en aquellos países avanzados como Europa y de manera particular, también en los Estados Unidos de Norte América. Las investigaciones realizadas muestran que el acercamiento se logró a través de otras ramas de pensamiento como la política y la ética y es que eran preocupaciones relacionadas con la salud pública, la integración

familiar y el control de los movimientos sociales (Barragán, 1994).

Los antecedentes nos permiten conocer que a finales de esa época, en varios países surgen iniciativas de ley que se refieren a la normatividad en el tema de higiene para la construcción de viviendas, la incorporación de los servicios públicos básicos y el hacinamiento. Con el tiempo, empezó una preocupación generalizada sobre el financiamiento de la vivienda de interés social, ello se convirtió en el principal tema de una política social para los países desarrollados hasta mediados del siglo pasado.

Esta preocupación se resolvió en los países desarrollados en 1965, cuando ya se había superado el problema de la demanda, quedando ahora el de la calidad, mejoramiento habitacional como la necesidad insatisfecha en estos países. Es en esta época que en México se empieza a notar la influencia de la presión internacional para la generación de vivienda, tanto para el sector popular como para el estrato medio (Barragán, 1994).

Varios siglos atrás, los pobres, la inmensa mayoría de la población, salvo los privilegiados de palacios y monasterios, contaban con viviendas en muy malas condiciones, que eran poco más que refugios para dormir. No tenían saneamiento ni agua corriente, apenas contaban con muebles y el espacio disponible distribuido en una sola habitación, era diminuto.

La primera gran revolución doméstica acontece en el siglo XVII en los Países Bajos. Aparecieron las "casas pequeñas", que albergaban pocas personas, únicamente a la familia nuclear; el promedio de habitantes era de unos cinco individuos, en claro contraste con los 25 de los hogares parisinos del mismo momento. Ya no había inquilinos y la casa dejó de ser el lugar de trabajo, que se desplazó a talleres o campos aparte. Esta situación produjo un cambio importante: el carácter público de las antiguas "casas grandes medievales" se vio sustituido por una vida hogareña más tranquila y privada. De este modo disminuyeron, incluso llegando a desaparecer en algunos casos, las salas comunes, en favor de las nuevas habitaciones particulares.

El siguiente paso notable se produce en la Inglaterra del siglo XVIII, donde la casa ya no era lugar habitual del trabajo, se convirtió a su vez en un espacio para el tiempo de ocio. La casa ahora era un lugar social, pero de forma curiosamente privada: se sucedían las visitas pero siempre con invitación previa, guardando una etiqueta doméstica reglada y rigurosa, que en todo momento respetaba la intimidad de la familia y de cada uno de sus miembros.

Otro logro significativo que se consolida en las casas es la irrupción de las primeras formas de confort. Varios años atrás se habían introducido con éxito en las "casas pequeñas" muebles aún poco prácticos, que no obstante pretendían ser un reflejo fiel de la riqueza de sus propietarios, sustituyendo a los toscos y escasos muebles medievales. Pero el verdadero éxito de este fenómeno no fue sólo la producción de muebles confortables y elegantes, sino también su disponibilidad para una clientela cada vez más amplia.

La llegada del gas, el agua corriente y posteriormente la electricidad a las casas supuso una nueva revolución doméstica. La introducción de estas tecnologías domésticas significó el comienzo de la racionalización y la mecanización de la casa. Sin embargo, este hecho tan

importante y que ahora resulta esencial en nuestras viviendas, se produjo de forma especialmente lenta, debido a la falta de interés de los arquitectos en su inmensa mayoría, por los adelantos tecnológicos; por lo general, a los arquitectos les importaba más el aspecto de los edificios que su funcionamiento.

Dado lo anterior, la gran innovación en el hogar consistió en exigir confort no sólo para el tiempo libre y el descanso, sino también para las tareas domésticas. En ocasiones se habla de la mecanización y de los electrodomésticos como instrumentos dirigidos únicamente a ahorrar tiempo, cuando su principal contribución no fue tanto ésa como la de reducir el esfuerzo necesario para las tareas del hogar. Este interés por facilitar las tareas domésticas radicaba en la escasa disponibilidad de sirvientes en los hogares norteamericanos a comienzos del siglo XX, tanto más con la entrada de la mujer en el mercado de trabajo tras la Segunda Guerra Mundial.

Si bien por esta etapa de nuestro particular recorrido histórico las analogías con las casas modernas son cada vez mayores, resulta cuanto menos sorprendente comprobar la cantidad de aspectos que aún restan por evolucionar, concretamente en el campo de la tecnología doméstica. Las viviendas se calentaban de forma poco eficiente mediante una chimenea o una estufa, no existían las cañerías, los lavabos o los cuartos de baño y la iluminación corría exclusivamente a cargo de las velas. Habría que esperar al siglo XIX para que esta situación se modificase, ya que a pesar de lo que pudiera parecer, las casas no siempre han sido ámbitos para el descanso, la familia, la privacidad o la intimidad. A lo largo de la historia han tenido unas funciones mucho más amplias que han evolucionado junto con las formas sociales y los desarrollos tecnológicos de cada momento.

2.7 Viviendas de bajos recursos en México.

La vivienda y sus condiciones precarias son actualmente uno de los problemas más graves de las ciudades latinoamericanas, ya que en estos países la construcción de viviendas se ha desarrollado sin control y con malas condiciones de habitabilidad. La gran demanda y los pocos recursos de la población para satisfacer sus condiciones básicas, hacen que estos últimos necesiten la ayuda del gobierno para emprender la construcción o el mejoramiento de sus viviendas. El problema de la vivienda no debe analizarse de manera aislada, ya que son muchos los factores que intervienen en su desarrollo y evolución, y por lo tanto el estudio debe de ser multidisciplinario (Hernández Laos, 2000).

En el siglo XIX, apareció la preocupación por las condiciones de habitabilidad provocadas por la Revolución Industrial en Europa. El movimiento migratorio del campo a la ciudad llevó a estas últimas a aumentar rápidamente su población, teniendo como consecuencia el hacinamiento y las malas condiciones de salubridad. Desde la política y la ética surgieron las primeras intenciones de solucionar estos problemas, que afectaban a las clases sociales más bajas, y aparecieron las primeras normativas urbanísticas que regularon acciones tanto habitacionales como urbanas, cuyo principal objetivo era conseguir un mejoramiento de las condiciones higiénicas.

Fueron varios los arquitectos que dedicaron parte de su obra al estudio y búsqueda de soluciones para una vivienda enfocada a la clase social más baja, cuyos requerimientos eran limitados. Así nacieron proyectos de unidades habitacionales en los que se experimentaron los conceptos de

esta nueva arquitectura dirigida a un cliente con características diferentes. La vivienda social estaba destinada a satisfacer las necesidades básicas de habitabilidad de las clases sociales con menos recursos. El pensamiento funcionalista llegó a reducir el concepto de “vivienda social” a “vivienda mínima”, y por lo tanto, a “vivienda barata”, lo cual implicó una reducción de la calidad del espacio y los materiales, bajando la calidad de las condiciones de habitabilidad (Higuera Zimbrón & Rubio Toledo, 2011).

En el caso de México, la industrialización se produjo en los años 30. Durante la década siguiente, las principales ciudades del país sufrieron consecuencias muy parecidas a las del resto de Latinoamérica. La población rural se desplazó a las ciudades y el crecimiento demográfico de la Ciudad de México se disparó hasta duplicarse. La demanda habitacional creció y los primeros nuevos pobladores comenzaron a instalarse en las vecindades de la zona céntrica de la ciudad.

Más tarde, debido a los cambios de gestiones en las rentas, parte de la población que pudo permitírselo comenzó a comprar terrenos en la periferia, desarrollando fraccionamientos populares. Tras la prohibición del gobierno local de la construcción y urbanización de nuevos terrenos, lejos de regular el crecimiento de la ciudad, provocó la ocupación ilegal del territorio mediante asentamientos irregulares, algunos promovidos por antiguos fraccionadores o líderes locales. Actualmente, la población que vive en estas “colonias populares” es el 65% del total. En México, el problema de la vivienda es causado por varios factores además del desmedido crecimiento demográfico, como son la migración descontrolada, el ineficaz sistema financiero, la inadecuada legislación y el deficiente sistema administrativo (Díaz Juárez, 2006).

Desde principios del siglo XX, las medidas legislativas y de política pública reaccionaron a la gran demanda de viviendas. Durante el Porfiriato, se aprobó la Ley sobre Casas de Obreros y Empleados Públicos residentes en la ciudad de Chihuahua. En 1916, el Primer Jefe Constitucionalista Venustiano Carranza, redujo los pagos de renta de vivienda a la mitad y hasta tres cuartas partes de su valor, y en 1917 se estableció en el texto original de la Constitución, en la fracción XII del artículo 123, la obligación a los patrones de otorgar a sus trabajadores viviendas cómodas e higiénicas.

En 1925 la Dirección de Pensiones Civiles fue creada, teniendo entre sus principales atribuciones la de otorgar créditos a los trabajadores del Estado, para la construcción o adquisición de vivienda. El 20 de febrero de 1933, el Ejecutivo Federal creó el Banco Nacional Hipotecario Urbano y de Obras Públicas, SA., la institución que hoy conocemos como Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS).

En las primeras décadas de este siglo, los arquitectos incursionaron en el diseño habitacional destinado a las clases sociales trabajadoras del país. De esta manera, se favoreció el aumento de población en los centros históricos de las ciudades y al mismo tiempo la aparición de barrios nuevos, generados por la población trabajadora en la periferia de las ciudades. Junto a estos fenómenos apareció la vivienda pública, primero en la Ciudad de México y más tarde en otras localidades del país, cuyo diseño fue auspiciado por el Estado. En los años 20 el arquitecto Juan Seguro construyó el edificio Isabel, y unos años después, en 1935, el edificio Ermita en el Distrito Federal, unos de los primeros edificios obreros.

La importancia de crear viviendas para trabajadores siguió creciendo, y en 1929 y 1932 se celebraron los primeros concursos con el intento de mejorar y densificar las viviendas obreras. Entretanto, otras resoluciones políticas fueron aprobadas. En 1934 un decreto presidencial facultó al Departamento del Distrito Federal para construir viviendas destinadas a sus trabajadores de ingresos mínimos. El 19 de enero de 1943 se creó el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) por decreto presidencial del entonces Presidente de la República, el General Manuel Ávila Camacho, para brindar seguridad social a los trabajadores.

En las décadas de los 40's y 50's, se dio una aproximación a la necesidad de satisfacer con grandes cantidades de vivienda a una población creciente y carente de recursos. Estos primeros diseños de viviendas sociales contemplaban en su diseño un conjunto integral en el que se juntaban vivienda, educación, comercio y recreación.

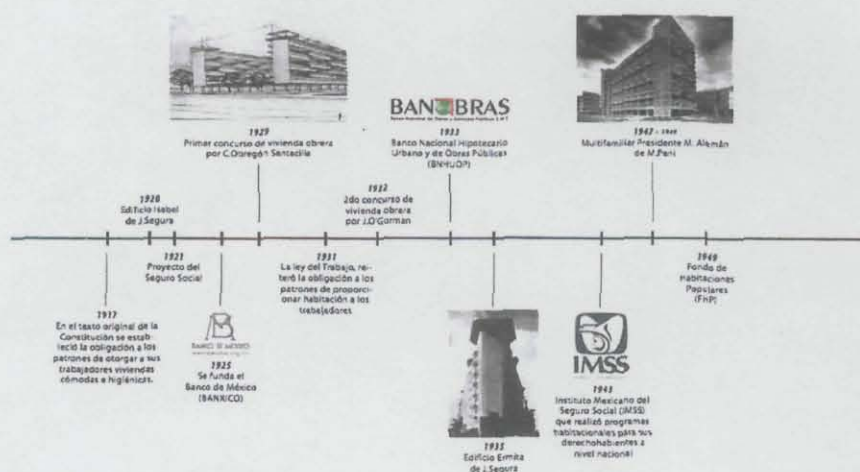


Figura 2.5 Surgimiento de las primeras legislaciones en cuestión de vivienda.

El Centro Urbano Presidente Miguel Alemán, de Mario Pani en 1949, marcó el principio de una serie de desarrollos que pretendían la solución al problema de la vivienda. Desarrollos como éste se siguieron realizando durante varios años; como ejemplo tenemos el Conjunto Habitacional Nonoalco Tlatelolco y el Multifamiliar Presidente Juárez en el Distrito Federal y los Condominios Constitución en Monterrey. En 1954 se decretó la primera ley condominal: la Ley Sobre el Régimen de Propiedad y Condominio de los Edificios Divididos en Pisos, Departamentos, Viviendas o Locales. En ese mismo año se fundó el Instituto Nacional de la Vivienda (INVI), cuyo objetivo principal fue el de "atender las necesidades habitacionales de los estratos sociales económicamente débiles".

En 1963 el Gobierno Federal constituyó en el Banco de México el Fondo de Operación y Financiamiento Bancario a la Vivienda (FOVI) como una Institución promotora de la construcción y la mejora de la vivienda de interés social, para otorgar créditos a través de la banca privada. Hasta 1970 la población del país prácticamente se duplicó en comparación a

1950, lo que se tradujo en una presión sobre el suelo para la construcción de vivienda. En números absolutos, ésta creció en aproximadamente tres millones de nuevas viviendas. Considerando que en este tiempo la población pasó de ser mayoritariamente rural a urbana - de 35% en 1940 a 58.7% en 1970 - son evidentes los problemas de densidad, infraestructura y hacinamiento que enfrentaron las incipientes ciudades del país y que causaron distintas acciones políticas.

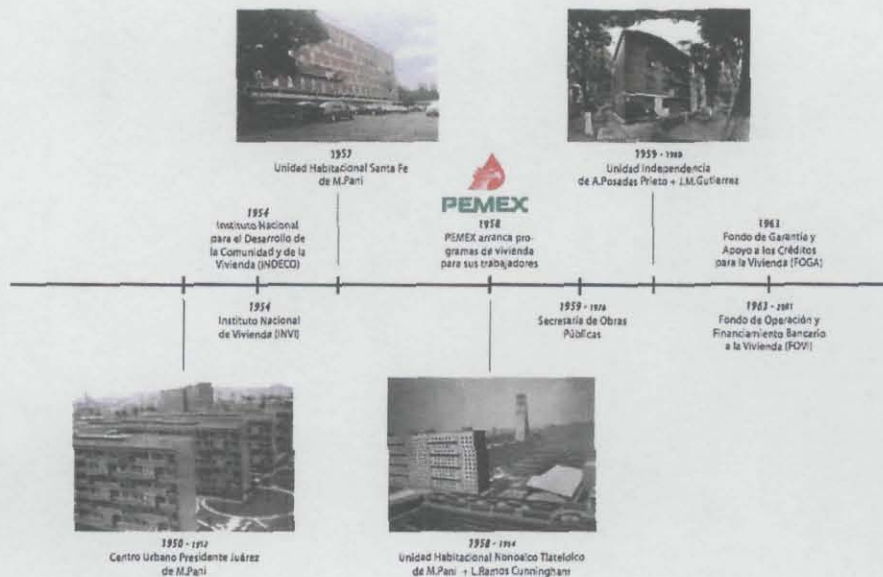


Figura 2.6 Nacimiento de los principales desarrollos urbanos en México.

En la década de los 60, el País decidió enfrentar la expansión del crecimiento económico, poblacional y de masivos procesos migratorios, que impulsaban mayores requerimientos de vivienda urbana y rural, sistematizando una política habitacional a partir de un conjunto de instituciones que se especializarían por sectores para atender las exigencias de vivienda en México. En febrero de 1972 se obligó a los patrones, a través de una reforma constitucional, a que mediante aportaciones se constituyera el Fondo Nacional de la Vivienda y con ello establecer un sistema de financiamiento de otorgamiento de crédito barato y suficiente para adquirir vivienda. Esto originó al Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT).

En 1973 se creó el Fideicomiso de Interés Social para el Desarrollo de la Ciudad de México (FIDEURBE) y al siguiente año surgió la Comisión para la Tenencia de la Tierra (CORETT). En mayo de ese mismo año, se creó por decreto, en adición a la Ley del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores al Servicio del Estado (ISSSTE), el Fondo de la Vivienda del ISSSTE (FOVISSSTE) para otorgar créditos hipotecarios a los trabajadores. Alrededor de este tiempo aparece el primer surgimiento de algunos de los grandes desarrolladores de vivienda de interés social como SARE y grupo Geo.

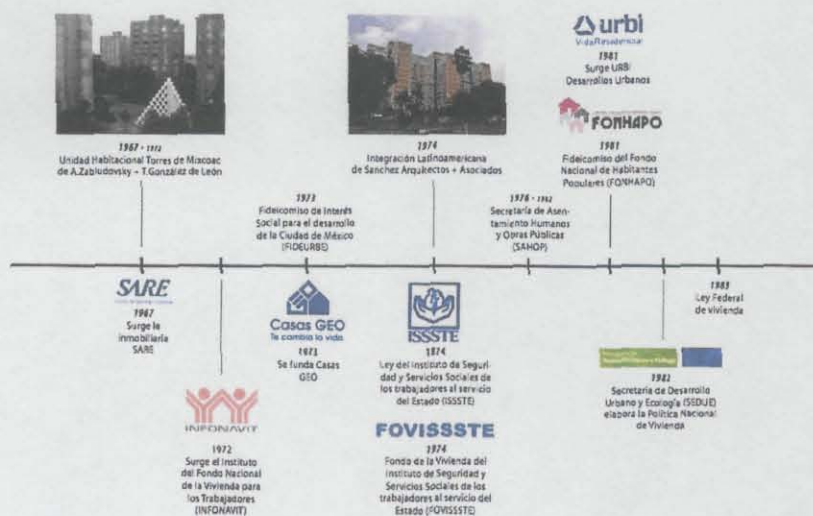


Figura 2.7 Creación de INFONAVIT y FOVISSSTE.

En 1984 vino la reforma constitucional que elevó a rango supremo el derecho a una vivienda digna y decorosa, insertando un párrafo cuarto al artículo 4o de la Constitución General de la República, dando pie a la aprobación de la Ley Federal de Vivienda. Durante el Gobierno del presidente Carlos Salinas de Gortari (1988 - 1994), se llevaron a cabo importantes modificaciones en materia de vivienda y desarrollo urbano que tuvieron grandes implicaciones. Se reformaron leyes relacionadas con el suelo, dando la oportunidad a ejidatarios y comuneros de negociar sus terrenos en forma privada con agentes privados o públicos. Esto facilitó la incorporación de este tipo de suelo al desarrollo urbano. Suelo que, al ser adquirido a muy bajo precio por grandes agentes, se convirtieron en los desarrollos habitacionales alejados de las ciudades que ahora conocemos.

Este fenómeno, que en algún momento presentaba una buena oportunidad para los ejidatarios, con el tiempo se fue transformando. En esa fecha surgieron en la escena de la construcción varias empresas que se dedicaron a construir viviendas de carácter social con las mismas características físicas, ocupando esas extensiones enormes de tierra. Problemas, como la nula normativa urbana en la mayoría de estos terrenos, hicieron que se crearan grandes desarrollos sin infraestructura ni servicios; al mismo tiempo se le dio respuesta a la demanda de vivienda, pero con un producto poco eficiente y con muchas limitaciones.

En el año 2000, como parte de la propuesta de campaña del presidente Vicente Fox Quezada, se propuso un ritmo anual de financiamiento de 750.000 viviendas, logrando así un crecimiento de 2.350.000 viviendas en su sexenio, pretendiendo un ritmo de 2.300 viviendas por día - la mayoría en la periferia de las ciudades. En los últimos años los problemas de ese desarrollo aumentaron. Sobre todo el crecimiento enorme de la mancha urbana y la carencia de una planeación de esa expansión provocó que el Gobierno aprobara programas como el Desarrollo

Urbano Integral Sustentable (DUIS), para mejorar la planeación y el control del crecimiento urbano para poder desarrollar otra vez mejores proyectos integrales.

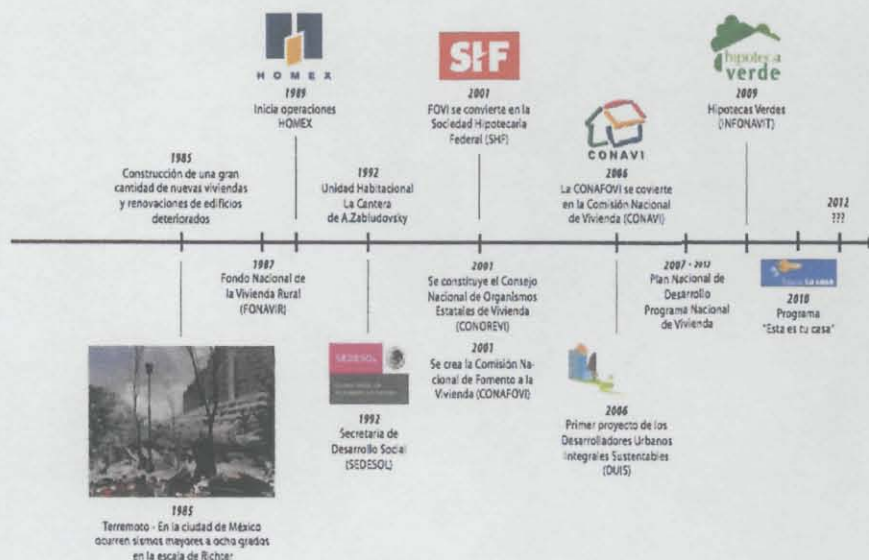


Figura 2.8 Nacimiento del desarrollo Integral Sustentable.

Desgraciadamente, hoy en día la mayoría de los proyectos de vivienda social todavía carece de un diseño integral y sobre todo de una densidad necesaria.

2.8 Características de las viviendas de bajos recursos.

Un aspecto muy importante para el diseño y desarrollo de vivienda de cualquier tipo, es el tamaño de la misma. Las dimensiones de cualquier construcción son determinadas por las necesidades, el presupuesto y la finalidad de cada proyecto. En el caso de la vivienda, ésta debe ser capaz de contener los espacios para las actividades esenciales de un estilo de vida particular. Hablando de vivienda económica, como su nombre lo indica, el presupuesto es el principal limitante de este tipo de desarrollo; el objetivo de esta clase de producto es proveer de una vivienda digna a personas de bajo poder adquisitivo. Con el fin de lograr esto, la mayoría de las veces, el tamaño de la vivienda estará restringida hasta donde los costos lo permitan (Higuera Zimbrón & Rubio Toledo, 2011).

Si se analizan históricamente las dimensiones de la vivienda en México, sucede algo peculiar: en los primeros años del siglo XX se presentó un incremento en sus dimensiones; sin embargo, a partir de 1980, éstas volvieron a disminuir. Son muchas las razones que pueden influir en las dimensiones de la vivienda económica, las más importantes son:

- Los precios de los predios,
- Los precios de la construcción y
- El ingreso económico que perciben las personas a las que están destinados estos productos.

La construcción aumentará su costo debido a la inflación económica, y en el caso de los predios se considera el costo debido a la ubicación, especulación e infraestructura de un lugar. Eso provoca que se busquen lotes en zonas ubicadas en la periferia de las ciudades (zona conurbada) que, como resultado de su lejanía y falta de infraestructura, resultan muy económicos y viables para desarrollos económicos unifamiliares pero provocan situaciones complicadas para el desarrollo de la vida diaria de los usuarios, como lo son los largos traslados, problemas para poder abastecer de servicios básicos como agua o luz, y la carencia de seguridad pública, concluyendo muchas de las veces con el abandono de la vivienda.

El otro factor a tener en mente cuando se realiza una comparación de la vivienda de bajo costo es el ingreso económico. La mayoría de las personas con alcance a este tipo de productos percibe entre cuatro salarios mínimos, por lo que depende en gran medida de los movimientos de este índice. Todo lo anterior conlleva a la gran problemática que se ha venido comentando, en donde la vivienda carece de calidad en materiales y sufre la reducción de los espacios interiores, lo que podría marcar una tendencia que, de continuar así, ocasionaría productos cada vez más pequeños y de menor calidad, dado el constante incremento inflacionario y los salarios mínimos que crecen a menor ritmo (Hernández & Meza, 2011).

La disminución de las dimensiones de la vivienda y la ubicación de estos nuevos desarrollos detonan el crecimiento de la mancha urbana, que crece descontroladamente y sin un orden urbano en la mayoría de los casos. Además, provoca que la respuesta de los ciudadanos a la necesidad de una vivienda sea mediante la autoconstrucción, lo cual tiene otros problemas implícitos. El desarrollo de la vivienda social podría llevarnos a cuestionar hasta dónde se puede llegar antes de buscar replantear los esquemas de vivienda unifamiliar económica en las periferias de las ciudades.

2.9 Uso de las nuevas tecnologías en el hogar.

Cada época se caracteriza por hábitos, costumbres y tendencias sociales, una forma de vivir y habitar en los hogares. El siglo XXI ha marcado una pauta en el uso de las tecnologías y productos dedicados a satisfacer las necesidades del hogar. La mayoría de los residentes, han aprovechado los avances en la infraestructura de telecomunicaciones, y han introducido dentro del recinto computadoras, internet, celulares, etc., con los cuales se puede transmitir texto, fotografías, audio y video desde cualquier dispositivo que pueda conectarse a la red. Los servicios de gestión de energía, seguridad, bienestar y confort, son tecnologías adicionales que se han ido integrando en las viviendas (Rosique, Sánchez, Jiménez, & Álvarez, 2010).

Las labores domésticas están auxiliadas hoy en día por la tecnología, ya que no solo ha avanzado en cuanto a comunicación y localización de las personas, sino también a las necesidades de sus habitantes y a facilitar ciertas tareas en el hogar. La incursión en el mercado de electrodomésticos inteligentes que están pensados en contribuir a la agilización de tareas

específicas. Por ejemplo; quien hubiera imaginado poder tener en casa un refrigerador que pueda indicar cuando alguno de los alimentos faltan en la despensa, o poder programar las estufas para que funcionen un determinado tiempo; aunque con diferentes funciones, todas cumplen el mismo fin, que es el de facilitar las tareas en el hogar.

Una de las principales cuestiones sociales que han influido de manera significativa para que en los hogares se tengan más dispositivos que faciliten muchas de las tareas, es que el rol de la mujer en la sociedad ha cambiado significativamente. La mujer, en muchos de los hogares modernos, no pasa mucho tiempo en casa debido a que se le ha permitido poder recibir educación, y con ello, su inserción en el mercado laboral. Debido a esto, es como el uso de electrodomésticos ha dejado de ser un lujo para convertirse en una verdadera necesidad, como por ejemplo, las lavadoras automáticas. En la actualidad hay una gran gama de productos dedicados a facilitar las tareas en las viviendas como las lavavajillas, batidoras, moedor de comida, aspiradoras, etc.

Además de lo anterior, los momentos de descanso y ociosidad son muy importantes para las personas, ya sea para estar en familia, con amigos, o simplemente realizando alguna actividad que resulte placentera. La tecnología ha puesto atención a esta parte del mercado con la creación de diversos productos que cubren esta necesidad. Según el censo del INEGI 2011, la Televisión está presente en 9 de cada 10 hogares, este aparato es un objeto de distracción popular, contando inclusive actualmente con una diversidad muy amplia de estos. Con esta misma finalidad es como nacen los equipos de sonido y los teatros en casa, además todo esto es más llamativo si le añadimos TV de paga, que no es más que una señal privada de televisión con una amplia gama de canales.

A nivel más personal, también hay aparatos que sirven para nuestro entretenimientos como los celulares, con una diversidad de funciones, las computadoras, que se han convertido inclusive en una herramienta de trabajo para los más pequeños del hogar, pero también para las personas adultas; tabletas digitales, teléfonos inteligentes y las computadoras; los reproductores de música y videoconsolas, principalmente.

Aproximadamente un 25% de la población total cuenta con computadora en el hogar, y un 90% de la población cuenta con un teléfono celular, ya sea como servicio único o complemento de una línea fija. Cabe destacar que este tipo de servicio ha crecido el doble en comparación a los estudios realizados en 2001 (INEGI, 2011). Estar conectado con el exterior ya no es una utopía, el internet ha crecido considerablemente, aunque no a los niveles de los países más desarrollados.

Según fuente del INEGI 2013, hay aproximadamente 46 millones de personas que usan internet en México, ya sea en su trabajo, hogares o sitios públicos. Este nivel no se compara con los países desarrollados que tienen una población aproximada del 93% de usuarios, como Corea, Islandia y Holanda. Sin embargo la cantidad de usuarios ha aumentado en comparación de la encuesta realizada en el 2011.

2.10 Sistemas domóticos y vivienda sustentable.

De forma reciente, el crecimiento poblacional ha significado nuevos retos a nivel mundial, ya que más de la mitad de la población, 3,000 millones de personas, habitan sobre áreas urbanas, y se espera para el 2015 la suma de otros 1,000 millones más. El desafío al que se enfrenta la sustentabilidad urbana, es resolver tanto los problemas que surgen dentro de las ciudades, como los problemas causados por éstas, entre los que destacan el poder proveer a las viviendas de los servicios básicos como agua, luz, y drenaje (Fahizad, Wan Nor, Noor Rosly, & Ibrahim Mohd, 2012), por mencionar solo los más destacados.

En este mismo sentido, una de las áreas más interesantes y prometedoras de la domótica y dispositivos para la vivienda sustentable, es el uso de tecnologías que permita el empleo de los recursos naturales de una manera más eficiente y sostenible, apoyando la reducción en el cambio climático del planeta. Los hogares son grandes consumidores de agua y de energía, y muchas de las veces estos consumos se hacen de tal manera que no reflejan la realidad de la problemática de los recursos, sobre todo de los no renovables (Gutierrez Garza, 2007). Un sistema domótico en el cual se alcance la eficiencia, así como la medición y mejor administración de los recursos, permitirá causar menor impacto en la huella ecológica.

Es por ello que la implementación de sistema domóticos en las viviendas, pueden proveer de una solución tecnológica que permita solventar sino todo, por lo menos parte de la problemática. La adopción de una visión estratégica diferenciadora en el sector de la construcción es un factor clave para el desarrollo de nuevas edificaciones sustentables, que estén alineadas con la protección y cuidado del medio ambiente, cumpliendo con los retos y necesidades de los usuarios actuales y futuros.

De acuerdo con lo anterior, la tendencia es, la incorporación de forma natural de los elementos tecnológicos en los hogares, que permitirán en un futuro poder incorporarlos en un sistema domótico, con la complejidad de acuerdo a las necesidades propias de los usuarios e incluso, de acuerdo a las necesidades de las ciudades donde se habita.

Según diversos estudios, casi el 80% de las viviendas son poco sanas. El diseño, construcción y mantenimiento de edificios causa un gran impacto en el medio ambiente y en los recursos naturales. Las casas que habitamos y nuestros lugares de trabajo y ocio son fuente de contaminación, pero este daño al medio ambiente podría reducirse considerablemente si se siguieran ciertas pautas a la hora de escoger el tipo de tecnología a ser usado al construir nuevos edificios.

Hoy, todavía constituyen una importante fuente de contaminación que perjudica la calidad del aire urbano y que favorece el cambio climático: suponen la mitad de las emisiones de dióxido de sulfuro (presente en los combustibles y residuos domésticos), la cuarta parte de las de óxido nitroso y la tercera de las emisiones de dióxido de carbono, el contaminante con mayor incidencia en el cambio de clima. Así las cosas, uno de los desafíos de las sociedades desarrolladas es construir edificios que causen el menor uso posible de energía no renovable, que produzcan menos contaminación y residuos y, por qué no, que resulten más cómodos, económicos, saludables y seguros para las personas que viven y trabajan en ellos.

Las edificaciones denominadas viviendas verdes, son construidas siguiendo pautas bioclimáticas, logrando entre un 50% y un 80% de ahorro energético respecto de los convencionales. Aunque la electricidad es un tipo de energía aparentemente limpia, también produce contaminación electromagnética, sin olvidar que generarla comporta un apreciable costo medioambiental. Los complejos de edificios construidos a partir de criterios de sustentabilidad disponen de sistemas de energías renovables como instalaciones solares, limitados únicamente por los lugares donde pueden ubicarse, además del uso de materiales de baja huella de carbono durante su producción.

Otro gasto importante de los edificios convencionales es el agua, tanto en su periodo de construcción, en donde se precisan 3,600 litros de agua para fabricar una tonelada de cemento, así como cuando se habitan las mismas. En países como Gran Bretaña por ejemplo, el consumo doméstico medio alcanza los 260 litros por persona por día, y en Estados Unidos sobrepasa los 620 litros. Uno de los principales problemas de la utilización del agua en los hogares es que raramente se distingue entre el agua que debe ser necesariamente potable y la de otros usos domésticos. El inodoro, consume una tercera parte del total del agua utilizada en nuestras casas. Uno de los objetivos de las viviendas domóticas sustentables es precisamente, controlar el gasto de ese bien escaso, y particularmente distinguir entre agua de consumo y de uso doméstico.

Por lo tanto, una planificación de vivienda domótica sustentable no significa sólo resolver el sistema de espacios verdes de una ciudad o territorio, sino una planificación que reconozca los valores y recursos naturales, ecológicos, ambientales y paisajísticos de la ciudad para preservarlos y mejorarlos: una nueva manera de enfocar el urbanismo para el siglo XXI.

Actualmente en el mundo son pocos los países que tienen políticas estrictas para regular las construcciones en torno a la protección del medio ambiente, pero inminentemente esta será la tendencia que se impondrá en cada lugar del mundo, por tal motivo, las empresas actuales deben adelantarse a este paso y contemplar cambios en la forma de realizar sus proyectos, empleando diseños autónomos y sustentables (Osorno, 1996).

2.11 Costos de un sistema domótico

La instalación de sistema domótico en una vivienda tendrá un costo de acuerdo a la cantidad de dispositivos sobre los que se desea tener control, es decir, su repercusión económica es directamente proporcional a la cantidad de sistemas que gobiernen. Además de esto, el costo también depende de los fabricantes que se consideren como los distribuidores de los diferentes productos, ya que existe una gran cantidad de dispositivos, de diferentes marcas, así como diferentes protocolos de comunicación que permiten hacer la interconexión entre ellos (CEDOM, 2010).

Además de los costos de los productos, se deben de considerar los costos de instalación así como el costo que tendría que pagarse al diseñador del mismo. Estos costos pueden ser mínimos o muy altos de acuerdo a muchos factores como lo son el hecho de si se requiere hacer modificaciones en la construcción de la vivienda, o sólo se requieren hacer todas las instalaciones del cableado y demás dispositivos por medio del cableado ya existente o con mínimos cambios, o bien, cuando el diseño puede ser incluido en los planos de construcción y arquitectónicos de la vivienda.

Sin embargo y a pesar de las diferentes variables existentes, según Millar Tejedor et al, es posible lograr una vivienda domótica si el usuario invierte al menos 20% del costo total de la vivienda, es decir, si la vivienda llegara a tener un costo de medio millón de pesos, con la inversión de cien mil pesos sería suficiente para incorporar todos los sensores, actuadores, sistema de comunicación, interfaces, costos de instalación, costo del diseño, etc., que permiten *domotizar* la vivienda incluyendo aspectos como comodidad, seguridad así como el ahorro de energía. Lo único que habría que agregar es el hecho de darle prioridad a los diferentes aspectos de acuerdo a las necesidades de los usuarios de la misma.

Capítulo 3 Programación por metas.

3.1 Introducción

La toma de decisiones en los distintos niveles de las organizaciones cada vez es de mayor complejidad, como consecuencia de las crecientes restricciones de disponibilidad de todo tipo de recursos. Es por ello que desde los años cincuenta nace la Programación por Metas.

La idea original de la Programación por Metas (PM o *Goal Programming*) aparece en un artículo de Charnes, Cooper y Ferguson publicado en 1955 en la revista *Management Science*. El trabajo pretendía desarrollar un método para determinar las compensaciones salariales a los ejecutivos de una importante compañía (General Electric). La situación del problema exigió la introducción de restricciones y condiciones de signo en algunos de los coeficientes de regresión, lo que hizo imposible recurrir a los métodos tradicionales de regresión (Krajewski & Larry, 2000).

Dada la insuficiencia de las técnicas estadísticas clásicas para abordar este tipo de problema, estos autores formularon un modelo de regresión con restricciones en el que se minimiza la suma de las desviaciones absolutas. Además, como la desviación absoluta es una forma no lineal que no puede optimizarse de una manera directa, Charnes et al. linealizaron el modelo introduciendo, por primera vez en la literatura, variables de desviación positivas y negativas.

Charnes y Cooper utilizan por primera vez y de una manera explícita el término PM en el Apéndice B de su libro clásico *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*, con el título “Basic Existence Theorems and Goal Programming”. Paradójicamente, los dos padres de la PM no analizaron en el trabajo citado un problema de análisis de la decisión con metas múltiples, sino un caso de infactibilidad en programación lineal. Es decir, utilizaron el concepto de PM para construir un enfoque que permitiera obtener *soluciones compromiso* a problemas de programación lineal carentes de solución factible.

Charnes et al. (1963) demostraron la potencialidad de la PM en problemas contables y financieros, Ijiri desarrolló técnicas matemáticas como la matriz inversa generalizada para computar modelos de PM basados en metas excluyentes. Charnes et al (1968) formularon modelos de PM en el campo de la planificación de medios publicitarios. Finalmente, para acabar con los pioneros de la PM debe citarse los trabajos de Jääskeläinen (1969), en los que propuso modelos de PM para la planificación logística, así como los primeros algoritmos de resolución.

En los años setenta el paradigma de la PM se articula considerablemente debido principalmente a dos libros específicamente dedicados a este tópico. Uno de ellos escrito por Lee (1972) y el otro por Ignizio (1976). Estos libros y trabajos posteriores introducen refinamientos y extensiones del enfoque como: PM interactiva, PM difusa, PM intervalar, análisis del dual, mejoras algorítmicas, etc. Todas estas extensiones y mejoras teóricas impulsaron una auténtica explosión de trabajos aplicados.

3.2 Programación lineal

La programación lineal es un procedimiento o algoritmo matemático mediante el cual se resuelve un problema indeterminado, formulado a través de un sistema de inecuaciones lineales, optimizando la función objetivo, también lineal (A. Taha, 1995).

El éxito de la técnica de la programación lineal (PL) se mide por la difusión de su uso como una herramienta en la toma de decisiones. Su éxito se debe a la flexibilidad para describir una gran cantidad de situaciones reales. La utilidad en la PL va más allá de sus aplicaciones inmediatas, de hecho, la PL debería considerarse como una base importante en el desarrollo de la Investigación de Operaciones (IO), incluidas en la programación entera, la estocástica, la de flujo de redes y la cuadrática (A. Taha, 1995).

La PL es una herramienta determinística, es decir, todos los parámetros del modelo se suponen conocidos con certeza. Sin embargo, en la vida real, es raro encontrar un problema donde prevalezca una verdadera certeza respecto a los datos. La técnica de la PL compensa esta deficiencia, proporcionando análisis sistemáticos post-óptimos y paramétricos, que permiten al tomador de decisiones probar la sensibilidad de la solución óptima, respecto a cambios discretos o continuos a los parámetros del modelo.

La forma del modelo de programación por meta sigue siendo la misma en programación lineal, es decir, también se tiene una función objetivo que debe ser optimizada sujeta a una o más restricciones. La programación por metas es un enfoque para tratar problemas de decisión gerencial que comprenden metas múltiples o inconmensurables, de acuerdo a la importancia que se le asigne a estas metas. El tomador de decisiones debe ser capaz de establecer al menos una importancia ordinal, para clasificar estas metas. Una ventaja importante de la programación meta es su flexibilidad en el sentido de que permite al tomador de decisiones, experimentar con una multitud de variaciones de las restricciones y de prioridades de las metas cuando se involucra con un problema de decisión de objetivos múltiples (Maroto Álvarez, Alcaraz Soria, & Ruiz García).

3.2.1 Construcción del modelo de PL

El primer paso en la formulación de un modelo de programación lineal, consiste en fijar los atributos que se consideran relevantes para el problema que se está analizando. Una vez establecidos los atributos, se pasa a determinar el nivel de aspiración que corresponde a cada atributo, es decir, el nivel de logro que el centro decisor desea alcanzar. Seguidamente, se conecta el atributo con el nivel de aspiración, por medio de la introducción de las variables de desviación negativa y positiva, respectivamente. Así para el atributo i -ésimo, se tiene la siguiente meta:

$$f_i(x) + n_i - p_i = t_i$$

donde, como es habitual, $f(x)$ representa la expresión matemática del atributo i -ésimo, T_i su nivel de aspiración, n_i y p_i las variables de desviación negativa y positiva, respectivamente.

Las variables de desviación negativa cuantifican la falta de logro de una meta con respecto a su nivel de aspiración, mientras que las variables de desviación positiva cuantifican el exceso de logro de una meta con respecto a su nivel de aspiración (Krajewski & Larry, 2000).

Como un nivel de aspiración no puede simultáneamente sobrepasarse y quedar por debajo de él, al menos una de las dos variables de desviación tomarán valor cero cuando la meta alcanza exactamente su nivel de aspiración.

Ahora bien, una variable de decisión se dice que no es deseada cuando al centro decisor le interesa que la variable en cuestión alcance su valor más pequeño (esto es cero). Cuando la meta deriva de un atributo del tipo más del atributo mejor (objetivo a maximizar) la variable no deseada (a minimizar), será la variable de desviación negativa (cuantificación de la falta de logro). Finalmente, cuando se desea alcanzar exactamente el nivel de aspiración tanto la variable de desviación negativa como la positiva son variables no deseadas y por tanto variables a minimizar.

Supóngase que un fabricante quiere planear producir por lo menos tres mesas se escribirá la restricción: $T \geq 3$. Esto no permite ningún valor por debajo de 3. Si hubiera otra restricción en conflicto con esta, el problema no tendría solución factible. Ahora bien, los objetivos administrativos son mucho menos rígidos y absolutos. Una manera más real para establecer las restricciones de las mesas sería: "si es posible, nos gustaría hacer tres mesas por lo menos. Esto tiene una prioridad alta". En forma análoga, los objetivos de las ganancias o de los rendimientos sobre inversiones se expresan en términos de metas deseadas: hacer lo posible por obtener ganancias de \$1000 el próximo año o buscar un rendimiento sobre inversiones del 10% antes de impuestos. Sin duda pueden ocurrir desviaciones arriba o abajo, alrededor de una meta.

Existen cuatro formas de restricciones de objetivos, según se permita variación hacia arriba o hacia abajo:

CASO 1: Se permiten desviaciones en ambas direcciones.

CASO 2: Solo se permiten desviaciones hacia abajo.

CASO 3: Solo se permiten desviaciones hacia arriba

CASO 4: No se permiten desviaciones.

No existe algo en la programación por objetivos que prohíba incluir restricciones que no sean de objetivo o restricciones de recurso.

El modelo o función que describe el comportamiento de la medida de efectividad se denomina *función objetivo*. Si la función objetivo es describir el comportamiento de la medida de

efectividad, debe capturar a relación de esta medida y aquellas variables de que hacen que dicha medida fluctúe.

El analista debe tratar de identificar aquellas variables que afectan en mayor grado la medida de efectividad y luego de intentar definir de manera lógica la relación matemática entre estas variables y la medida de efectividad. Esta relación es la función objetivo que se emplea para evaluar el rendimiento del sistema de estudio. En cada proceso de desarrollo el analista debe evaluar la correspondiente validez del modelo.

Se han realizado grandes esfuerzos para representar complejas situaciones humanas y sociales. Para tener significado, esto debería de escribirse en una expresión matemática que contenga una o más variables cuyo valores deben determinarse. La pregunta que se formula en términos generales, es cuáles son los valores que deberían de tener estas variables para que la expresión matemática tenga el mayor valor numérico es decir, maximizar esa variable, o el menor valor numérico posible, que es la minimización de las variables en este caso. A este proceso se le denomina optimización, que no es otra cosa que la selección del mejor elemento con respecto a algún criterio de un conjunto de elementos disponibles (A. Taha, 1995).

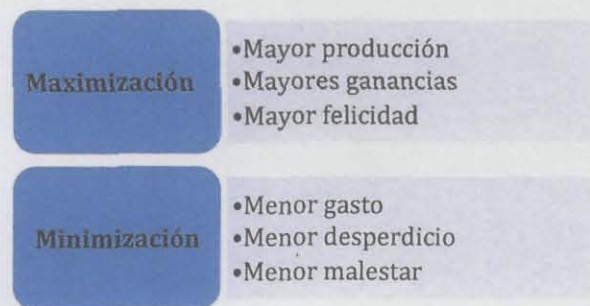


Figura 3.1 Proceso de optimización en la función objetivo.

Cualquier problema de programación lineal cuenta con:

- Una función objetivo y
- Un conjunto de restricciones

Cuando se formula un problema de toma de decisiones como un programa lineal, se deben verificar las siguientes condiciones:

- La función objetivo debe de ser lineal. Todas las variables deben de estar elevadas a la primera potencia y que sean sumadas o restadas, no divididas ni multiplicadas.
- El objetivo debe de ser ya sea la minimización o la maximización de una función lineal.
- Las restricciones también deben de ser lineales.

3.3 Proceso de formulación de un problema de PL

Todo problema en una programación lineal consta de cuatro partes principales:

1. Un conjunto de variables de decisión.
2. Los parámetros o valores constantes.
3. La función objetivo
4. Un conjunto de restricciones

Al formular un determinado problema de decisión en forma matemática, se debe practicar la comprensión del problema hasta que se haya entendido completamente, es decir, se debe de practicar la comprensión mental de lo que se pretende resolver, leyendo detenidamente una y otra vez el enunciado del problema.

Para ayudarse, puede usar las siguientes preguntas generales:

1. ¿Cuáles son las variables de decisión?, es decir, ¿cuáles son las variables controlables?, también conocidas como actividades controlables.
2. ¿Cuáles son los parámetros?, es decir, ¿cuáles son las entradas no controlables?. Por lo general son valores numéricos constantes.
3. ¿Cuál es el objetivo? o ¿cuál es la función objetivo?, es decir, ¿qué quiere el dueño del problema?
4. ¿De qué manera se relaciona el objetivo con las variables de decisión del dueño del problema?
5. ¿Es un problema de maximización o de minimización?
6. ¿Cuáles son las restricciones?, es decir, ¿qué requerimientos se deben de cumplir?
7. Se debería de usar un tipo de restricción o desigualdad o igualdad?
8. ¿Cuáles son las conexiones entre las variables?

Después de haber analizado a detalle el problema y con la ayuda de las preguntas anteriores, las cuales es importante que se respondan cada una de ellas, se puede comenzar a formular el problema en forma matemática. Además, la forma exacta de la función objetivo varía según la respuesta a estas dos preguntas:

1. ¿Son conmensurables o proporcionales los objetivos?
2. ¿Cuál es la importancia relativa de cada objetivo?

Objetivos conmensurables de igual importancia: este es el caso más sencillo, aunque muy pocas veces se encuentra en la práctica. Aquí los objetivos se miden en una escala común (conmensurables y tienen la misma importancia).

Ponderación preferente de los objetivos: las ponderaciones de preferencia pueden aplicarse a cualquier grupo de objetivos conmensurables. Las ponderaciones deben reflejar la utilidad o el valor de los objetivos.

Rango de prioridad de los objetivos: ¿qué pasa cuando los objetivos no son conmensurables, cuando no hay una escala común para comparar las desviaciones de los diferentes objetivos?. Este es un caso importante, al que se enfrentan con frecuencia los administradores. Si el administrador puede ordenar o dar un rango para sus metas entonces la solución es posible.

Quizás no sea una tarea fácil dar un rango a los objetivos de acuerdo con su importancia pero es algo que la mayoría de las personas entienden y pueden lograr. En la programación por objetivos se le asigna la prioridad P1 al objetivo más importante, siguiendo P2 a una prioridad más baja. No existe límite en el número de niveles de prioridad pero debe asignarse una prioridad para cada variable de desviación. Se permiten empates o prioridades iguales.

3.4 Métodos de solución

Para llegar a la solución de un problema de PL se utilizan diferentes métodos de solución. Los más difundidos son: el método gráfico y el método simplex. La solución de un problema de PL utilizando un procedimiento gráfico es posible si se tienen no más de dos variables. El método simplex fue el primer método surgido para solucionar problemas de PL, por lo que se le considera el método de solución clásico por excelencia. Teniendo en cuenta la filosofía de este método han surgido otros métodos cuyas ventajas fundamentales se concentran en las posibilidades de los mismos para ser programados por computadoras.

3.4.1 Método gráfico

El procedimiento gráfico comienza elaborando una gráfica que muestre las soluciones posibles (valores X_1 y X_2). La gráfica tendrá valores los valores X_1 en el eje horizontal y los valores X_2 en el eje vertical. El procedimiento para hallar la solución gráfica consiste en lo siguiente:

1. Para cada inecuación del sistema de restricciones (medio espacio cerrado) se toma la recta correspondiente y se determinan las intersecciones con la gráfica. Si la recta pasa por el origen del eje de coordenadas, el término independiente es cero, entonces se traza la recta tomando el origen y otro punto determinado dando un valor arbitrario a una de las variables.
2. Para determinar los puntos que satisfacen cada inecuación se sustituye un punto cualquiera del espacio (se recomienda el origen cuyas coordenadas son $(0,0)$), y de esta forma se determina si los puntos que satisfacen la misma están hacia el lado que está el origen o hacia el lado contrario, señalando con una flecha ese lado. Cuando la recta pasa por el origen entonces se toma otro punto cualquiera pero que sean sencillos los valores de sus coordenadas, por ejemplo, $(0,1)$, $(1,0)$, $(1,1)$, etc.
3. Luego se determina la región solución que es la región del plano que satisface todas las restricciones al mismo tiempo y que debe estar en el primer cuadrante. La figura formada es un poliedro convexo que tiene un conjunto de puntos extremos.

Se busca el punto óptimo entre el conjunto de puntos extremos. Para eso se sustituye cada par de puntos (X_1 , X_2) de los puntos extremos en la función objetivo y se calcula el valor de Z . Si se está maximizando el valor de la misma, el punto óptimo será aquel que proporcione el valor mayor para Z y si el criterio de optimización es de minimizar, entonces el punto óptimo será aquel que proporcione el valor mínimo de Z .

Este método gráfico tiene la desventaja que sólo permite la solución de problemas que tengan dos variables de aquí que la mayoría de los problemas de programación lineal se resuelvan utilizando como base el método simplex, ya que son muy pocos los problemas que solamente cuentan con dos variables (Gould F., Eppen G., & Schmidt C., 1992).

3.4.2 Método simplex

El Método Simplex como herramienta de programación lineal fue desarrollado por la época de los años cuarenta por George Dantzing, un joven matemático. El método constituye una forma sistemática y de búsqueda intensiva a través de todas las posibles soluciones para obtener una solución óptima. Ello resulta de gran utilidad debido a su eficiencia, además de que es fácil programarlo en una computadora. En contraste con el análisis gráfico, este método permite el uso de muchas variables. También permite la aplicación de cantidades de restricciones lineales con signos; mayores e igual, menores e igual y de igualdad (A. Taha, 1995).

En comparación con el método gráfico, el método simplex tiene como punto de partida el origen siendo este la solución inicial al problema. El método prueba todos los puntos extremos gráficos aunque no necesariamente se detiene en todos los vértices. Por otro lado utiliza el concepto de álgebra de matrices en una serie de tabloncillos. La concepción de este método ha facilitado que otros especialistas del tema desarrollen otros métodos de solución con la misma filosofía, pero más adecuados para la programación por computadoras. Para explicar el método simplex es necesario definir un conjunto de conceptos básicos necesarios para la comprensión del mismo.

Para desarrollar un método de solución general, el problema de PL debe ponerse en un formato común, al que se llamará forma estándar. Las propiedades de la PL estándar son:

1. Todas las restricciones son ecuaciones, con los lados derechos no negativos, en el caso del primal. Las restricciones del tipo $\leq$ o $\geq$ se convierten en ecuaciones sumando una variable de holgura (caso $\leq$) o restando una variable de exceso (caso $\geq$) en el lado izquierdo de la restricción.
2. Todas las variables son no negativas, si una variable es irrestricta se usa la sustitución $Y_i = Y'_i - Y''_i$. Una variable negativa se hace no negativa multiplicando por -1 a la variable en la función objetivo y las restricciones.
3. La función objetivo puede ser la maximización o minimización.

Entonces con el método simplex se parte de una solución básica factible (punto extremo) y se continúa iterando a través de soluciones básicas factibles sucesivas hasta alcanzar el óptimo. Una

solución básica es aquella que es factible o se encuentra en uno de los vértices de la región solución. Con m ecuaciones y n variables, una solución básica se determina haciendo $n-m$ variables iguales a cero. En general existen $n!/m!(n-m)!$ soluciones básicas posibles. Las variables no básicas, son las $n-m$ variables que se hacen igual a cero.

3.4.3 Método de programación por metas.

En este método, la incorporación de información se va a traducir en una acción del decisor o centro decisor, emitiendo "deseos" al analista y éste, con base en estos deseos va a actuar. De esta manera, renunciamos a la optimización pero obtenemos una solución que satisface los deseos manifestados. La técnica que se emplea al incorporar información a priori en el proceso se denomina, Goal Programming, o Programación por Metas (A. Taha, 1995).

Dado un problema general de programación multiobjetivo:

$$Opt (f_1(x), f_2(x), L, f_p(x))$$

donde algunos de los objetivos serán de máximo y otros de mínimo, el decisor actúa de la siguiente forma:

Primero asignará a cada uno de los objetivos un valor u_i que va a representar su nivel de aspiración, es decir, lo que desea alcanzar como mínimo o bien no desea superar, e incluso, en algunos casos, desea alcanzar exactamente la igualdad, para el correspondiente objetivo. Después, al conjugar el objetivo y el nivel de aspiración se obtiene lo que denominamos meta, que se expresa de la siguiente forma:

- Si se está maximizando $f_i(x)$ al imponer un nivel u_i , se deseará que: $f_i(x) \geq u_i$.
- Si se está minimizando, se deseará que $f_i(x) \leq u_i$.
- El caso de igualdad, $f_i(x) = u_i$, se puede contemplar tanto si se maximiza como si se minimiza.

Posteriormente al establecimiento de las metas, se asignan niveles de prioridad entre los objetivos, es decir, se les ordena atendiendo a las prioridades que manifieste el decisor. Esta asignación puede ser uno a uno, es decir, en cada nivel un solo objetivo, o pueden aparecer varios compartiendo un mismo nivel; este caso implica una ponderación entre los objetivos que comparten el nivel. El número de niveles de prioridades será por tanto, $s \leq p$.

Así pues, la resolución se llevará a cabo atendiendo a las metas impuestas y a los niveles de prioridad establecidos, de forma que se preferirá una solución que mejore al primero, una vez conseguida, se pasa al segundo y así sucesivamente. En este sentido, la ordenación que se utiliza, bajo el enfoque de programación por metas, es la lexicográfica llevándose a cabo una resolución por niveles. El orden lexicográfico es un orden total y es el usado en la ordenación del diccionario. Con él se establece que para mejorar una combinación basta con ir mejorando sucesivamente las coordenadas sin tener en cuenta lo que ocurra con las restantes. A las soluciones obtenidas por la técnica de programación por metas se las denomina satisfactorias, en el sentido de que verifican evidentemente las restricciones originales del problema y las metas

impuestas por el centro decisor.

3.5 Herramientas computacionales para la optimización de funciones

Para facilitar la solución de problemas de programación lineal, se han creado una gran cantidad de herramientas computacionales que ayudan a resolverlos de manera rápida y con datos confiables. Dentro de la gran cantidad de software que se utiliza actualmente, se mencionaran algunos de los más utilizados (Maroto Álvarez, Alcaraz Soria, & Ruiz García), (Krajewski & Larry, 2000).

3.5.1 LINGO (Linear Generalize Optimizer)

LINGO es una herramienta simple para formular problemas lineales y no lineales, resolverlos y analizar su solución. El resultado que lingo proporciona es la optimización que nos ayuda a encontrar el mejor resultado: la ganancia más alta o el costo más bajo. A menudo estos problemas el uso más eficiente de los recursos. Los problemas de optimización son clasificados a menudo como lineales o no lineales, dependiendo si las relaciones en el problema son lineales con respecto a las variables.

Uno de los rasgos más poderosos de LINGO es su aplicación en el lenguaje de modelo matemático, el cual permite expresar un problema de una manera muy similar a la notación matemática normal, pudiendo también expresar una serie entera de restricciones en una declaración compacta. Esto lleva a modelos que son mucho más fáciles de entender.

De hecho LINGO puede leer datos incluso de una hoja de cálculo separada, base de datos, o archivos de texto. Con datos independientes del modelo, es mucho más fácil hacer cambios y existe menos posibilidad de error cuando se realiza el modelo. Entre los principales beneficios de LINGO están:

- Fácil representación del modelo. Le ayudará a reducir su tiempo de desarrollo. Le permite formular sus problema ya sea lineal, no lineal y entero rápidamente en una forma altamente legible. El lenguaje con el cual puede ser representado el modelo, le permite expresarlo de una manera intuitiva y simple, usando sumatorias y variables con subíndice, tan fácil como lo haría con lápiz y papel. Los modelos son fáciles de construir, más fácil de entender y, por tanto, más fácil de mantener.
- Opciones de datos convenientes. Disminuye el tiempo y las molestias a la hora de la administración de sus datos. Le permite construir modelos que pueden obtener información directamente de las bases de datos y hojas de cálculo. Del mismo modo, LINGO puede generar información de solución de acuerdo a una base de datos u hojas de cálculo, por lo que es más fácil para usted generar informes en la aplicación de su elección.
- Potentes métodos matemáticos de solución. Está disponible con un conjunto completo de

métodos rápidos de solución, tanto para sistemas lineales, no lineales, optimización cuadrática, cuadráticamente con restricciones, cono de segunda orden, estocástico y entero. No se tiene que especificar o cargar un algoritmo de solución por separado, porque LINGO lee su formulación y selecciona automáticamente el apropiado.

- Modelado interactivo. Usted puede construir y resolver modelos dentro de LINGO, o se puede llamar directamente desde una aplicación. Para el desarrollo de modelos de forma interactiva, LINGO proporciona un entorno de modelado completo para construir, resolver y analizar sus modelos. Para la construcción de soluciones a la mano, LINGO viene con interfaces DLL y OLE exigibles que se pueden llamar de aplicaciones que el usuario haya escrito. LINGO puede también llamarse directamente desde una aplicación de macro o base de datos de Excel.
- Ayuda y documentación extensa. Proporciona todas las herramientas que usted necesitará para aprender el manejo del software rápidamente. Obtiene el Manual del usuario (en forma impresa y disponibles a través de la ayuda en línea), que describe completamente los comandos y funciones del programa. También incluye las versiones para intermedios y avanzados, que es un texto integral que incluye todas las clases principales de problemas lineales, enteros y de optimización no lineal.

3.5.2 LINDO (Linear Interactive Discrete Optimizer)

LINDO es un software muy básico que permite realizar optimización de problemas de programación lineal y cuadrática, definidos sobre variables reales y/o binarias. Debido a su simplicidad se utiliza con fines educativos, ya que es de fácil acceso. El problema es que su interfaz es muy primitiva.

La sintaxis requerida para LINDO tiene requisitos mínimos, se deben diferenciar tres partes principales que son la función objetivo, las variables de decisión y las restricciones. Dentro de sus principales beneficios están:

- Desarrollo de aplicaciones de manera rápida y fácil. La API LINDO es tan fácil que permite integrar optimización en la propia aplicación. La interfaz del desarrollador, ha sido diseñada para la máxima facilidad de uso y flexibilidad. Viene con documentación clara, completa y ejemplos para ayudarle a aprender de una manera rápida.
- Potentes herramientas de análisis. LINDO API proporciona un arsenal de potentes herramientas de análisis estocásticas, lineales, no lineales, de optimización cuadrática, cuadráticamente con restricciones, de segunda orden cono y entero. Resuelven todo tipo de problemas y además incorpora numerosas mejoras para una máxima velocidad y robustez.
- Características de programación estocástica. Ha comenzado una nueva versión de API LINDO que incluye nuevas características que permiten a los usuarios incorporar incertidumbre en sus modelos de optimización de envío.

- Amplio conjunto de rutinas. Si su problema es grande o pequeño, simple o complejo, la API LINDO proporciona la flexibilidad y funcionalidad que necesitas. Incluye docenas de rutinas para formular, resolver, consultar y modificar tus problemas.
- Cómoda interfaz de MATLAB. Las versiones Windows (Maroto Álvarez, Alcaraz Soria, & Ruiz García) de 32 bits y 64 bits de LINDO API, pueden ejecutarse como una función MATLAB exigible. Utilizando modelos de MATLAB y entorno de programación, puede construir y resolver modelos y crear algoritmos personalizados basados en las rutinas y solucionadores de problemas de LINDO.
- Ayuda y documentación extensa. LINDO proporciona todas las herramientas que usted necesitará para aprender a manejarlo rápidamente. Tienes acceso al Manual del usuario LINDO (en formato impreso y disponible en línea en formato pdf), que incluye las definiciones de función detallada para todas las rutinas. También se incluyen en el manual una discusión para ayudarle a escribir sus propias aplicaciones.
- Analizar modelos inviable y sin límite. LINDO incluye herramientas que permiten buscar soluciones a los modelos inviables y sin límite, usando las herramientas de aislar una porción del modelo original como la fuente del problema. Esto le permite enfocar su atención en una subdivisión relativamente pequeña del modelo para buscar una formulación o errores de entrada de datos. Inviabile lineal, no lineal, cuadrático y modelos entero, las herramientas pueden encontrar un conjunto de restricciones (IIS) irreductiblemente inconsistente, y en los modelos sin límites, las herramientas pueden encontrar un conjunto irreductiblemente ilimitado de columnas (IUS).
- Crear aplicaciones de Intranet y Web. Le permiten crear aplicaciones Web y redes que manejan múltiples usuarios en sesiones simultáneamente.
- Flexibilidad en el tamaño modelo. LINDO está disponible en una variedad de diferentes capacidades. La gama de capacidades va desde unas cien variables a versiones con capacidad ilimitada, así que usted puede seleccionar el producto que mejor se adapte a sus necesidades para un problema particular.

3.5.3 PHPSimplex

PHPSimplex es una herramienta en línea para resolver problemas de programación lineal. Su uso es libre y gratuito. Es capaz de resolver problemas mediante el método Simplex, el método de las dos fases, y el método gráfico, y no cuenta con limitaciones en el número de variables de decisión ni en las restricciones de los problemas.

Esta herramienta está pensada para ayudar a los estudiantes en su aprendizaje, ya que no solo muestra los resultados finales sino también las operaciones intermedias. También ofrece la solución directa para uso de profesionales. Otras de sus ventajas son que no precisa de ningún lenguaje para enunciar el problema, ofrece una interfaz amigable, es cercano al usuario, de

manejo fácil e intuitivo, no es necesario instalar nada para poder usarlo, y está disponible en varios idiomas.

3.5.4 Solver

Solver es una herramienta que permite resolver y optimizar ecuaciones mediante métodos numéricos. Resuelve problemas lineales, no lineales y enteros. En la investigación de operaciones se construyen modelos para el análisis y la toma de decisiones administrativas. Solver trabaja con problemas que dependen de numerosas celdas y pueden ayudar a encontrar numerosas combinaciones de variables que maximizan o minimizan una celda objetivo.

También permite establecer restricciones, condiciones que debe de cumplir para que la solución sea válida. Es posible resolver problemas que tengan hasta 200 variables de decisión.

Dentro de las diferentes versiones que se tienen de Solver, está el agregado para Excel, que es un componente opcional para cálculos de optimización, es decir, permite especificar un objetivo que depende de una serie de variables de entrada, y luego hacer que encuentre el grupo de variables que se acerquen más al objetivo.

El componente Solver forma parte de una serie de comandos a veces denominados herramientas de análisis. Con Solver, puede encontrar un valor óptimo (mínimo o máximo) para una fórmula en una celda, denominada la celda objetivo, sujeta a restricciones o limitaciones en los valores de otras celdas de fórmula en una hoja de cálculo. Solver trabaja con un grupo de celdas llamadas celdas de variables de decisión, o simplemente celdas de variables, que participan en el cómputo de fórmulas en las celdas objetivo y de restricción. Solver ajusta los valores en las celdas de variables de decisión para cumplir con los límites en las celdas de restricción y producir el resultado deseado para la celda objetivo.

Los métodos de resolución usados por Solver son tres diferentes algoritmos:

- Generalized Reduced Gradient (GRG) Nonlinear. Este se usa para problemas que son no lineales suavizados.
- LP Simplex. Se usa para problemas lineales.
- Evolutionary. Se usa para problemas no suavizados.

3.5 Principales aplicaciones

La programación lineal constituye un importante campo de la optimización por varias razones, muchos problemas prácticos de la investigación de operaciones pueden plantearse como problemas de programación lineal. Algunos casos especiales de programación lineal, tales como los problemas de flujo de redes y problemas de flujo de mercancías, se consideraron en el desarrollo de las matemáticas lo suficientemente importantes como para generar por sí mismos mucha investigación sobre algoritmos especializados en su solución.

Una serie de algoritmos diseñados para resolver otros tipos de problemas de optimización

constituyen casos particulares de la más amplia técnica de la programación lineal. Históricamente, las ideas de programación lineal han inspirado muchos de los conceptos centrales de la teoría de optimización tales como la dualidad, la descomposición y la importancia de la convexidad y sus generalizaciones. Del mismo modo, la programación lineal es muy usada en la microeconomía y la administración de empresas, ya sea para aumentar al máximo los ingresos o reducir al mínimo los costos de un sistema de producción. Algunos ejemplos son la mezcla de alimentos, la gestión de inventarios, la cartera y la gestión de las finanzas, la asignación de recursos humanos y recursos de máquinas, la planificación de campañas de publicidad, etc.

Ejemplos de aplicaciones existen muchos y en distintos sectores, no solo económicos sino también en áreas sociales. Por mencionar algunas están las siguientes:

- Dirección académica
- Dirección de agricultura
- Organización
- Producción y planificación de energía
- Ingeniería (de todas las áreas)
- Finanzas
- Planificación urbana
- Tecnologías de la Información
- Administración de recursos naturales
- Planificación de la producción
- Planificación socio-económica (A. Taha, 1995), entre otras.

Capítulo 4 Caracterización y análisis de las variables

4.1 Introducción

El incorporar en las vivienda nuevas tecnologías que le permitan al usuario la optimización de los recursos o mejorar aspectos como comodidad o seguridad, resulta una tarea complicada, debido a la falta de información conjuntamente con la falta de confianza hacia los productos y los proveedores, quienes hacen propuestas basadas en las experiencias anteriores o en las marcas de productos a los cuales representan.

Para llevar a cabo de forma exitosa la implementación, instalación y puesta en marcha de un sistema domótico, se requiere una metodología que permita dar a conocer en todo momento las mejoras que serán percibidas con la instalación de los mismos desde el inicio, lo que se podrá percibir en el futuro y tener la seguridad de que los sistemas establecidos, son los que permitirán tener un retorno de inversión.

En este capítulo se presenta la caracterización de los sistemas domóticos, considerando a su vez las variables económicas, ecológicas y sociales, que influyen en la incorporación de nuevas tecnologías en los hogares.

El objetivo es diseñar un modelo lineal que permita mostrar al usuario de una forma confiable y con datos específicos, los diferentes beneficios que se pueden tener si se implementan estos dispositivos en las viviendas.

4.2 Caracterización de los sistemas domóticos

Como se mencionó anteriormente, existe una gran variedad de factores que influyen a la hora de tratar de implementar nuevas tecnologías en los hogares, existen variables que afectan de manera directa y otras de forma indirecta.

La inexistencia de estudios a profundidad al inicio del proyecto para la implementación de nuevas tecnologías en viviendas de bajos recursos, provoca el fracaso comercial de algunos dispositivos diseñados para ser usados en estas, incluso por parte de grandes organizaciones industriales, al no cubrir las necesidades reales de los usuarios. Esto hace referencia a reforzar la idea de que antes de llevar a cabo el proyecto de la instalación de un sistema domótico, deben ser considerados diferentes factores para su éxito, ya que no todas las soluciones resultan viables a ser implementadas e inclusive, no todos los sistemas a gestionar son realmente importantes para el usuario en este sector de la población.

Para alcanzar el objetivo planteado, es de suma importancia la caracterización de las variables que requeridas para el diseño del sistema, de manera que permita percibir beneficios tangibles a los usuarios. Para este caso en particular, se analizarán las variables desde el punto de vista económico, social y ecológico, ya que resultan importantes debido a la interacción que tienen

dentro del hogar. Además, se requiere hacer el análisis de las características de la región, de las viviendas así como de las tecnologías. Es decir, se requiere distinguir los elementos esenciales de los sistemas tecnológicos, de las viviendas así como la región en donde será implementado el sistema para que conjuntamente con las variables económicas, ecológicas y sociales, se pueda obtener la solución óptima a partir del modelo propuesto.

Con esta información se podrán determinar las variables directas así como las variables indirectas que afectan al modelo, su grado de intervención y la manera en la que serán manejadas dentro de este. Un diagrama general del modelo se muestra en la Figura 4.1.

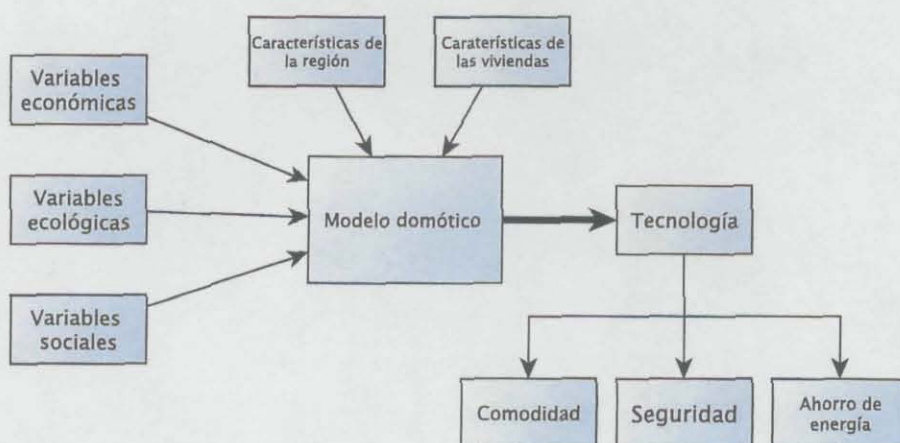


Figura 4.1 Variables que influyen en el modelo.

Para obtener un modelo integral, deben de ser consideradas las variables económicas y sociales, que describan la situación particular del usuario al que va dirigido el diseño; las variables ecológicas así como las características de la región, que permitan determinar el impacto ambiental pero a su vez obtener el mayor provecho del mismo; las características de las viviendas y las características tecnológicas, que permita hacer una selección para el éxito del mismo, y poder establecer entre todas, el diseño del modelo lineal que represente la interacción entre estas y con ello, establecer la tecnología que resulte óptima para el usuario y que permita a su vez, incrementar beneficios tangibles según las prioridades establecidas. A continuación se presenta el análisis de cada uno.

4.2.1 Características de las viviendas

A pesar de que el objetivo es generar soluciones que puedan impactar en la mayoría de las viviendas de bajos recursos, estas deben de cumplir con ciertas características básicas. Las variables de las viviendas son muchas y sería muy complicado tratar de involucrarlas a todas, ya que van desde cuestiones estructurales hasta de diseño. Para solucionar este problema y poder incorporar la mayoría en el modelo, se han agrupado como se muestran a continuación:

- Costo de la vivienda.
- Distribución del espacio como el número de habitaciones, estancias, metros cuadrados del patio, espacio para ampliación, cantidad de baños y si tiene o no cochera.
- Servicios básicos, es decir, si se cuenta con la infraestructura e instalación de los servicios básicos como son agua, luz y drenaje.
- Servicios públicos con los que se cuenta, como serían calles pavimentadas, áreas recreativas, iluminación pública, medios y vías de comunicación adecuada, hospitales, escuelas y comercios.

De las variables anteriores, la más importante es el costo de la vivienda, porque en torno a esta se encuentran todas las demás. La mayoría de las viviendas de bajos recursos son adquiridas mediante algún financiamiento con apoyo de instituciones gubernamentales como el INFONAVIT y, de acuerdo al salario que percibe el trabajador, es la cantidad de crédito con el que éste puede ser apoyado. Lo que a su vez, determina la cantidad de años requeridos para el financiamiento así como la tasa de interés y por supuesto, las características de las viviendas.

De acuerdo a los datos del INFONAVIT al 31 de diciembre de 2012, existen cuatro cajones salariales para el otorgamiento de créditos. El primero de ellos es para los que perciben menos de dos veces el salario mínimo mensual (vsm) y el segundo son para los trabajadores que perciben entre 2 y 3.99 vsm. Para ambos casos, las viviendas son muy básicas en cuanto a su espacio, cuentan muchas veces solo con una recámara así como un espacio pequeño y compartido para sala-comedor, un pequeño patio y baño, la mayoría con servicios básicos como agua, drenaje y luz. Para este tipo de viviendas el consumo en los servicios básicos es mínimo, y como la mayoría de estas viviendas se encuentran en colonias populares, reciben subsidio federal en el cobro tanto para agua como para energía eléctrica.

El tercero de los cajones salariales para el otorgamiento de créditos, es para trabajadores que perciben un salario mensual de 4 a 10.99 vsm. El crédito otorgado a los trabajadores con este rango de salario va desde los \$300,000.00 pesos, con lo cual la vivienda que puede ser adquirida está mejor distribuida, con más espacios así como mejor ubicación, claro que esto varía de acuerdo a las diferentes constructoras. Este tipo de viviendas cuentan hasta con tres recámaras, baño, sala comedor, cocina, patio de servicio y cochera, además de mejor calidad en los acabados. Estas viviendas también cuentan con servicios básicos.

Finalmente se encuentran los trabajadores que perciben un salario mayor a los 10.99 vsm. El crédito otorgado es suficiente para comprar casas medio residenciales y con una excelente ubicación, cuya distribución de espacios y servicios es la mejor dentro de los cuatro cajones establecidos.

De acuerdo a lo anterior y haciendo un análisis de las características que pueden influir en el modelo, serán consideradas las que se muestran en la Figura 4.2.

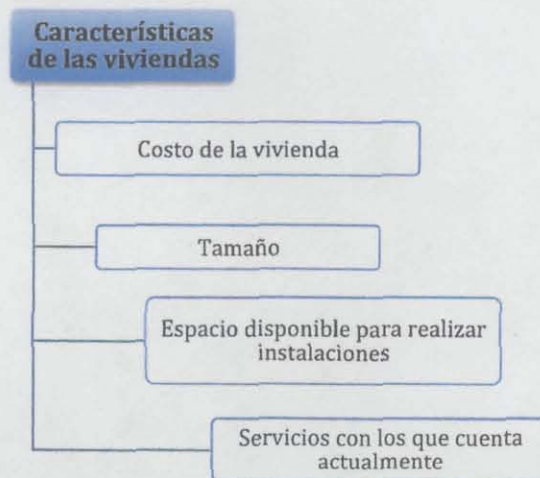


Figura 4.2 Características de las viviendas.

El costo de la vivienda resulta importante por el hecho de que dependiendo de este, es la cantidad de dinero que puede ser destinada a la incorporación de nuevos dispositivos, que según varios autores, un 20% del costo total de la vivienda sería suficiente para poder tener una vivienda completamente automatizada. El tamaño de la vivienda va de la mano con el espacio disponible para realizar instalaciones. Este punto resulta de trascendencia porque si se pretende colocar una celda solar por ejemplo, es importante tener el espacio adecuado para hacerlo. Además, las viviendas a las que va dirigido el modelo deben contar con los servicios básicos que son agua, energía eléctrica y gas de manera que se pueda impactar en estos rubros.

4.2.2 Características de la región

Es importante conocer las características de la región en donde será instalado el sistema, ya que de esta también depende el buen funcionamiento del mismo, así como del beneficio que se logre.

En México, de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el clima está determinado por varios factores entre los que se encuentran la altitud sobre el nivel del mar, la latitud geográfica, las diversas condiciones atmosféricas y la distribución existente de tierra y agua. Por lo anterior, el país cuenta con una gran diversidad de climas, los cuales de manera muy general pueden clasificarse, según su temperatura, en cálido y templado; y de acuerdo con la humedad existente en el medio, en: húmedo, subhúmedo y muy seco.

El clima seco se encuentra en la mayor parte del centro y norte del país, región que comprende el 28.3% del territorio nacional; se caracteriza por la circulación de los vientos, lo cual provoca escasa nubosidad y precipitaciones de 300 a 600 mm anuales, con temperaturas en promedio de 22° a 26° C en algunas regiones, y en otras de 18° a 22° C.

El clima muy seco registra temperaturas en promedio de 18° a 22° C, con casos extremos de más de 26°C; presentando precipitaciones anuales de 100 a 300 mm en promedio, se encuentra en el 20.8% del país.

En relación al clima cálido, éste se subdivide en cálido húmedo y cálido subhúmedo. El primero de ellos ocupa el 4.7% del territorio nacional y se caracteriza por tener una temperatura media anual entre 22° y 26°C y precipitaciones de 2,000 a 4,000 mm anuales. Por su parte, el clima cálido subhúmedo se encuentra en el 23% del país; en él se registran precipitaciones entre 1,000 y 2,000 mm anuales y temperaturas que oscilan de 22° y 26°, con regiones en donde superan los 26°C.

Finalmente, el clima templado se divide en húmedo y subhúmedo; en el primero de ellos se registran temperaturas entre 18° y 22°C y precipitaciones en promedio de 2,000 a 4,000 mm anuales; comprende el 2.7% del territorio nacional. Respecto al clima templado subhúmedo, se encuentra en el 20.5% del país, observa en su mayoría temperaturas entre 10° y 18° C y de 18° a 22°C, sin embargo en algunas regiones puede disminuir a menos de 10°C; registra precipitaciones de 600 a 1,000 mm en promedio durante el año.

Por lo anterior, se observa que una tecnología que se utilizará en el norte del país, en donde la precipitación pluvial es menor que en el sur del país no será la misma, en su diseño o en su implementación. Esto genera que las necesidades de las regiones sean diferentes debido a cuestiones climatológicas, sin embargo, abarcar todas las variables climatológicas de la región sería muy complicado, por lo que las variables más representativas para el uso de nuevas tecnologías son las que se muestran en la Figura 4.3.

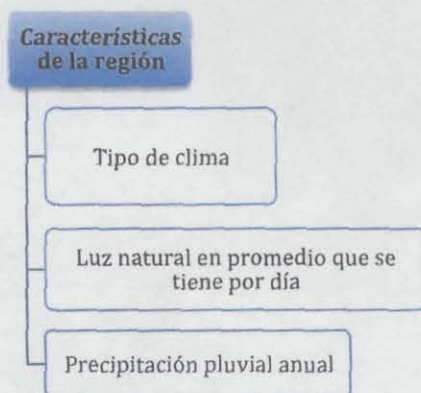


Figura 4.3 Características de la región.

Estas variables permiten identificar necesidades de acuerdo a la región en donde se pretenda implementar el sistema, es decir, en el norte del país es muy importante cuidar lo más posible el agua, debido a la poca precipitación pluvial, en tanto que en el sur de país, se requiere mayor cuidado de la energía eléctrica dado el uso del aire acondicionado.

4.2.3 Características de las tecnologías

Existe una cantidad muy grande de nuevas tecnologías que pueden ser implementadas en las viviendas, cada una de ellas satisfaciendo diferentes necesidades y estas a su vez, tienen diferentes características. Sin embargo, el objetivo de cada una de ellas es la misma, satisfacer

las necesidades de los usuarios modificando su entorno siempre con la finalidad de que sea más placentero, ayudando en tareas que pudieran ser repetitivas, optimizando consumos, ahorrando tiempo, dinero y esfuerzo y con ello, mejorando la calidad de vida. A su vez, se debe estar consciente que la tecnología lleva consigo una revolución social paralela, ya que es necesario adaptarse a los nuevos cambios. En ocasiones, estas variaciones se dan de una forma tan rápida que crean problemas sociales incluso antes de que la sociedad sea capaz de encontrar soluciones.

De acuerdo a lo anterior, e independientemente del rubro que se pudiera cubrir con la nueva tecnología, las características más importantes por ser consideradas son las que se presentan en la Figura 4.4.

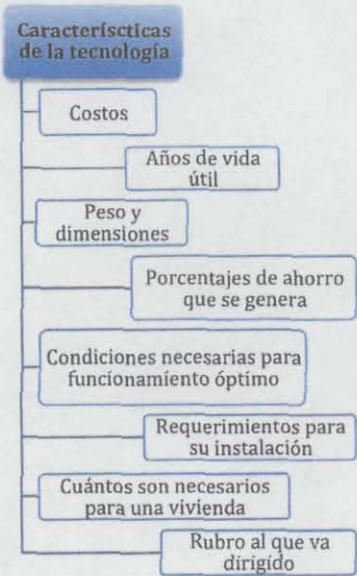


Figura 4.4 Características de la tecnología

Entonces los costos, los años de vida útil, el porcentaje de ahorro, los requerimientos para su instalación así como la cantidad necesaria de dispositivos para satisfacer las necesidades propias de la vivienda, proporcionan una idea clara de la inversión inicial así como del retorno de inversión de los mimos; mientras que el peso y dimensiones así como las condiciones necesarias para el óptimo funcionamiento, son características que deben de ser consideradas en las viviendas a las que va dirigida esta nueva tecnología, así como se deberán considerar las características climatológicas de la región donde será instalada.

Finalmente, el rubro al que va dirigida la tecnología representa el tipo de beneficio que el usuario va a percibir, por ejemplo, la nueva tecnología puede estar destinada a optimizar el rubro del agua o de la energía.

4.2.4 Variables económicas

En forma general existe un rechazo inherente a la incorporación de nuevas tecnologías, esto debido principalmente a la falta de información y a las cuestiones económicas, ya que significa hacer una inversión inicial.

Es por ello que las variables económicas son de las más importantes para el usuario, tienen una influencia directa en el hecho de aceptar implementar o no nuevas tecnologías en sus hogares, inclusive si se tratara de hacer cambios mínimos. Esto se acentúa aún más cuando se trata de viviendas de bajos recursos, en donde la cantidad de recurso destinado para este tipo de rubros es escasa y la mayoría de las veces nula.

En este sentido, en el aspecto económico, el usuario de la vivienda debe de tener una clara percepción del retorno de inversión que recibirá al decidir instalar o comprar una vivienda de bajos recursos con un sistema domótico sustentable instalado, o bien, después de realizar los cambios necesarios si la vivienda ya haya sido adquirida. El usuario pone principal atención al costo de la tecnología, consecuencias estéticas de la instalación así como el costo adicional que esto significa, además del tiempo requerido para percibir el beneficio de manera tangible, razón principal por la cual fue adquirido dicho producto. Para ello, es necesario considerar los aspectos económicos mostrados en la Figura 4.5.

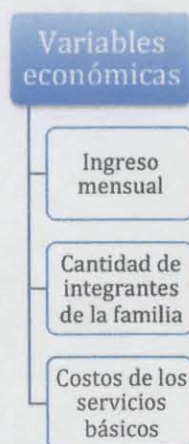


Figura 4.5 Variables económicas

Los sueldos dan una clara idea de la cantidad de recurso con el que se cuenta de manera mensual, es decir, el cajón salarial en el que se encuentra el usuario y con ello, el tipo de dispositivos que pueden ser incluidos. La cantidad de integrantes que tiene la familia, tiene una relación directa con la cantidad de recursos en insumos básicos de la vivienda que se gastan de manera mensual, que permita hacer un análisis del retorno de inversión, así como tener una idea clara de los porcentajes de ahorro que deben ser satisfechos con el sistema para este tipo de usuarios.

4.2.5 Variables ecológicas

El del cuidado de los recursos, en particular de los no renovables, es uno de los objetivos actuales de gran aceptación y por tanto, representa un avance significativo en el uso de nuevas tecnologías. La idea principal es la de buscar la manera de aprovechar al máximo lo que se tiene de forma natural, dando mejor distribución de los espacios, aprovechando la iluminación natural, el reciclado y almacenamiento del agua, incluyendo la pluvial, así como la utilización de energías renovables. Esto tiene gran impacto no solo en las viviendas, sino a nivel de comunidades, regiones e inclusive globales, por el hecho de reducir la huella ecológica.

Es sabido que a nivel mundial existen consecuencias graves por del mal aprovechamiento de los recursos y la sobre explotación de los mismos. Diferentes organismos han comenzado a buscar la manera de concientizar a las personas de lo que significaría hacer cambios en los hábitos de consumo, desde los más sencillos hasta los que requieren de hacer algunas modificaciones en las instalaciones o infraestructura de las viviendas.

El desarrollo sostenible, según el informe de la comisión Brundtland (Brundtland & G.H.), supone una gestión de recursos renovables sometida a dos principios: las tasas de recolección deben ser iguales a las tasas de regeneración (producción sostenible) y las tasas de emisión de residuos, deben ser iguales a las capacidades naturales de asimilación de los ecosistemas donde se emiten los residuos. Los recursos no renovables se deben gestionar de manera que su tasa de vaciado se limite a la tasa de creación de sustitutos renovables. Otros factores como la tecnología, también tienen que armonizarse con el desarrollo sostenible (Daly H.).

Resulta entonces interesante el enfoque que actualmente se tiene en cuanto al desarrollo y la sustentabilidad de una nación, desde un punto de vista social, el ahorro y la eficiencia energética no sólo aseguran el abastecimiento energético y mejoran el medio ambiente, sino que también ayudan a incrementar la competitividad del sector industrial, beneficiando el aumento del Producto Interior Bruto del País.

La tecnología bien aplicada puede intervenir en ese sentido. A nivel mundial, las demandas de todo tipo de consumos, pero principalmente de energía y de agua, son cada vez mayores. Al ritmo actual de crecimiento que se tiene a nivel mundial, sólo se tardarán 35 años en duplicar el consumo de energía y menos de 55 años en triplicarlo (Díaz Juárez, 2006). Aunado a esto, los precios de la electricidad, el agua, y los combustibles como el gas, evolucionan con una tendencia alcista, consecuencia del carácter perecedero de las energías no renovables y el imparable incremento de la intensidad energética. Entonces, es evidente que se requiere pensar en cómo dar soluciones a este tipo de problemáticas a nivel mundial, considerando tanto la tasa de crecimiento poblacional, así como la tasa de utilización de los recursos naturales, buscando la optimización de los mismos.

Para poder proponer una solución tecnológica que pueda resolver este tipo de problemáticas, es necesario conocer los consumos que se tienen actualmente en tres rubros importantes que son el del agua, del gas y de la energía. Entonces, las variables consideradas en lo referente a la ecología, son las mostradas en la Figura 4.6.

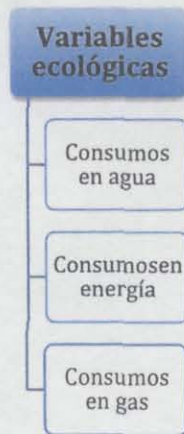


Figura 4.6 Variables ecológicas

4.2.6 Variables sociales

Las variables sociales conllevan una complejidad adicional al involucrarlas en un proyecto de base tecnológica, ya que van desde los valores, las creencias, la moda, los estilos de vida, etc., y todo ello influirá en el éxito al implementarlo.

Las variables sociales reflejan los cambios que se dan en la cultura de distintos lugares o clases sociales, la cual se manifiesta en la forma de expresarse de determinados grupos sociales o en la adaptación a cambios radicales en sus estilos de vida. A su vez, las variables sociales se presentan entre distintos países y muchas veces dentro de uno mismo, ya que las personas se ven influidas en su modo de vida de acuerdo a sus costumbres, al lugar en donde viven, sus festividades, así como a su herencia cultural y socioeconómica.

Las variables sociales y su relación con el uso de tecnologías, se pueden clasificar dentro de lo que se conoce como adopción de tecnología, la cual es la capacidad que tiene cierta sociedad en asimilar el uso de nuevas tecnologías que van desde el hogar, hasta grandes corporativos. Cuando se intenta adoptar una tecnología nueva que permita una innovación en las empresas por ejemplo, se comienza con la aceptación en la vida cotidiana por parte de todos los involucrados como empleados o usuarios, la cual se lleva a cabo en varias etapas que son la de conciencia, la de conocimiento, la etapa de aprobación, la de confianza y finalmente la de adopción. Estas etapas han sido consideradas en múltiples investigaciones y han demostrado ser útiles en la evaluación de la adopción de la tecnología en diferentes contextos y poblaciones.

De manera que las diferentes etapas de aceptación del uso de nuevas tecnologías tienen una relación directa con la edad de las personas involucradas, el nivel de educación así como el grado de uso de las tecnologías por parte de los usuarios, las cuales serán las variables que resultan representativas para el modelo por lo cual serán involucradas, y se muestran en la Figura 4.7.

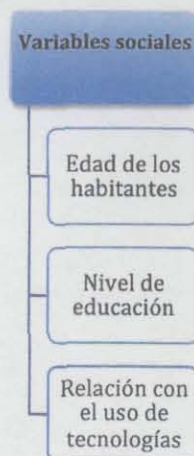


Figura 4.7 Variables sociales

4.3 Elaboración del instrumento de medición.

Ahora que ya se tienen identificadas las variables que influyen en el modelo, es necesario medir el grado de impacto que cada una de estas tiene. Para ello se elabora un instrumento de medición que permite recolectar los datos de manera confiable y representativa.

4.3.1 Selección de la población de estudio

Se inicia con la definición de la población objetivo del estudio, como se mencionó anteriormente, existen varios escenarios. En particular, el presente trabajo se llevó a cabo en el Estado de Zacatecas, propiamente en los municipios de Zacatecas y Guadalupe, considerando las viviendas que se engloban en el segundo de los cajones salariales según el INFONAVIT, es decir, para personas que perciben un salario mensual entre el 4 y 10.99 vsm vigente, pero que además las viviendas cumplan con el requerimiento de haber sido construidas y adquiridas mediante algún tipo de crédito otorgado a los trabajadores. Estas viviendas tienen características similares en metros cuadrados de terreno, metros construidos, distribución de la construcción, materiales utilizados y costo de la vivienda. Además, estas viviendas cuentan con servicios básicos como agua, luz y drenaje. Cabe destacar que estas viviendas tienen un costo desde los \$300,000.00 pesos.

El universo a estudiar es el total de créditos otorgados por el INFONAVIT en el año 2012, con un total de 1,578 créditos aprobados con un rango salarial que abarca de 4 hasta 10.99 vsm, esto es un salario que va de los \$9,800.00 pesos a los \$19,500.00 pesos mensuales aproximadamente.

La muestra óptima requerida para un resultado confiable de la información y un mínimo nivel de error, se calculó utilizando el programa STATS. Debido a que es una encuesta exploratoria, es decir una investigación poco estudiada hasta hoy en día, el nivel máximo de error aceptado es del

orden del 7% y el mínimo nivel de confianza es de 93%. El tamaño de la muestra resultante es de 174, es decir, tendrán que ser aplicadas como mínimo 174 encuestas.

Una vez calculado el tamaño de la muestra, se realizó la búsqueda de colonias dentro de los municipios establecidos, con viviendas que contaran con las características establecidas anteriormente, dando un total de nueve colonias, las cuales se seleccionaron aleatoriamente. Las colonias elegidas son: Villa Fontana y las Fuentes, ubicadas en el municipio de Guadalupe, así como la colonia de Colinas del Padre en el municipio de Zacatecas.

4.3.2 Elaboración de la encuesta

Se elaboran dos encuestas donde se plantean enunciados respecto a los puntos que se mencionan de las diferentes variables que influyen en el modelo.

El instrumento recolector de información es una encuesta exploratoria, ya que hasta el momento no hay información previa sobre las necesidades de los usuarios respecto a la tecnología que usan y la relación que guardan con los sistemas domóticos sustentables. La primera parte de la encuesta elaborada en su mayoría es policotómica, es decir, más de dos respuestas posibles; mientras que la segunda parte contiene afirmaciones o negaciones en base al escalamiento de Likert, donde el valor máximo es 5 y el mínimo 1 en afirmaciones positivas, donde el 5 representa definitivamente sí y el 1 definitivamente no. Para las preguntas con negación, la valoración dada es viceversa (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Bepista Lucio, 2010).

La primera parte de la encuesta se enfoca en recolectar información personal de los entrevistados como edad, sexo, escolaridad, ocupación, consumos actuales en gas, energía y agua, etc.. Mientras que la segunda parte está enfocada a obtener información sobre la percepción que los usuarios tienen hacia los sistemas domóticos sustentables, tal como utilidad, funcionamiento, viabilidad, vida útil, retorno de inversión, etc. Esta encuesta se aplicó de manera personalizada a los entrevistados. La encuesta se encuentra en el Anexo 1 del presente trabajo.

4.3.3 Análisis de la información

Para el procesamiento de la información se utilizó el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 19.0. Para ello fue necesario crear una base de datos con las respuestas de las encuestas, donde cada encuesta se identificó con un número único tomando en cuenta la colonia donde se aplicó y el número de encuesta. Estas encuestas fueron aplicadas entre los meses de febrero y marzo de 2013. A continuación se muestran los resultados de los datos más importantes encontrados en la realización del análisis de la información, y que resultan relevantes para el modelo lineal.

La Figura 4.8 muestra el promedio de edad de las personas que respondieron las encuestas, en la cual se puede observar que el mayor porcentaje fue de un rango de edad entre 18 a 29 años con un 52%, por lo que se puede considerar que es una población joven, seguida por la población de 30-39 años con un 21.71%.

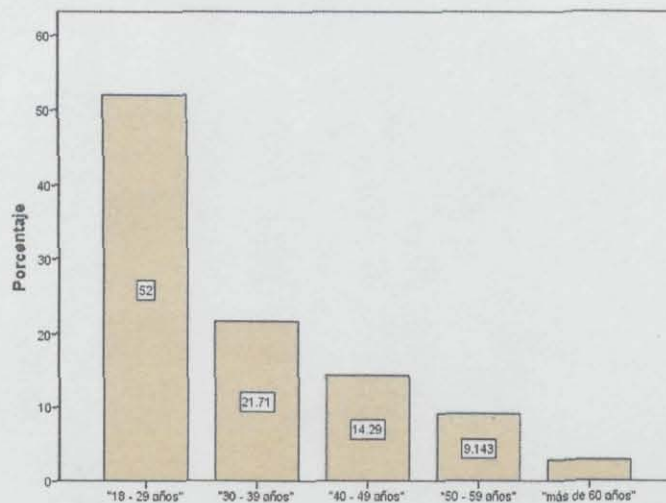


Figura 4.8 Edad promedio de las personas entrevistadas.

La Figura 4.9 muestra el grado de escolaridad de los entrevistados, donde el resultado tiene una tendencia a personas con estudios de licenciatura o equivalente, cosa contraria a lo que se podría pensar en un principio, donde el 44.57% de los entrevistados tienen estudios de licenciatura, seguido por las personas con un posgrado con un 16.57%.

De las familias entrevistadas, las edades de los hijos son, en un 45.4% menores de 10 años, un 33.2% eran mayores de 10 años pero menores de 20, y el resto son mayores de 20 años. Esto resulta relevante en el hecho de que según datos publicados, las personas con una mayor preparación así como los jóvenes, oponen menor resistencia a los cambios generados por el uso de nuevos dispositivos, les resulta más fácil la aceptación y uso de las tecnologías en el hogar. Por otra parte, se encuentran las personas con menor preparación así como personas adultas, para quienes lo tradicional es simple y sencillamente lo mejor.



Figura 4.9 Grado de escolaridad de los entrevistados.

Además, los resultados arrojan que la mayoría de las familias están formadas por cuatro integrantes, dando sustento al nuevo modelo familiar del siglo XXI. Pero también existen familias conformadas hasta por siete personas, incluyendo alguno o ambos de los abuelos. Esto es relevante, porque dependiendo de la cantidad de habitantes es la cantidad de recursos que se usan y por lo tanto, de gastos generados en el hogar.

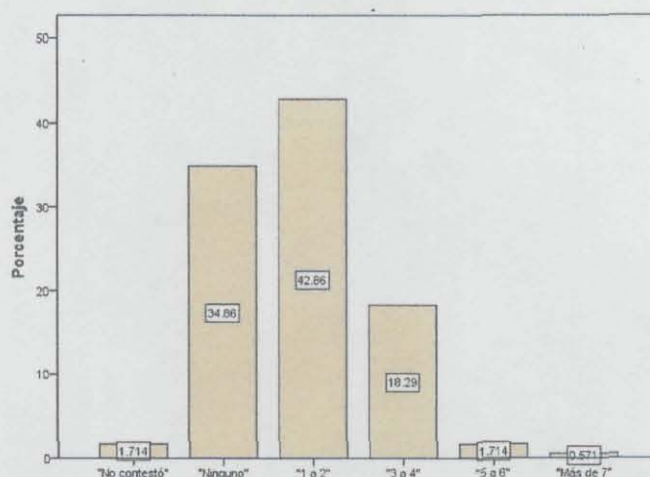


Figura 4.10 Número de hijos de las personas entrevistadas.

Durante la aplicación de las encuestas se observó que debido al grado de inseguridad actual existente en el país, las personas se mostraron desconfiadas al seleccionar el rango de su salario mensual, por lo que los resultados pueden variar en cuanto a los datos proporcionados por INEGI para este sector de la población. En la Figura 4.11 se muestra los rangos de ingresos donde un 47.43% recibe un ingreso menor de 3,000 pesos, seguido por las personas con un ingreso de entre 3,000 y 5,000 mil pesos con un porcentaje de 20.57%.

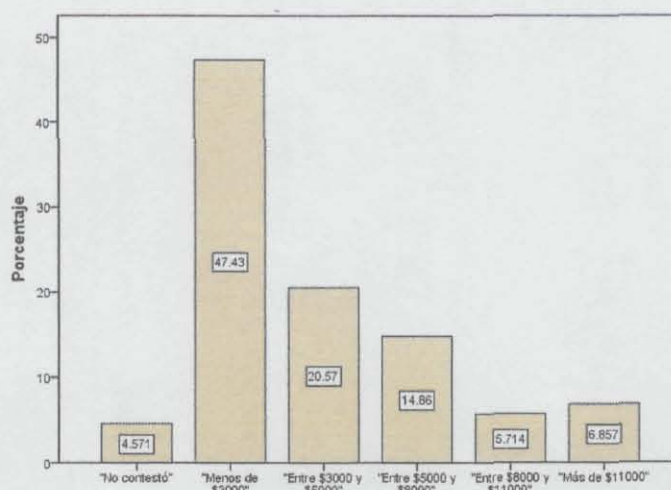


Figura 4.11 Ingreso mensual de los entrevistados

Para tener una idea general del uso de los servicios básicos y tecnologías que se usan actualmente en el hogar, se planteó una pregunta que englobaba algunos elementos que se consideraron importantes para el presente trabajo, como son el grado de uso de focos ahorradores, calentadores solares, sistemas de seguridad, etc. A continuación se muestran los resultados:

- Uso de focos ahorradores: 86.29% de los encuestados respondieron afirmativamente en el uso de estos.
- Uso de calentador solar: 85.14% de las personas no cuentan con uno.
- Uso de cualquier tipo de alarma de seguridad: A pesar de la inseguridad, esta medida aun no es una opción, 82.86% de los encuestados no cuenta con ningún sistema.
- Uso de cámaras de seguridad: 92% de los entrevistados no cuenta con una.
- Uso de Internet: Este ha tenido una gran aceptación, el 63.43% de los entrevistados cuentan con el servicio en su hogar.
- Uso de computadora: 76.57% de los hogares cuenta con esta tecnología.
- Uso de electrodomésticos programables: 56% dijo que si contaba con algún tipo de electrodomésticos programables.
- Uso de agenda electrónica: 78.29% aún no cuenta con esta tecnología.
- Servicios básicos: 94.86% de los entrevistados si cuenta con estos.

Uno de los aspectos más importantes en los resultados, son los datos relacionados con el consumo actual en los servicios básicos, de acuerdo con los datos obtenidos son los siguientes:

- En agua, 71.3% consume menos de \$100 pesos mensuales.
- En energía, el consumo de manera bimestral en promedio es de \$304 pesos.
- En cuanto al gas, 82.4% menciona que se termina un cilindro de gas en aproximadamente un mes y medio.

También, dentro de la encuesta se pregunto acerca de los diferentes electrodomésticos y línea blanca que tienen en el hogar, los resultados arrojaron que 98.2% tienen en sus casas televisiones y lavadoras, 73% tienen refrigerador, plancha y licuadoras, en tanto que un 46.6% tienen microondas y estéreo. Además, El 100% hubiera preferido comprar la casa con el sistema tecnológico ya instalado y el 61.2% invertiría en nuevas tecnologías para su vivienda sólo si existen centros de soporte técnico que puedan dar mantenimiento o reparación garantizando el correcto funcionamiento de los mismos. Finalmente, sólo el 4.4% de todos los entrevistados invertiría en nuevas tecnologías sin tener que solicitar algún tipo de préstamo o crédito.

La segunda parte del cuestionario hace una serie de afirmaciones o negaciones respecto a diferentes aspectos del uso de tecnologías.

En el tema de características sociales, se hacen una serie de planteamientos relacionados con la seguridad, atención a niños y adultos mayores, comodidad en el hogar, gastos en adquisición de tecnologías y productos dedicados al cuidado del medio habiente. El resultado de estos planteamientos arroja una inclinación positiva con las afirmaciones planteadas, dando una media de 3.71 a favor del uso de nuevas tecnologías, como se muestra en la Figura 4.12.

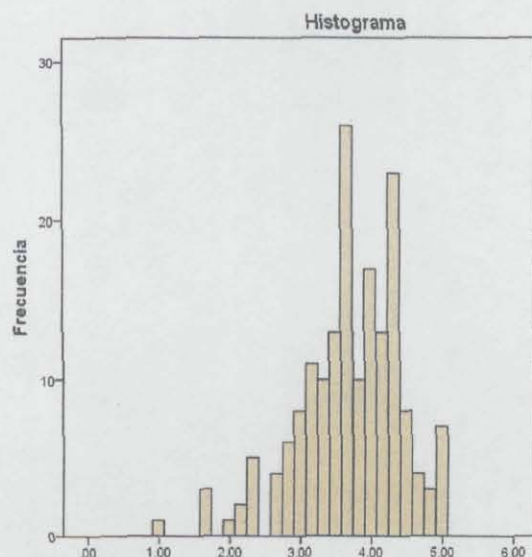


Figura 4.12 Características sociales.

En tanto, para interpretar los datos respecto a la calidad de vida de los encuestados, se hacen enunciados que toman en cuenta aspectos como el ahorro de gastos en el hogar, comodidad respecto a acciones de encendido/apagado de luces o calefacción, cuidado del medio ambiente, etc. La media obtenida en este punto es de 3.78, donde se interpreta que los entrevistados están a favor del uso de nuevas tecnologías de manera que contribuyan a una mejora en cuanto a los temas de comodidad, confort, seguridad y ocio. A pesar de que el valor de la media es favorable a los sistemas, aún se tiene hermetismo en ellos, esto se observa en la desviación típica que se inclina hacia el poco interés de las personas, con un valor de .534.

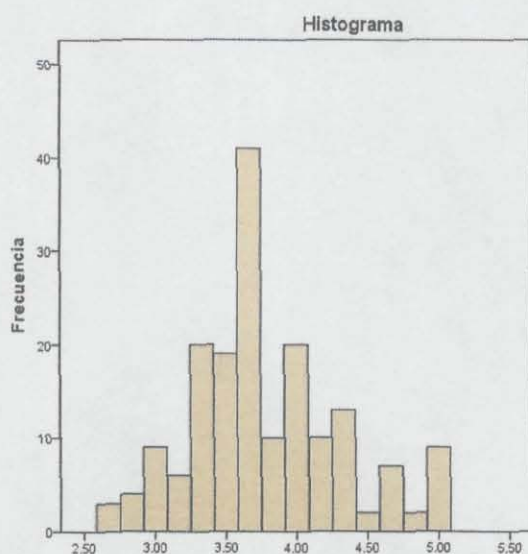


Figura 4.13 Mejoras en la calidad de vida.

Para conocer cómo se percibe el ahorro de energía que se genera con el uso de las nuevas tecnologías, se realizan preguntas en torno a la adquisición de productos para este rubro, como

calentadores solares o focos ahorradores, uso de energías alternativas, etc. Los resultados indican una media con un 3.22, lo que quiere decir que a pesar de que la inclinación es favorable, las opiniones están divididas, ya que no a todos les queda claro la aportación que se puede tener con el uso de nuevas tecnologías en el ahorro de energía. Esto se muestra en la Figura 4.14.

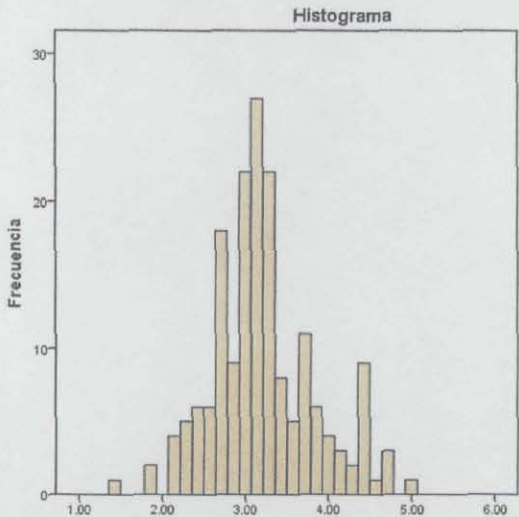


Figura 4.14 Percepción en el ahorro de energía usando nuevas tecnologías.

El consumo de gas, agua y luz generan gastos económicos que las personas tienen que cubrir de manera mensual y que repercuten en el gasto familiar. El gasto de insumos básicos que generan estos servicios se puede disminuir con la implementación de nuevas tecnologías, proporcionando un mejor aprovechamiento de dichos recursos. De acuerdo a los resultados de la encuesta aplicada, la media respecto a este punto es de 3.44, esto quiere decir que las personas logran percibir que existe un beneficio con el uso de sistemas que permitan ofrecer una disminución en el gasto mensual generado por los insumos básicos, tal como se observa en la Figura 4.15.

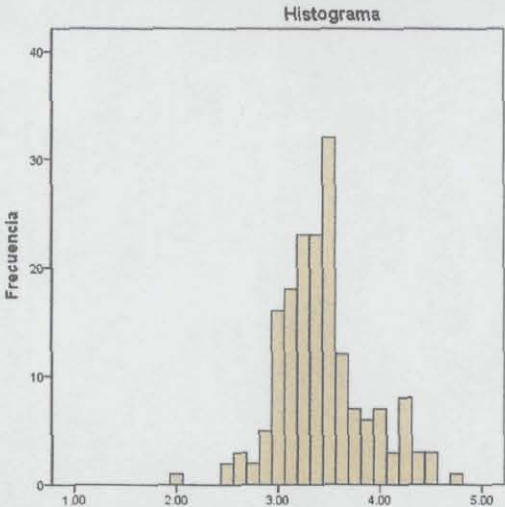


Figura 4.15 Percepción del ahorro en servicios básicos usando nuevas tecnologías.

Para muchas personas, el costo que pagan por un objeto o servicio es equivalente al beneficio que esto les proporciona. Eso es a lo que se le llama retorno de inversión, el cual es el beneficio que se recibe con la adquisición de un bien. Para los entrevistados, el retorno de inversión que se genera con el uso de nuevas tecnologías en relación al costo inicial y el ahorro generado, es en promedio 3.49, con una aceptación que oscila entre 3 y 4. Entonces y de acuerdo con la valoración mencionada para este cuestionario, es un resultado favorable, por lo que los usuarios consideran que justifican el costo inicial que esto puede significar. Esto se muestra en la Figura 4.16.

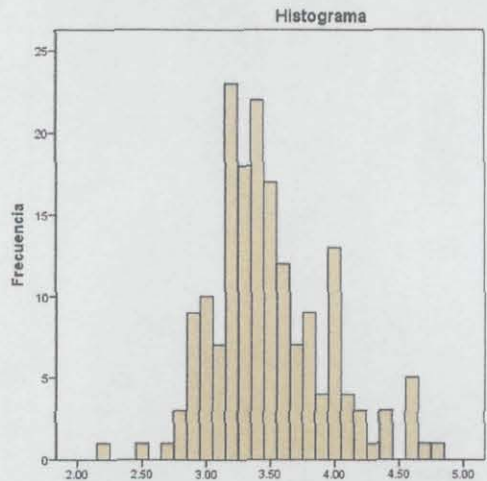


Figura 4.16 Percepción de los usuarios en cuanto al retorno de inversión.

El impacto que ha tenido el ser humano en la tierra, el crecimiento poblacional, el consumo de recursos no renovables, etc., ha tenido una marca negativa en el planeta a lo que se conoce como huella ecológica. En la actualidad, varios organismos internacionales buscan contribuir en revertir en lo posible este problema. En este sentido, el resultado obtenido en cuanto a la reducción de la huella ecológica en promedio fue de 2.99, por lo que las personas no perciben el beneficio que se tendría con el uso de este tipo de tecnologías en la reducción de la huella ecológica, tal como se observa en la Figura 4.17. Así también se observa como la desviación típica tiene un valor de .924, con una inclinación hacia un desacuerdo.

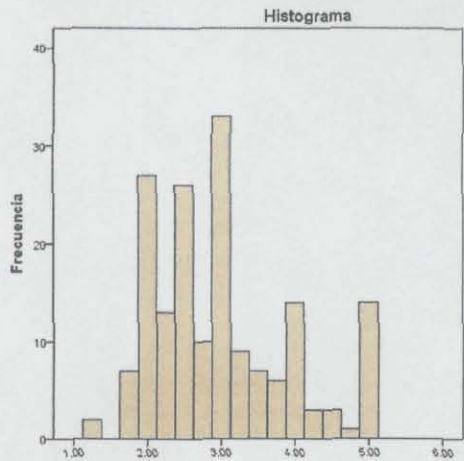


Figura 4.17 Reducción de la huella ecológica con el uso de nuevas tecnologías.

4.4 Clasificación de las variables (directas e indirectas)

El éxito de la implementación de nuevas tecnologías en los hogares depende del análisis de diversos factores. Sin embargo, y a pesar de las variables presentadas, no todas ellas influirán en el modelo, ya que algunas son difícilmente cuantificables.

Por lo anterior, se realizó una clasificación que permitiera identificar las variables que tienen influencia en el modelo, a las que llamaremos variables directas, ilustradas en las Figuras 4.18, 4.19 y 4.20 en color negro. A su vez, las que tienen una influencia pero en la aceptación y éxito en el uso de la tecnología, y no en el modelo lineal de forma directa, las llamaremos variables indirectas, se ilustran en color rojo.

Todas las características de la vivienda mencionadas anteriormente, se han considerado como variables indirectas. Esto se debe principalmente a que se han establecido ya las características que como mínimo debe de tener la vivienda para que la implementación de este tipo de tecnologías sea algo viable.

Las características de la región son consideradas variables directas debido a que los sistemas que existen en el mercado requieren de ciertas condiciones para su óptimo funcionamiento, donde las condiciones climatológicas juegan un papel importante y estas a su vez en el modelo lineal. El usuario en este caso podrá determinar a cuál de los rubros le dará prioridad, de acuerdo a la región en donde se encuentra. Así por ejemplo, si vive en el sur del país, es probable que busque la manera de optimizar los consumos de energía; pero si vive en el norte del país, donde la precipitación pluvial es mínima, la probabilidad de prioridad apunta al cuidado del agua.

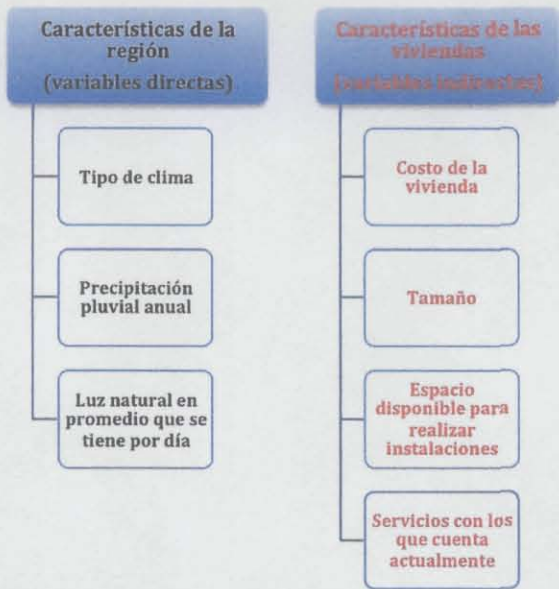


Figura 4.18 Clasificación de las características de las viviendas y de la región.

Las variables referentes a la tecnología que tienen una influencia directa en el modelo son el costo, los años de vida útil, los porcentajes de ahorro que se generan con estos dispositivos, la

cantidad necesaria para una vivienda así como el rubro al que va dirigido. Con cada uno de estos datos, se podrá calcular el retorno de inversión, del gasto inicial y ahorro que se puede generar con cada uno de ellos. Esto permitirá establecer los beneficios que se pueden lograr con cada tecnología, basados en los datos proporcionados por el fabricante y no solamente en la experiencia del diseñador.

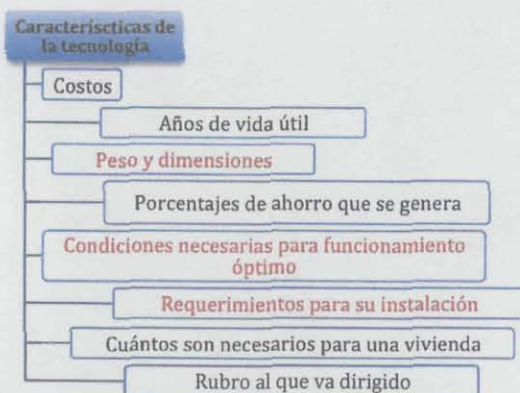


Figura 4.19 Clasificación de las características de las tecnologías.

A pesar de la importancia de las variables sociales, ninguna de ellas tiene una relación directa en el modelo. Lo mismo sucede con los sueldos percibidos en cada una de las familias. Sin embargo, ambos tienen una influencia directa en la interpretación de la información y en la selección de las tecnologías a usar. Es por ello que todas las variables sociales, así como la de sueldos y salarios dentro de las variables económicas, representan parte de las variables que tienen una influencia de manera indirecta en el modelo, tal como se muestra en la Figura 20.



Figura 4.20 Clasificación de las variables económicas, sociales y ecológicas.

Ahora bien, las variables ecológicas tienen una relación con las variables económicas, ya que el gasto que se genera en el consumo de los recursos considerados como básicos y no renovables,

tiene una relación directa con los costos que se generan por dicho gasto. Entonces, estas variables resultan ser indispensables en el modelo y por lo tanto, son consideradas como variables directas. Del mismo modo, la cantidad de integrantes de las familias, es una variable directa, ya que el gasto que se genera en la vivienda también tiene una relación directa con la cantidad de personas que habitan en ella.

4.4 Normalización de valores.

Con objeto de introducir las variables al modelo de manera ordenada, e identificar a su vez la cantidad necesaria que cada una de ellas debe tener o bien, los consumos que representan para el caso de estudio realizado, ha sido necesario normalizar sus valores.

De acuerdo a los datos obtenidos en las encuestas, el usuario de este tipo de viviendas buscaría el ahorro en los consumos ya que estos tienen una relación directa con su costo y un impacto en la economía familiar. Por lo anterior, se especificarán como rubros principales para invertir en dispositivos tecnológicos los siguientes:

- El agua
- El gas
- La energía eléctrica

4.4.1 Datos para el rubro del agua.

En el rubro del agua, una casa de bajos recursos cuenta con:

- Un baño completo, por lo que cuenta con una taza de baño, una regadera y un lavamanos.
- Una cocina, por lo que tiene una llave de lavabo.
- Tiene un consumo aproximado de \$90 pesos de agua al mes, lo que representa un consumo de aproximadamente 972.5lts de agua al día por persona. Esto último según información obtenida en CONAGUA.
- Las familias que viven en este tipo de hogares están conformadas en su mayoría por cuatro personas, por lo que el consumo de agua en total al mes por vivienda es de 3,890 lts al día.

Ahora bien, se realiza una selección de los dispositivos que en primera instancia pueden ser incorporados en las viviendas para realizar el análisis en los consumos de los mismos. Cada dispositivo seleccionado y que actualmente se tiene en el hogar, según los datos de CONAGUA, consume lo siguiente:

- **Sanitario:** Consume 80 lts por persona, lo que genera un gasto de 320 lts al día por cuatro personas.
- **Regadera:** Consume 100 lts por persona en una ducha de diez minutos, lo que genera un gasto de 400 lts al día para cuatro personas.
- **Llave de lavabo:** Consume 15 lts por persona, lo que genera un gasto de 60 lts por cada cuatro personas.
- **Llave de fregadero:** Consume en promedio por cada cuatro personas, 150 lts de agua.

Existen otros elementos que consumen agua dentro de la vivienda, como el lavado de ropa, para lo cual se requiere en promedio 90 lts diarios, así como para la preparación de alimentos, para lo cual se requieren en promedio 4 lts de agua diario. Sin embargo para el modelo sólo se considera el total de agua relacionado con los elementos que se pretenden optimizar (sanitario, regadera, llaves), esto es 930 lts de agua consumida por día en la vivienda.

Deben considerarse también los ahorros que se pueden generar con el uso de nuevos dispositivos y los costos de los mismos, estos deberán generar un ahorro en el consumo y debe obtenerse el porcentaje de ahorro que se genera, tanto en el consumo del agua, en el gasto mensual y con ello poder calcular un retorno de inversión.

Un baño convencional gasta por descarga hasta 16 lts de agua, en tanto que un baño ecológico, puede llegar a gastar solo 4.6 lts por descarga, lo que genera un ahorro del 70%, es decir, 11.4 lts de agua por descarga, lo que representa hasta 224 lts por día. El costo de los sanitarios ecológicos varía, tanto por la marca, el diseño, así como por los proveedores. Por lo anterior, se ha escogido un sanitario que sea funcional pero al alcance de los consumidores, un sanitario ecológico de descarga de 4.8 litros con un costo promedio de \$2,500 pesos.

Una regadera ecológica permite ahorrar el 20% del gasto total del agua, por lo que se puede generar un ahorro de 20 lts de agua por persona al día, lo que se convierten en 80 lts de agua al día. Este tipo de regaderas tienen un costo promedio de \$1,700 pesos.

Las llaves de lavabo pueden lograr un ahorro del 65%, lo que genera un ahorro de 39 lts de agua diarios, mientras que la llave de fregadero puede generar un ahorro del 50%, lo que genera un ahorro de 70 lts de agua al día. Las llaves ahorradoras de fregadero y de lavabo que son consideradas para el modelo, tienen un costo promedio de \$2,000 pesos.

4.4.2 Datos para el rubro del gas

En el rubro del gas se tiene la siguiente información:

- En una vivienda promedio, un cilindro de gas de 30 kgs se consume en aproximadamente en un mes y medio, lo que corresponde a un gasto de 18 kgs mensuales, y esto equivale a \$240 pesos, considerando que un cilindro de 30 kgs cuesta \$420.00 pesos.

- Según datos publicados en el reporte de Eficiencia Energética en México (Fernández, 2011), el 27.5% del gas se gasta en la cocción de alimentos, mientras que el 47% se usa en el calentamiento de agua, estos datos son importantes para el cálculo de los porcentajes (ver Tabla 4.1).

Tabla 4.1 Porcentajes de gas gastado en la cocción de alimento y el calentamiento de agua.

Porcentaje gastado de gas para	La cocción de alimentos	27.50%
	Calentamiento de agua	47%

Para el caso del consumo de gas, se presenta como mejor propuesta tecnológica el uso de calentadores solares, con los cuales se puede tener un ahorro de hasta 80%, sobre todo para ciudades localizadas en la parte norte del país, donde la cantidad de luz natural es de hasta 10 horas diarias en verano.

Los costos de los calentadores solares dependen de la cantidad de volumen y flujo de agua que pueden proveer en la vivienda, y esto a su vez, de la cantidad de tubos adquiridos para ello. Se han seleccionado dos opciones para el modelo, el primero de ellos tiene un costo de \$6,710 pesos y puede generar un ahorro del 80% de gas usado actualmente, mientras que el segundo dispositivo tiene un costo de \$5,800 pesos y genera un ahorro de hasta el 70% del consumo que se tiene actualmente.

4.4.3 Datos para el rubro de la energía

Para el rubro de energía eléctrica, se tiene que:

- Se cuenta con dos habitaciones, sala, comedor, cocina, baño, cochera y patio de servicio, por lo que requiere como mínimo una cantidad de ocho focos.
- En una casa promedio, es decir, en una vivienda para cuatro personas, se gastan de manera bimestral la cantidad de 345 KW, que son aproximadamente \$304.18 pesos.
- El consumo actual en energía usada para la iluminación corresponde a un 27% del total de los KW usados en una vivienda, esto según el reporte del informe de Eficiencia Energética en México (Fernández, 2011).

Existe una variedad muy amplia de elementos que pueden ser incorporados para el caso del ahorro de energía eléctrica. Se consideraron las celdas solares como alternativas que permitirán un ahorro en los consumos de energía y con ello un ahorro económico. Se seleccionaron tres tipos diferentes, presentados como kits solares 1, 2 y 3 respectivamente, así como el uso de focos ahorradores. La descripción de los tres kits solares se presenta en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Datos de los kits solares.

Notas de los kits solares
El kit solar 1 entrega 144 KW bimestrales y en una casa se gastan 345 KW, por lo que proporciona un ahorro de 41.74% del consumo que se tiene actualmente en la vivienda. Este kit solar tiene un costo de \$29,330 pesos y garantía por 20 años.
El kit solar 2 entrega 120 KW bimestrales, por lo que ahorra un 34.79% del consumo que se tiene actualmente en la vivienda. Tiene un costo de \$23,782 pesos y garantía por 20 años.
El kit solar 3 entrega 52.8 KW por bimestre, por lo que ahorra un 15% del consumo que se tiene actualmente en la vivienda. Tiene un costo de \$10,465 pesos.

Capítulo 5 Diseño del modelo lineal

5.1 Introducción

Para diseñar el modelo, debe tenerse claro el objetivo buscado, lograr maximizar el ahorro en el consumo de los recursos establecidos. Este ahorro debe ser reflejado de manera económica en los habitantes, es decir, se deben seleccionar los dispositivos que proporcionen el menor gasto económico de manera mensual en los tres rubros establecidos, agua, gas y energía eléctrica. Al reducir los costos mensuales, también se tiene una reducción en los consumos de los mismos, ya que tienen una relación lineal.

Para poder llevar a cabo la formulación de las ecuaciones que representan el modelo, será necesario establecer tres conjuntos de variables:

- El primero de ellos será el conjunto D , que representará a los dispositivos.
- El segundo de ellos será el conjunto C , que representará a los consumos. Dentro de este segundo grupo existen dos subconjuntos, los cuales representan los consumos que se tienen actualmente y los consumos que se tienen con los nuevos productos, ambos de los tres rubros establecidos, y que serán representados por CA y CN respectivamente.
- Finalmente, el tercero de ellos es el conjunto I , que representa la inversión necesaria para los nuevos dispositivos. Este conjunto nos permitirá realizar el análisis del retorno de inversión.

El resto del capítulo describe la formulación de cada una de las ecuaciones que representa a las variables directas y con ello, el diseño del modelo lineal que permite la optimización de los recursos.

5.2 Descripción del conjunto de dispositivos

Los dispositivos considerados para el modelo están divididos en tres rubros (agua, gas y energía eléctrica) y el total de dispositivos, serán los indicados como óptimos para implementarlos en las viviendas de bajos recursos. Entonces, el conjunto de dispositivos queda descrito por la siguiente ecuación:

$$D = \sum_{i=1}^n D_i \quad (5.1)$$

donde D representa el conjunto total de dispositivos en los tres rubros a ser implementados, n representa la cantidad de rubros a considerar, que en este caso son tres, en tanto que D_i representa los diferentes dispositivos para cada uno de los rubros. De la ecuación anterior, D_1 representará los dispositivos relacionados con el rubro del agua, D_2 los relacionados con el gas y D_3 los relacionados con la energía eléctrica.

Es importante considerar que aunque para este caso sólo han sido considerados tres rubros, pueden considerarse dentro de la ecuación otros como por ejemplo para la comodidad, o para las comunicaciones.

5.2.1 Dispositivos para el agua

De acuerdo a la ecuación (5.1), los dispositivos considerados para el rubro del agua estarán representados como D_1 , y esta a su vez está formada por cada uno de los dispositivos considerados dentro de este rubro. De esta manera, la ecuación que representa a todos los dispositivos para el agua es la siguiente:

$$D_1 = \sum_{i=1}^n DA_i \quad (5.2)$$

Donde D_1 representa a todos los dispositivos en el rubro del agua, n representa la cantidad de dispositivos considerados dentro del rubro del agua, que para este caso, los dispositivos que han sido analizados para ser considerados dentro del modelo son la regadera (DA_1), el sanitario (DA_2), las llaves de lavabo (DA_3) y las llaves de fregadero (DA_4). Entonces la forma expandida de la ecuación (5.2) es:

$$D_1 = DA_1 + DA_2 + DA_3 + DA_4$$

5.2.2 Dispositivos para el gas

Para este caso, se ha considerado el calentador solar, y aunque en el análisis se presentarán dos tipos diferentes, se observará que en la implementación sólo será posible establecer uno de ellos, de acuerdo con las diferentes restricciones del modelo.

Entonces, la ecuación que representa los dispositivos relacionados con el gas es la siguiente:

$$D_2 = \sum_{i=1}^n DG_i \quad (5.3)$$

Donde D_2 representa a todos los dispositivos en el rubro del gas, n representa la cantidad de dispositivos considerados dentro del rubro del gas, que para este caso, los dispositivos que han

sido analizados para ser considerados dentro del modelo son dos diferentes calentadores solares, DG_1 y DG_2 respectivamente. Entonces la ecuación (5.3), expandida es:

$$D_2 = DG_1 + DG_2$$

5.2.3 Dispositivos para la energía eléctrica

Para el caso de la energía eléctrica, serán considerados dos tipos de dispositivos, los focos ahorradores y las celdas solares. Para el primero, sólo serán considerados en el análisis un tipo de foco, pero para las celdas solares, serán considerados tres kits solares diferentes. Sin embargo, y aunque para el análisis se consideren tres diferentes kits solares, solamente uno de ellos será implementado por vivienda, y esta será una restricción que deberá ser considerada dentro del modelo.

Entonces, la ecuación que representa los dispositivos para la energía eléctrica es la siguiente:

$$D_3 = \sum_{i=1}^n DE_i \quad (5.4)$$

Donde D_3 representa a todos los dispositivos en el rubro de la energía eléctrica, n representa la cantidad de dispositivos diferentes destinados al ahorro de energía eléctrica, que para este caso son cuatro, en tanto que DE_1 representa a los focos ahorradores en tanto que DE_2 , DE_3 y DE_4 representan las celdas solares. La ecuación anterior en forma expandida es:

$$D_3 = DE_1 + DE_2 + DE_3 + DE_4$$

5.3 Descripción del conjunto de consumo

Las viviendas actualmente tienen cierto consumo en los tres rubros que se han establecido como los principales a ser optimizados. Este consumo será agrupados en un conjunto que ha sido denominado “consumos actuales”, representados por **CA (Ec. 5.5)**.

Ahora bien, cada uno de los dispositivos que permiten generar un ahorro sustancial para cada uno de los rubros, tiene ciertas características de consumo de acuerdo a los datos proporcionados por el fabricante. En este sentido, si son instalados en las viviendas como tecnología sugerida, los gastos en las viviendas sufrirán de ciertas variaciones a favor del consumidor. A estos nuevos consumos se les agrupa en un conjunto que será denominado “consumos nuevos” y representados por **CN (Ec. 5.6)**.

Entonces la ecuación que representa al conjunto de los consumos actuales es la siguiente:

$$CA = \sum_{i=1}^n CA_i \quad (5.5)$$

Donde CA representa el total de los consumos que tienen los dispositivos actuales, n representa el total de rubros a ser considerados, que para este caso son tres, en tanto que CA_1 representa el consumo actual en el rubro del agua, CA_2 a los del gas y CA_3 a los del rubro de la energía eléctrica.

La ecuación que representa el conjunto de nuevos consumos es la siguiente:

$$CN = \sum_{i=1}^n CN_i \quad (5.6)$$

Donde CN representa el total de los consumos que se tendrían con los nuevos productos, n representa el total de rubros a ser considerados, en tanto que CN_1 representa el consumo que se tendrá con los nuevos dispositivos en el rubro del agua, CN_2 a los del rubro del gas y CN_3 a los del rubro de la energía.

Para que las ecuaciones (5.5) y (5.6) sean válidas, los consumos deberán ser representados de manera monetaria, ya que los consumos de los diferentes dispositivos pueden ser representados en porcentajes, en litros para el caso del agua, en kilos para el caso del gas o en KW para el caso de la energía, y estos elementos no pueden ser sumados. Sin embargo, para poder realizar el análisis completo de los consumos de los dispositivos e inclusive, en algunos casos para realizar el cálculo monetario de los mismos, es necesario realizar el análisis de los consumos también en porcentaje y en recurso.

5.3.1 Análisis de consumo actual

Considerando que la suma de los consumos sólo puede realizarse de manera monetaria, para el caso de los consumos actuales la ecuación que representa los consumos que se tienen, representados en dinero será la siguiente:

$$CA_D = \sum_{i=1}^n CA_{Di} \quad (5.7)$$

En donde CA_D representa el consumo total que se tiene actualmente de manera monetaria de los tres rubros, n representa la cantidad de rubros a considerar, que en este caso son tres, en tanto que CA_{Di} representa el consumo en dinero para cada uno de los rubros. Si se despliega la ecuación (5.7), CA_{D1} representa los consumos del agua, CA_{D2} los consumos de gas y CA_{D3} los consumos de la energía en dinero.

5.3.1.1 Consumo actual de agua

El consumo que se tiene actualmente del agua en litros para una vivienda de bajos recursos en promedio, según datos de CONAGUA, es de 972.5 lts. Entonces:

$$CA_{L1} = 972.5 \text{ lts}$$

Sin embargo, los elementos considerados gastan solamente 930 lts, Entonces:

$$CA_{L1} = \sum_{i=1}^n CA_{(L1)i} \quad (5.8)$$

Donde CA_{L1} representa el consumo total en litros que se tienen actualmente en el rubro del agua, n representa el número total de dispositivos a ser considerados, que en este caso son cuatro, en tanto que $CA_{(L1)i}$ representa el consumo en litros de cada uno de los dispositivos. expandiendo la ecuación entonces $CA_{(L1)1}$ representa el consumo en litros de la regadera, $CA_{(L1)2}$ del sanitario, $CA_{(L1)3}$ de las llaves de lavabo y $CA_{(L1)4}$ de las llaves de fregadero.

El consumo total se divide en consumos individuales de cada uno de los dispositivos y se multiplica por el número promedio de habitantes de una familia de las viviendas de bajos recursos. Entonces las ecuaciones y valores del consumo para cada dispositivo se representa de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} CA_{(L1)1} &= (CA_{(L1)P1})(NH) = (100\text{lts})(4) = 400 \text{ lts} \\ CA_{(L1)2} &= (CA_{(L1)P2})(NH) = (80\text{lts})(4) = 320 \text{ lts} \\ CA_{(L1)3} &= (CA_{(L1)P3})(NH) = (15\text{lts})(4) = 60 \text{ lts} \\ CA_{(L1)4} &= 150\text{lts} \end{aligned}$$

Ahora bien, el porcentaje de consumo de cada uno de estos dispositivos se calcula considerando el consumo total de la vivienda que son 972.5 lts, además del consumo individual de cada uno de los dispositivos. El consumo total en porcentaje se representa mediante la siguiente ecuación:

$$CA_{P1} = \sum_{i=1}^n CA_{(P1)i} \quad (5.9)$$

Donde CA_{P1} representa el consumo total de agua en porcentaje de todos los dispositivos, N representa el número de dispositivos a ser considerados, en tanto que $CA_{(P1)i}$ es el consumo en porcentaje de cada uno de los dispositivos. Expandiendo la ecuación anterior entonces $CA_{(P1)1}$

representa el consumo de agua en porcentaje de la regadera, $CA_{(P1)2}$ del sanitario, $CA_{(P1)3}$ de las llaves de lavabo y $CA_{(P1)4}$ de las llaves de fregadero.

Los porcentajes del consumo para cada uno de los dispositivos se calculan de acuerdo al gasto total de agua que se tiene en la vivienda, por lo tanto:

$$CA_{(P1)1} = \frac{CA_{(L1)1}}{CA_L} \times 100 = \frac{400\text{lbs}}{972.5\text{lbs}} \times 100 = 41.13\%$$

$$CA_{(P1)2} = \frac{CA_{(L1)2}}{CA_L} \times 100 = \frac{320\text{lbs}}{972.5\text{lbs}} \times 100 = 32.90\%$$

$$CA_{(P1)3} = \frac{CA_{(L1)3}}{CA_L} \times 100 = \frac{60\text{lbs}}{972.5\text{lbs}} \times 100 = 6.17\%$$

$$CA_{(P1)4} = \frac{CA_{(L1)4}}{CA_L} \times 100 = \frac{150\text{lbs}}{972.5\text{lbs}} \times 100 = 15.42\%$$

De manera que el consumo total en porcentaje de acuerdo con la ecuación (5.9) es:

$$\begin{aligned} CA_{P1} &= \sum_{i=1}^n CA_{(P1)i} = CA_{(P1)1} + CA_{(P1)2} + CA_{(P1)3} + CA_{(P1)4} \\ &= 41.13\% + 32.90\% + 6.17\% + 15.42\% \\ &= 95.63\% \end{aligned}$$

El resto de agua (4.37%) se consume en el lavado de ropa y en la preparación de alimentos de acuerdo con CONAGUA.

Con la información de los porcentajes de consumos que tiene cada uno de los dispositivos, se puede calcular el consumo económico de los mismos. La ecuación que representa esto es:

$$CA_{D1} = \sum_{i=1}^n CA_{(D1)i} \quad (5.10)$$

Donde CA_{D1} representa el consumo actual de todos los dispositivos en dinero para el rubro del agua, n representa el total de los dispositivos a ser considerados, que para este caso son cuatro, en tanto que $CA_{(D1)i}$ es el consumo en dinero que cada uno de los dispositivos tiene actualmente.

La ecuación (5.10) representa el primero de los elementos de la ecuación (5.5), que representa el conjunto del consumo actual reflejado monetariamente. Ahora bien, se sabe que el consumo mensual de agua en una vivienda de bajos recursos es en promedio de \$90 pesos. Convirtiendo esta información en consumos individuales para cada uno de los dispositivos de acuerdo a los porcentajes de consumo que tienen, entonces:

$$\begin{aligned}
CA_{(D1)1} &= (CA_{P1})(CA_{D1}) = (0.4113)(\$90) = \$37.02 \\
CA_{(D1)2} &= (CA_{P2})(CA_{D1}) = (0.3290)(\$90) = \$29.61 \\
CA_{(D1)3} &= (CA_{P3})(CA_{D1}) = (0.0617)(\$90) = \$5.55 \\
CA_{(D1)4} &= (CA_{P4})(CA_{D1}) = (0.1542)(\$90) = \$13.88
\end{aligned}$$

por tanto:

$$CA_1 = \$37.02 + \$29.61 + \$5.55 + \$13.88 = \$86.06$$

Dado que la variación que se tiene del consumo total que es de \$90 pesos y el consumo solamente de los dispositivos considerados para el presente trabajo que es de \$86.06 pesos es muy poca, será considerado el consumo total para el conjunto de consumo actual, ya que finalmente eso es lo que tiene que pagar el usuario de manera mensual, y el beneficio será calculado con base en dicho importe.

5.3.1.2 Consumo actual de gas

Para el caso del consumo de gas, según los datos de las encuestas aplicadas, la mayoría de las viviendas cuentan con cilindros de 30 kgs, este se consume aproximadamente en mes y medio en una vivienda de bajos recursos. Entonces, el consumo de manera mensual de gas es:

$$CA_{L2} = \frac{30kgs}{45días} \times 30días = 20kgs$$

El consumo de gas se realiza principalmente en la cocción de alimentos, en la cual se tiene un consumo del 27.50% y en el calentamiento de agua, en el cual se tiene un consumo del 47%, según datos del Informe Anual de Energía (Fernández, 2011). Entonces, el consumo que se tiene en porcentaje de gas para este tipo de viviendas está representado por la siguiente ecuación:

$$CA_{P2} = \sum_{i=1}^n CA_{(P2)i} \quad (5.11)$$

Donde CA_{P2} representa el consumo total mensual en porcentaje que se tiene en una vivienda de bajos recursos, n es la cantidad de rubros en los cuales se consume el gas de manera mensual, que para este caso son dos, en tanto que $CA_{(P2)i}$ representa el consumo en porcentaje de cada dispositivo. Así, $CA_{(P2)1}$ representa el porcentaje de gas gastado en la cocción de alimentos y $CA_{(P2)2}$ representa el gastado en el calentamiento de agua. Entonces:

$$CA_{P2} = 27.5\% + 47\% = 74.5\%$$

Ahora bien, un cilindro de gas de 30 kgs tiene un costo de \$420 pesos mensuales, el cual es un valor constante que será definido como GCG . Entonces el gasto proporcional que se genera de manera mensual y considerando que sólo se consumen 20 kgs, es el siguiente:

$$CA_{D2} = \frac{(GCG)(CA_{L2})}{30kgs} = \frac{(420)(20kgs)}{30kgs} = \$280$$

este es el segundo de los tres elementos de la ecuación (5.5) que representa al conjuntos de consumo actual en dinero.

5.3.1.3 Consumo actual de energía eléctrica

De acuerdo a los resultados de las encuestas y considerando que el pago del consumo eléctrico se realiza de manera bimestral, las viviendas de bajos recursos tienen en promedio un gasto mensual de 129.089 KW. Este dato será representado como GMV_{KW} , ya que representa un valor constante para los demás cálculos. Ahora bien, este gasto mensual, corresponde a un importe de \$152.09 pesos, entonces:

$$\begin{aligned} GMV_{KW} &= 129.09KW \\ CA_{D3} &= \$152.09 MXN \end{aligned}$$

Donde CA_{D3} es el tercero de los tres elementos involucrados en la ecuación (5.5), que representa al conjunto de los consumos actuales. A pesar de que ya se tiene este dato, es necesario desglosar un poco más este consumo para poder analizar el impacto en el ahorro. Entonces, si se considera el porcentaje que se gasta de energía sólo para la iluminación de las viviendas, según los datos del Informe Anual de Energía (Fernández, 2011), que es del 27% y que será representado como CA_{P2} , el gasto usado sólo en iluminación es:

$$CA_{(D1)1} = (CA_{D3})(CA_{P2}) = (\$152.09)(0.27) = \$41.06$$

El equivalente en KW es:

$$CA_{(KW)1} = (GMV_{KW})(CA_{P2}) = (129.089KW)(0.27) = 34.854KW$$

Por lo tanto y de acuerdo al análisis realizado del consumo mensual actual, se tiene un gasto total por vivienda en estos tres rubros según la ecuación (5.5) de:

$$\begin{aligned} CA_D &= \sum_{i=1}^n CA_{Di} = CA_{D1} + CA_{D2} + CA_{D3} \\ &= \$90 + \$280 + \$152.09 \\ &= \$522.09 \end{aligned}$$

5.3.2 Análisis de consumo de los nuevos productos

Dado el objetivo de utilizar tecnologías económicamente viables que permitan disminuir el gasto mensual de las familias de las viviendas de bajos recursos, se proponen una serie de nuevos elementos. Sin embargo, es necesario realizar el análisis de cada uno de los elementos para determinar el beneficio que pueden proporcionar en las viviendas y con ello, el ahorro generado. Para esto, es necesario realizar el análisis de los consumos de los nuevos productos mediante la ecuación (5.6).

Sin embargo y al igual que en el análisis de los consumos actuales, los consumos pueden ser analizados como porcentajes, como consumo ya sea en litros, kilos o en KW, pero también pueden ser analizados desde el punto de vista monetario. Entonces, para que la ecuación (5.5) sea válida, los datos deben de ser proporcionados por su equivalente en gasto mensual de manera monetaria.

Al igual que en el análisis de los consumos actuales, es necesaria una ecuación que permita determinar el consumo reflejado de manera monetaria que se tendría con el uso de las nuevas tecnologías propuestas. En ese sentido y considerando de igual manera que la suma de los consumos sólo puede realizarse desde el punto de vista monetario, se establece la siguiente ecuación:

$$CN_D = \sum_{i=1}^n CN_{Di} \quad (5.12)$$

Donde CN_D representa el consumo de los nuevos dispositivos de manera monetaria, n representa los rubros en los cuales se establecerán nuevos productos, que para este caso siguen siendo para el agua, el gas y la energía, por lo que $N = 3$, en tanto que CN_{Di} representa el consumo que cada uno de los dispositivos tiene en dinero. Así que CN_{D1} representa el consumo del agua, CN_{D2} del gas y CN_{D3} de la energía eléctrica.

Para encontrar cada uno de los valores, debe de ser realizado el análisis en cada rubro, considerando los datos que proporciona el fabricante de los nuevos dispositivos.

5.3.2.1 Consumo con los nuevos productos de agua

El consumo con los nuevos dispositivos para el agua, primeramente de manera porcentual, será representado mediante la siguiente ecuación:

$$CN_{P1} = \sum_{i=1}^n CN_{(P1)i} \quad (5.13)$$

Donde CN_{P1} es el total del consumo de los nuevos dispositivos en porcentaje para el rubro del agua, n representa la cantidad de nuevos productos a ser considerados, que para este caso y de

acuerdo al análisis que se tiene del consumo actual, seguirán siendo para la regadera, el sanitario y las llaves de lavabo y de fregadero, por lo tanto $N = 4$, en tanto que $CN_{(P1)i}$ representa los porcentajes de consumo de cada uno de ellos respectivamente.

Los datos de los dispositivos de acuerdo a la información proporcionada por los fabricantes, como el ahorro en porcentaje de cada uno de ellos y de acuerdo con el consumo que se tiene actualmente al usar un dispositivo convencional, se presenta en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Datos de los porcentajes de ahorro de los dispositivos para el rubro del agua.

Dispositivos	Porcentaje de ahorro
Regadera ecológica	20%
Sanitario ecológico	70%
Llaves de lavabo ecológicas	65%
Llaves de fregadero ecológicas	50%

Representando los datos anteriores como elementos del conjunto, entonces:

$$C\hat{N}_{(P1)1} = 20\%$$

$$C\hat{N}_{(P1)2} = 70\%$$

$$C\hat{N}_{(P1)3} = 65\%$$

$$C\hat{N}_{(P1)4} = 50\%$$

y son representados como datos primos porque son los porcentajes de ahorros en los productos y no los porcentajes de los nuevos consumos.

De manera que si cada uno de los nuevos dispositivos ecológicos ahorra un porcentaje total del agua que se tiene actualmente con estos nuevos elementos, entonces el ahorro total en litros será representado con la siguiente ecuación:

$$CN_{L1} = \sum_{i=1}^n CN_{(L1)i} \quad (5.14)$$

Donde CN_{L1} representa el ahorro en litros con los nuevos productos en el rubro del agua, n representa la cantidad de los nuevos elementos, que para este caso es igual a cuatro, en tanto que $CN_{(L1)i}$ representa el ahorro en litros que se tiene con cada uno de los dispositivos.

Entonces, el ahorro en litros de cada uno de los dispositivos es:

$$CN_{(L1)1} = (C\hat{N}_{(P1)1})(CA_{(L1)1}) = (0.2)(400\text{lbs}) = 80\text{lbs}$$

$$CN_{(L1)2} = (C\hat{N}_{(P1)2})(CA_{(L1)2}) = (0.7)(320\text{lbs}) = 224\text{lbs}$$

$$CN_{(L1)3} = (C\hat{N}_{(P1)3})(CA_{(L1)3}) = (0.65)(60\text{lbs}) = 39\text{lbs}$$

$$CN_{(L1)4} = (CN_{(P1)4})(CA_{(L1)4}) = (0.5)(150\text{lbs}) = 75\text{lbs}$$

De manera que de acuerdo con la ecuación (5.14), el ahorro total en litros que se genera con los nuevos dispositivos son:

$$\begin{aligned} CN_{(L1)} &= \sum_{i=1}^n CN_{(L1)i} = CN_{(L1)1} + CN_{(L1)2} + CN_{(L1)3} + CN_{(L1)4} \\ &= 80\text{lbs} + 224\text{lbs} + 39\text{lbs} + 75\text{lbs} \\ &= 418\text{lbs} \end{aligned}$$

Si se implementaran los cuatro dispositivos propuestos para el ahorro del agua se tendría un ahorro total de 418 lbs en las viviendas. Para calcular el porcentaje de ahorro por cada dispositivo y tomando como referencia el total de agua consumida, se calculan:

$$\begin{aligned} CN_{(P1)1} &= \frac{CN_{(L1)1}}{CA_{L1}} \times 100 = \frac{80\text{lbs}}{972.5\text{lbs}} \times 100 = 8.23\% \\ CN_{(P1)2} &= \frac{CN_{(L1)2}}{CA_{L1}} \times 100 = \frac{240\text{lbs}}{972.5\text{lbs}} \times 100 = 23.03\% \\ CN_{(P1)3} &= \frac{CN_{(L1)3}}{CA_{L1}} \times 100 = \frac{39\text{lbs}}{972.5\text{lbs}} \times 100 = 4.01\% \\ CN_{(P1)4} &= \frac{CN_{(L1)4}}{CA_{L1}} \times 100 = \frac{7.71\text{lbs}}{972.5\text{lbs}} \times 100 = 7.71\% \end{aligned}$$

De manera que el porcentaje total de ahorro, usando la ecuación (5.13) y si se usaran los cuatro dispositivos propuestos sería de:

$$\begin{aligned} CN_{P1} &= \sum_{i=1}^n CN_{(P1)i} = CN_{(P1)1} + CN_{(P1)2} + CN_{(P1)3} + CN_{(P1)4} \\ &= 8.23\% + 23.03\% + 4.01\% + 7.71\% \\ &= 44.95\% \end{aligned}$$

Ahora bien, con la información anterior que está dada en porcentajes, se puede calcular el ahorro económico que se pueden tener con cada uno de los nuevos dispositivos, de manera que la ecuación que representa el ahorro total en dinero es la siguiente:

$$CN_{D1} = \sum_{i=1}^n CN_{(D1)i} \quad (5.15)$$

Donde CN_{D1} representa el ahorro total que se tendría en dinero usando los nuevos dispositivos, n representa el número total de dispositivos a implementar, que para este caso sigue siendo igual a

cuatro, en tanto que $CN_{(D1)i}$ representa el consumo en dinero que se tendría con el uso de cada dispositivo. Ahora bien, el cálculo del consumo en dinero para cada uno de los dispositivos se calcula de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} CN_{(D1)1} &= (CA_{(D1)1})(CN_{(P1)1}) = (\$37.02)(0.2) = \$7.40 \\ CN_{(D1)2} &= (CA_{(D1)2})(CN_{(P1)2}) = (\$29.61)(0.7) = \$20.73 \\ CN_{(D1)3} &= (CA_{(D1)3})(CN_{(P1)3}) = (\$5.55)(0.65) = \$3.61 \\ CN_{(D1)4} &= (CA_{(D1)4})(CN_{(P1)4}) = (\$13.88)(0.5) = \$6.94 \end{aligned}$$

De acuerdo con la ecuación (5.15), el ahorro total que se genera con el uso de los nuevos dispositivos sería:

$$\begin{aligned} CN_{D1} &= \sum_{i=1}^n CN_{(D1)i} = CN_{(D1)1} + CN_{(D1)2} + CN_{(D1)3} + CN_{(D1)4} \\ &= \$7.40 + \$20.73 + \$3.61 + \$6.94 \\ &= \$38.68 \end{aligned}$$

El ahorro total de manera mensual que se obtiene en el rubro de agua es de \$38.68 pesos si se compraran todos los dispositivos. Este es el primero de los datos de la ecuación (5.12), que representa el ahorro total en dinero que se tendría con el uso de los nuevos dispositivos.

5.3.2.2 Consumo con los nuevos productos para el gas

En el rubro del gas, los porcentajes de ahorro que se pueden generar con un calentador solar, que varía de acuerdo a la cantidad de tubos que tiene y a la calidad del dispositivo, ya que la cantidad de tubos es equivalente a cantidad de litros de agua que puede ser calentada y con ello, el ahorro que se puede generar. Entonces, para el calentamiento del agua se proponen dos calentadores solares.

El primero de ellos, que será identificado como calentador solar 1, proporciona un ahorro del 80%, ya que es un dispositivo que puede proporcionar agua caliente a una vivienda de hasta seis personas. El segundo de los dispositivos, que será identificado como calentador solar 2, proporciona un ahorro de hasta el 70%, ya que es un dispositivo que puede proporcionar agua caliente a una vivienda de hasta cuatro personas. El porcentaje de ahorro de cada uno de los calentadores solares, será representado como:

$$\begin{aligned} CN_{(P2)1} &= 80\% \\ CN_{(P2)2} &= 70\% \end{aligned}$$

La ecuación general que proporciona el porcentaje de ahorro para N dispositivos es la siguiente:

$$CN_{P2} = \sum_{i=1}^n CN_{(P2)i} \quad (5.16)$$

Donde CN_{P2} representa el consumo total en porcentaje que se puede tener con los nuevos dispositivos destinados al calentamiento del agua, n representa el total de dispositivos considerados, que para este caso son dos, en tanto que $CN_{(D2)i}$ representa el ahorro que se puede generar con cada dispositivo. Cabe mencionar que no es posible implementar dos calentadores diferentes en las viviendas, por lo que la ecuación (5.16) estará sujeta a esta restricción.

Con los porcentajes de la ecuación (5.16), se pueden obtener los ahorros en litros que pueden tener cada uno de los calentadores solares de acuerdo al consumo actual que se tiene de agua caliente, esto es:

$$\begin{aligned} CN_{(L2)1} &= (CA_{L2})(CN_{(P1)1}) = (20kgs)(0.8) = 16kgs \\ CN_{(L2)2} &= (CA_{L2})(CN_{(P1)2}) = (20kgs)(0.7) = 14kgs \end{aligned}$$

Por lo que la ecuación general para los ahorros en kilogramos que se pueden generar con los nuevos dispositivos es la siguiente:

$$CN_{L2} = \sum_{i=1}^n CN_{(L2)i} \quad (5.17)$$

Donde CN_{L2} representa el ahorro total en kilogramos de gas que se puede tener con los nuevos dispositivos destinados al calentamiento del agua, n representa el total de dispositivos considerados que para este caso son dos, en tanto que $CN_{(L2)i}$ representa el ahorro que se puede generar en kilogramos con cada dispositivo. Esta ecuación tiene la misma restricción que la ecuación anterior.

Además, con los mismos porcentajes se puede obtener el ahorro económico para cada uno de ellos, usando el gasto que se tiene de forma mensual de gas por vivienda. Por lo tanto:

$$\begin{aligned} CN_{(D2)1} &= (CN_{(P1)1})(CA_{P2}) = (0.8)(\$280) = \$224.00 \\ CN_{(D2)2} &= (CN_{(P1)2})(CA_{P2}) = (0.7)(\$280) = \$196.00 \end{aligned}$$

Por lo anterior, el segundo de los elementos de la ecuación (5.12), será representado por la siguiente ecuación:

$$CN_{D2} = \sum_{i=1}^n CN_{(D2)i} \quad (5.18)$$

Donde CN_{D2} representa el ahorro total que se puede tener con los nuevos dispositivos destinados al calentamiento del agua en dinero, n representa el total de dispositivos considerados, que para este caso son dos, en tanto que $CN_{(D2)i}$ representa el ahorro que se puede generar con cada dispositivos propuesto en dinero. Es importante mencionar que la ecuación tendrá la misma restricción que las dos anteriores.

5.3.2.3 Consumo con los nuevos productos para la energía eléctrica

Para el caso de la energía, se consideran dos rubros importantes que tienen impacto en este tipo de viviendas, uno para la iluminación y otro para el consumo general de la luz.

En el rubro de iluminación, se ha escogido el uso de focos ahorradores, si bien existen una gran cantidad y variedad de ellos, para fines de representación se ha escogido sólo un modelo. La información referente a este tipo de focos es que pueden generar un ahorro en la cantidad de energía gastada solamente en la iluminación de hasta el 75%. Entonces:

$$CN_{(P3)1} = 75\%$$

Si se considera el dato proporcionado en los consumos actuales, donde en la iluminación se consume el 27% de la energía total usada en la vivienda, la cual equivale a un consumo de 34.854KW, entonces los focos ahorradores proporcionan un ahorro equivalente de:

$$CN_{(KW3)1} = (CN_{(P3)1})(CA_{(KW1)1}) = (0.75)(34.854) = 26.14KW$$

Entonces se estaría generando un ahorro de 26.14KW de manera mensual. Si ahora se calcula el ahorro económico que se puede alcanzar, entonces:

$$CN_{(D3)1} = (CN_{(P3)1})(CA_{(D3)1}) = (0.75)(\$41.06) = \$30.80$$

Quiere decir, que con los focos de led se puede tener un ahorro de manera mensual en el consumo de energía eléctrica de hasta 26.14KW que representan un ahorro de \$30.80 pesos.

Ahora bien, el segundo de los dispositivos considerados a ser implementado son las celdas solares. De estas celdas solares, al igual que los otros dispositivos analizados, existe una gran variedad, para fines de ejemplificación, sólo se hace el análisis de tres diferentes que serán identificados como kits solares 1, 2 y 3 respectivamente.

El kit solar 1 entrega hasta 72KW de manera mensual, el kit solar 2 entrega 60KW en tanto que el kit solar 3 entrega 26.4KW. Estos datos representan la cantidad de KW que pueden ahorrar de manera mensual, por lo que:

$$\begin{aligned}
CN_{(KW3)2} &= 72KW \\
CN_{(KW3)3} &= 60KW \\
CN_{(KW3)4} &= 26.4KW
\end{aligned}$$

Por lo tanto, la ecuación general para el consumo en KW de los nuevos dispositivos propuestos es la siguiente:

$$CN_{KW3} = \sum_{i=1}^n CN_{(KW3)i} \quad (5.19)$$

Donde CN_{KW3} representa la cantidad de energía total en que se consume con la implementación de los nuevos dispositivos, n representa el número de dispositivos diferentes a implementar, que para este caso el número de dispositivos son cuatro en tanto que $CN_{(KW3)i}$ representa el ahorro en KW que proporciona cada uno de estos dispositivos.

Con la información anterior, que es la cantidad de KW que entrega cada uno de los dispositivos, se pueden calcular los ahorros en porcentaje de acuerdo al consumo total en KW que se tienen por vivienda de manera mensual:

$$CN_{(P3)2} = \frac{CN_{(KW3)2}}{GMV_{KW}} \times 100 = \frac{72KW}{129.089KW} \times 100 = 55.78\%$$

$$CN_{(P3)3} = \frac{CN_{(KW3)3}}{GMV_{KW}} \times 100 = \frac{60KW}{129.089KW} \times 100 = 46.48\%$$

$$CN_{(P3)4} = \frac{CN_{(KW3)4}}{GMV_{KW}} \times 100 = \frac{26.4KW}{129.089KW} \times 100 = 20.45\%$$

Entonces la ecuación general para el ahorro en porcentaje de los dispositivos en el ahorro de energía es la siguiente:

$$CN_{P3} = \sum_{i=1}^n CN_{(P3)i} \quad (5.20)$$

Donde CN_{P3} representa el ahorro total en porcentaje que se puede generar con la implementación de los dispositivos, n representa el número de dispositivos diferentes a implementar, que para este caso el número de dispositivos son cuatro en tanto que $CN_{(P3)i}$ representa el porcentaje de ahorro de cada uno de estos dispositivos.

Con estos porcentajes se puede realizar el cálculo del ahorro económico que se puede generar, por lo que:

$$CN_{(D3)2} = (CA_{D3})(CN_{(P3)2}) = (\$152.09)(0.5578) = \$84.83$$

$$CN_{(D3)3} = (CA_{D3})(CN_{(P3)3}) = (\$152.09)(0.4648) = \$70.69$$

$$CN_{(D3)4} = (CA_{D3})(CN_{(P3)4}) = (\$152.09)(0.2045) = \$31.10$$

La ecuación general para el ahorro en dinero de los dispositivos para la energía eléctrica es la siguiente:

$$CN_{D3} = \sum_{i=1}^n CN_{(D3)i} \quad (5.21)$$

Donde CN_{D3} representa el ahorro total en dinero que se puede generar con la implementación de los nuevos dispositivos en el rubro de la energía eléctrica, n representa el número de dispositivos diferentes a implementar, que para este caso el número de dispositivos son cuatro, en tanto que $CN_{(D3)i}$ representa el dinero ahorrado en cada uno de estos dispositivos.

Al igual que para los elementos del gas, es importante mencionar que no es posible implementar más de un kit solar en las viviendas, por lo que esta será una restricción que tendrá que ser considerada en la ecuaciones (5.19), (5.20) y (5.21).

Por lo tanto, la ecuación (5.21) representa el tercero y último de los elementos de la ecuación (5.12), que es la suma de los ahorros que se pueden generar con la implementación de los nuevos dispositivos. Para este caso, no es posible mostrar un resultado en específico, ya que con esta ecuación se pueden tener varios casos diferentes, ya que se han presentado diferentes dispositivos para un mismo rubro, y no es posible comprar dos o más del mismo. Esto será analizado a detalle en los resultados.

5.4 Descripción del conjunto de inversión

Para poder implementar nuevas tecnologías, es necesario realizar una inversión inicial en cada uno de los rubros que son considerados como principales. Dentro de cada uno de los rubros se debe de realizar una inversión inicial de acuerdo a los costos de los productos.

Ahora bien, la ecuación que representa la inversión inicial total, es decir, que incluye los dispositivos que deben de ser comprados para los tres rubros considerados, es la siguiente:

$$I_D = \sum_{i=1}^n I_{Di} \quad (5.22)$$

Donde I_D representa la inversión inicial total en los rubros, n representa la cantidad de rubros a ser considerados, que para este caso es igual a tres, en tanto que I_{D1} representa la inversión individual de cada uno de los rubros a ser considerados.

A continuación se realiza el análisis de inversión en cada uno de los rubros.

5.4.1 Costos de los nuevos productos para el rubro del agua

Como se ha mencionado a lo largo del presente trabajo, en el rubro del agua se han considerado cuatro dispositivos como esenciales para ser implementados en las viviendas de bajos recursos. Entonces, la ecuación que representa la inversión inicial que debe de hacer el usuario en el rubro del agua para poder implementarlos es la siguiente:

$$I_{D1} = \sum_{i=1}^n I_{(D1)i} \quad (5.23)$$

Donde I_{D1} representa la inversión inicial que se debe de hacer en el rubro del agua, n representa la cantidad de dispositivos propuestos para ser comprados, que para este caso son cuatro dispositivos, en tanto que $I_{(D1)i}$ representa los costos individuales de cada uno de los productos.

Los precios de los dispositivos para el rubro del agua considerados en el presente trabajo se muestran en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Costo de los dispositivos para el rubro del agua.

Producto	Precio
Regadera ecológica	\$1,700.00 pesos
Sanitario ecológico	\$2,500.00 pesos
Llaves de lavabo	\$2,000.00 pesos
Llaves de fregadero	\$2,000.00 pesos

De manera que si se llegan a comprar los cuatro productos y de acuerdo con la ecuación (5.23) se realizaría la siguiente inversión en el rubro del agua:

$$\begin{aligned}
 I_{D1} &= \sum_{i=1}^n I_{(D1)i} = I_{(D1)1} + I_{(D1)2} + I_{(D1)3} + I_{(D1)4} \\
 &= \$1,700 + \$2,500 + \$2,000 + \$2,000 \\
 &= \$8,200
 \end{aligned}$$

La adquisición de los productos estará limitada por el presupuesto, así como por el porcentaje de ahorro que se puede generar con los nuevos productos, y estas dos limitantes son parte de las restricciones del modelo.

5.4.2 Costos de los nuevos productos para el rubro del gas

Para el caso de los dispositivos que permiten el ahorro del gas, se tiene como principal tecnología a ser adquirida el calentador solar. La ecuación que representa la inversión total que se debe de hacer para los dispositivos en el rubro del gas es la siguiente:

$$I_{D2} = \sum_{i=1}^n I_{(D2)i} \quad (5.24)$$

Donde I_{D2} representa la inversión inicial total que se debe de hacer en el rubro del gas, n representa la cantidad de dispositivos propuestos para ser comprados, que para este caso son dos posibles dispositivos diferentes, en tanto que $I_{(D2)i}$ representa los costos individuales de cada uno de los productos.

Al igual que para el rubro del agua, existe una gran variedad de dispositivos, en los cuales varía la calidad, marca, dispositivos para su instalación así como la cantidad de agua que pueden mantener caliente. Sin embargo para el presente trabajo se han considerado dos modelos diferentes de los cuales se presenta el precio en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Costo de los dispositivos para el rubro del gas.

Dispositivos	Precios
Calentador solar 1	\$6,710.00 pesos
Calentador solar 2	\$5,800.00 pesos

Sin embargo, para el caso del calentador solar solamente uno de los dispositivos puede ser adquirido. La adquisición de uno o de otro dependerá del presupuesto así como de las características de ahorro de cada uno, dos elementos que serán restricciones en el modelo.

5.4.3 Costos de los nuevos productos para el rubro de la energía eléctrica

Para el caso de la energía eléctrica, se tienen dos rubros para los cuales se han propuesto tecnologías que permiten generar el ahorro en el consumo.

Para el caso de las celdas solares, se proponen el uso de cuatro kits diferentes y los precios de cada producto son mostrados en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Costo de los dispositivos para el rubro de la energía eléctrica.

Dispositivo	Precio
Focos ahorradores	\$ 75.00 pesos cada uno
Kit solar 1	\$29,330.00 pesos
Kit solar 2	\$23,782.00 pesos
Kit solar 3	\$10,465.00 pesos

De manera que la ecuación que representa el costo total de los productos para el rubro de la energía es la siguiente:

$$I_{D3} = \sum_{i=1}^n I_{(D3)i} \quad (5.25)$$

Donde I_{D3} representa la inversión inicial total que se debe de hacer en el rubro de la energía eléctrica, n representa la cantidad de dispositivos propuestos para ser adquiridos, que para este caso son cuatro diferentes dispositivos, en tanto que $I_{(D3)i}$ representa los costos individuales de cada uno de los productos.

Para este rubro, no es posible adquirir dos o tres kits solares diferentes, por lo que esta será otra restricción para el modelo y la adquisición dependerá del presupuesto, así como del porcentaje de ahorro que proporciona en la vivienda.

5.5 Modelo lineal

El objetivo del presente trabajo, es el de maximizar el ahorro en el gasto que se tiene actualmente con la implementación de los nuevos dispositivos propuestos en las viviendas de bajos recursos, la ecuación que representa el modelo, es la combinación lineal del conjunto de dispositivos con el conjunto de los consumos, propiamente con el subconjunto de los ahorros generados para cada uno de los rubros.

Estas ecuaciones se plantean para cada uno de los rubros propuestos: agua, gas y energía eléctrica, ya que desde el principio estos tres rubros se han planteados como los más relevantes para alcanzar el impacto no sólo económico sino también ecológico y social.

5.5.1 Ecuación para el agua

La ecuación que permite maximizar el ahorro económico en este caso para el agua, estará representada por la función $f(1)$, y es la siguiente:

$$f(1) = \sum_{i=1}^n (DA_i)(CN_{(D1)i}) \quad (5.26)$$

Donde $f(1)$ representa el ahorro económico total que se puede generar con la implementación de los dispositivos para el rubro del agua, n representa el número de los diferentes dispositivos contemplados para ser implementados en este rubro, que para este caso son cuatro, en tanto que $(DA_i)(CN_{(D1)i})$ representa la cantidad de dispositivos necesarios así como el ahorro total que se puede generar con estos dispositivos respectivamente. El producto de ambos proporcionará el ahorro total para el rubro del agua generado con la implementación de esos nuevos dispositivos.

La adquisición de los dispositivos estará restringida por el presupuesto así como por el porcentaje de ahorro que proporcionan a la vivienda.

5.5.2 Ecuación para el gas

Otra ecuación que permite maximizar el ahorro económico, ahora para el gas, está representada por la función $f(2)$ y es la siguiente:

$$f(2) = \sum_{i=1}^n (DG_i)(CN_{(D2)i}) \quad (5.27)$$

Donde $f(2)$ representa el ahorro económico total que se puede generar con la implementación de los nuevos dispositivos para el rubro del gas, n representa el número de dispositivos diferentes contemplados en este rubro, que para este caso son dos, en tanto que $(DG_i)(CN_{(D2)i})$ representa la cantidad de dispositivos necesarios así como el ahorro total que se puede generar con estos dispositivos respectivamente. El producto de ambos proporcionará el ahorro total para el rubro pero ahora del gas generado con la implementación de esos nuevos dispositivos.

La adquisición de los dispositivos, nuevamente estará restringida por el presupuesto así como por el porcentaje de ahorro que proporcionan a la vivienda.

5.5.3 Ecuación para la energía eléctrica

Finalmente la tercera de las ecuaciones que permite maximizar el ahorro económico pero ahora para la energía eléctrica, está representada por la función $f(3)$ y es la siguiente:

$$f(3) = \sum_{i=1}^n (DE_i)(CN_{(D3)i}) \quad (5.28)$$

Donde $f(3)$ representa el ahorro económico total que se puede generar con la implementación de los dispositivos para el rubro de la energía eléctrica, n representa el número de dispositivos diferentes contemplados en este rubro, que para este caso son cuatro, en tanto que $(DE_i)(CN_{(D3)i})$ representa la cantidad de dispositivos necesarios, así como el ahorro total que se puede generar con dicho dispositivos respectivamente. El producto de ambos proporcionará el ahorro total para el rubro de la energía eléctrica generado con la implementación de esos nuevos dispositivos.

Al igual que en las dos ecuaciones anteriores, la adquisición de los dispositivos estará restringida por el presupuesto así como por el porcentaje de ahorro que proporcionan a la vivienda.

5.5.4 Ecuación general

La combinación lineal de las tres funciones anteriores, permitirá definir la ecuación 5.29, que representa la función objetivo del modelo de optimización para la implementación de nuevas tecnologías en las viviendas de bajos recursos considerando los tres rubros.

$$F(M) = \sum_{i=1}^n f(i) \quad (5.29)$$

Donde $F(M)$ representa el ahorro total generado por todos los productos en los rubros establecidos, n representa el número total de rubros a ser considerados, que para este caso son tres, en tanto que $f(i)$ representa el ahorro generado en cada rubro de acuerdo a los dispositivos adquiridos, y que permiten maximizar el ahorro en el consumo de recursos de manera mensual, reflejados en el gasto de las familias.

5.5.6 Restricciones

Las funciones anteriores tienen las siguientes restricciones, las cuales serán representadas por medio de inecuaciones lineales.

1. La suma de los consumos generados en dinero con los nuevos productos, siempre debe de ser menor al consumo actual que se tiene, por lo tanto:

$$CN_D < CA_D$$

2. No necesariamente se deben de cambiar todos los dispositivos, por lo tanto:

$$D \leq 1$$

3. Pero los dispositivos no deben de ser nunca menores a cero, por lo tanto:

$$D \geq 0$$

4. Los valores deben de ser enteros, es decir, no se puede comprar medio sanitario o media regadera, entonces:

$$D = Integer$$

5. Para el caso de la energía eléctrica, la cantidad de focos que se deben de comprar deben ser ocho, ya que son los necesarios para una vivienda de bajos recursos, por lo tanto:

$$DE_1 \leq 8$$

6. La inversión inicial que se debe de realizar, es establecida con diferentes valores como el porcentaje de ahorro. Se debe de considerar que si se requiere un porcentaje de ahorro grande, entonces se requiere destinar un rubro mayor para la inversión inicial y viceversa, es decir, tienen una relación lineal, siempre considerando el monto total que es considerado como gasto ideal para una vivienda de este tipo, es decir, las viviendas consideradas en este estudio tienen un costo aproximado de \$300,000MXN, y según diferentes autores, la inversión que debe de realizarse en una vivienda para hacerla domótica es del 20%. Sin embargo, gracias al análisis realizado de los diferentes dispositivos y de acuerdo a los resultados estadísticos realizados, esa sería una cantidad muy alta, por lo que se considera que una inversión del 10% del costo total de la vivienda sería suficiente para cubrir las necesidades de los usuarios de este tipo de viviendas, es decir, una inversión de \$30,000 que será representado como I_M que significa inversión máxima. Pero como además existen tres rubros diferentes en los que se tiene que invertir, es decir, en dispositivos para el ahorro del agua, del gas y de la energía, entonces y de acuerdo con los costos de cada uno de los productos se establece un porcentaje para cada rubro: I_1, I_2 e I_3 que significan inversión en el rubro del agua, del gas y de la energía respectivamente, siendo siempre la suma de los tres menor a I_M . Entonces y de acuerdo a lo anterior se tienen las siguientes restricciones:

$$I_D \leq I_M$$

$$I_{D1} \leq I_1 \quad I_{D2} \leq I_2 \quad I_{D3} \leq I_3$$

7. Se puede dar prioridad a la compra de productos en el rubro del agua, del gas o de la energía, según se requiera.
8. No es posible adquirir dos o más calentadores solares para el rubro del gas, así como dos o más kits solares en el rubro de la energía eléctrica, por lo que:

$$D_2 \leq 1$$

$$DE_2 + DE_3 + DE_4 \leq 1$$

5.5.7 Retorno de inversión

El retorno de inversión es la razón que compara el beneficio obtenido en relación a la inversión realizada. En el presente trabajo, el retorno de inversión será calculado con base en la cantidad de años requeridos para pagar los nuevos dispositivos pero usando para ello el ahorro en dinero que se genera con la implementación de los mismos.

En el rubro del agua, según la información presentada la inversión inicial que se debe de hacer en la compra de los dispositivos es representada por la ecuación (5.21), y el ahorro económico que generan en las viviendas está representado por la ecuación (5.13). Con base en esa información, la cantidad de años necesaria para pagar los productos se calcula con la siguiente ecuación:

$$R_A = \frac{CN_{D1}}{(I_{D1})(12)} = \frac{\sum_{i=1}^N CN_{(D1)i}}{(\sum_{i=1}^N I_{(D1)i})(12)} \quad (5.30)$$

En el rubro del gas, según la información presentada la inversión inicial que se debe de hacer en la compra de los dispositivos es representada por la ecuación (5.24), y el ahorro económico que generan están representado por la ecuación (5.18). Con base en esa información, la cantidad de años necesaria para pagar los productos se calcula con la siguiente ecuación:

$$R_G = \frac{CN_{D2}}{(I_{D2})(12)} = \frac{\sum_{i=1}^N CN_{(D2)i}}{(\sum_{i=1}^N I_{(D2)i})(12)} \quad (5.31)$$

Finalmente, en el rubro de la energía eléctrica y según la información presentada, la inversión inicial que se debe de hacer en la compra de los dispositivos es representada por la ecuación (5.23), y el ahorro económico que generan está representado por la ecuación (5.21). Con base en esa información, la cantidad de años necesaria para pagar los productos se calcula con la siguiente ecuación:

$$R_E = \frac{CN_{D3}}{(I_{D3})(12)} = \frac{\sum_{i=1}^N CN_{(D3)i}}{(\sum_{i=1}^N I_{(D3)i})(12)} \quad (5.32)$$

Como se puede observar en las ecuaciones (5.30), (5.31) y (5.32), la cantidad de años requerida para alcanzar el retorno de la inversión, dependerá de la cantidad de productos que se compren, y a su vez de los costos que cada uno tiene así como del ahorro que generan. También se puede realizar el análisis de los beneficios si se considera que de cualquier manera se tiene que hacer una inversión inicial en los dispositivos, y si esta inversión es descontada de los gastos que se tienen que hacer con los nuevos productos, entonces el beneficio es tangible en menos años.

Capítulo 6 Resultados

6.1 Introducción

Para encontrar la solución de las ecuaciones que conforman el modelo de optimización, que permite obtener la solución tecnológica óptima para ser implementada en las viviendas de bajos recursos, y con ello lograr maximizar el ahorro en el gasto mensual que se tiene, se usó la herramienta Solver (ver sección 3.5.4).

Los experimentos realizados comprenden, establecer los parámetros de cada una de las variables en los diferentes rubros y tres tipos de pruebas diferentes. La primera de ellas fue realizada solamente usando la ecuación para el rubro del agua, es decir, se encontraron los resultados únicamente con la ecuación $f(1)$, la segunda de ellas fue realizada para la combinación de las ecuaciones que representan los rubros de gas con $f(2)$, y de energía eléctrica con $f(3)$ y finalmente, el tercer experimento fue realizado con la combinación de las tres ecuaciones que representan los tres rubros, siendo esta la representación de la función integrada $f(M)$. Los resultados de los experimentos se presentan a continuación.

6.2 Experimentos de la función para el rubro del agua.

El objetivo que se busca es maximizar el ahorro, que se vea reflejado en el bolsillo de las familias, es decir, que se logre maximizar el ahorro en el gasto que se tiene de manera mensual en el consumo, en este caso de agua, y considerando que si bien se proponen cuatro dispositivos diferentes, no necesariamente se tienen que cambiar todos los elementos. Entonces lo que se busca es maximizar el ahorro obtenido con la compra de los diferentes dispositivos, es decir, la suma de los productos de cada dispositivo que se van a comprar, por el ahorro que se genera con el nuevo producto representado por $f(1)$, ya que entre mayor sea el ahorro que se genere, menor será el pago que las familias tienen que hacer de manera mensual.

$$f(1) = \sum_{i=1}^n (DA_i)(CN_{(D1)i}) \quad (5.26)$$

Para poder obtener los resultados de la ecuación $f(1)$, fue necesario hacer una tabla en la que se involucraran todos los datos de los tres diferentes grupos de variables para este rubro en particular, es decir, del grupo de los dispositivos (DA_i), de los consumos actuales ($CA_{(D1)i}$) así como de los nuevos consumos ($CN_{(D1)i}$), y finalmente del grupo de inversión que debe de realizarse para poder implementar los diferentes dispositivos ($I_{(D1)i}$), tal como se muestra en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1 Tabla de datos para el rubro del agua.

	Regadera	Sanitario	Llaves de lavabo	Llaves de fregadero	Totales
Cantidad usada por persona en lts.	100	80	15		345
Cantidad usado por vivienda para 4 personas en lts.	400	320	60	150	930
Consumo actual en porcentaje	41.13%	32.90%	6.17%	15.42%	95.63%
Consumo actual en dinero	\$37.02	\$29.61	\$5.55	\$13.88	\$86.07
Ahorro en porcentaje con el nuevo producto	20%	70%	65%	50%	
Ahorro en consumos (litros)	80	224	39	75	418
Ahorro del total gastados en una vivienda en porcentaje	8.23%	23.03%	4.01%	7.71%	
Ahorro en dinero generado con el nuevo producto	\$7.40	\$20.73	\$3.61	\$6.94	\$38.68
Costo de los productos	\$1,700	\$2,500	\$2,000	\$2,000	\$8,200

A su vez, es necesario establecer una tabla que contenga la o las ecuaciones que se busca optimizar para lograr el objetivo propuesto, que en este caso es maximizar el ahorro representado por $f(1)$. Para esto se requiere cambiar las celdas de dispositivos requeridos, representado por $D_{(D1)i}$, de tal manera que se logre encontrar cuales de estos dispositivos, considerando las restricciones, sería más conveniente adquirir.

La Tabla 6.2 contiene las diferentes variables de decisión, los valores aparecen en cero por que no se presenta el resultado de ningún experimento.

Tabla 6.2 Variables de decisión para el rubro del agua.

	Regadera ecológica	Sanitario ecológico	Llaves de lavabo ahorradoras	Llaves de fregadero ahorradoras	TOTALES
Cantidad usada por vivienda con el nuevo producto	0	0	0	0	0
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Gasto total realizado	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-
Dispositivos requeridos	0	0	0	0	

Con esta información y estableciendo todas las restricciones descritas en el capítulo anterior, se logra encontrar el ahorro generado y con ello, el porcentaje de ahorro en consumo, que para este caso es en litros así como la cantidad de años requeridos para pagar dispositivo, usando para ello sólo el ahorro generado, tal y como se muestra en las Tabla 6.3. Para este caso los porcentajes de

ahorro se presentan en cero, mientras no se establezcan datos para la realización de un experimento en particular.

Tabla 6.3 Ahorro generado en el rubro del agua.

Ahorro generado	\$0
Porcentaje de ahorro	0.00%
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	0

Para el caso del agua, se realizó otro cálculo en los años requeridos para pagar la inversión inicial, ya que de cualquier manera se deben de comprar estos dispositivos para el hogar. Considerando que se debe de hacer una inversión inicial en dispositivos, si el costo de los mismos se descuentan de los costos de los nuevos productos como propuesta tecnológica, se reducen los años requeridos para el pago de los mismos. Esto se muestra en la Tabla 6.4, para la cual tampoco existen datos experimentales.

Tabla 6.4 Cálculo de los años para pagar los productos considerando la inversión inicial.

	Regadera	Sanitario	Llaves de Lavabo	Llaves de fregadero	Gasto total
Calculando los años requeridos considerando los gastos que de todos modos se deben de hacer en los productos	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-
Años requeridos considerando el costo inicial que se debe hacer en los productos	\$0.0				

Es importante establecer el porcentaje del total de la inversión destinada para implementar las nuevas tecnologías en los hogares, tanto al realizar las pruebas como dentro de las restricciones del modelo. Como se mencionó anteriormente, el 10% del costo total de la vivienda, será suficiente para poder implementar los elementos que permitan generar un ahorro para las necesidades de los usuarios. Sin embargo existen tres rubros diferentes en los cuales se debe de invertir, cada usuario puede establecer a cuál de los rubros le daría prioridad, y esto dependerá en gran medida de las necesidades de acuerdo a la región en donde se encuentre la vivienda, estableciendo los porcentajes de inversión y teniendo como límite el máximo disponible. Para la realización de la pruebas, se ha tomado como referencia una vivienda con un costo de \$300,000 pesos, por lo que el 10% disponible para nuevos elementos significa un monto de \$30,000 pesos.

Además de los elementos para el ahorro del agua, también serán considerados elementos para el ahorro de energía y de gas, y teniendo en consideración que estos requieren de una inversión mayor por el costo de la tecnología, es considerado sólo el 18.33% del máximo disponible para el rubro del agua, que son aproximadamente \$5,500 pesos. Con estos datos establecidos, se

realizan los diferentes experimentos cambiando los valores, e inclusive se tomaron valores superiores al límite establecido para ver el comportamiento del modelo.

El primer experimento realizado fue considerar que se requiere un porcentaje de ahorro en el consumo del agua menor o igual al 20%, con un monto de inversión de \$2,500 pesos, con lo cual, el modelo encontró los siguientes valores como óptimos.

Tabla 6.5 Resultado del primer experimento en el rubro del agua.

	Regadera ecológica	Sanitario ecológico	Llaves de lavabo ahorradoras	Llaves de fregadero ahorradoras	TOTALES
Cantidad usada por vivienda con el nuevo producto	0	96	0	0	96
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$-	\$8.88	\$-	\$-	\$8.88
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	0.00%	23.03%	0.00%	0.00%	23%
Gasto total realizado	\$-	\$2,500.00	\$-	\$-	\$2,500.00
Dispositivos requeridos	0	1	0	0	
Ahorro generado	\$20.73				
Porcentaje de ahorro	24.09%				
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	10.05				
	Regadera	Sanitario	Llaves de Lavabo	Llaves de fregadero	Gasto total
Calculando los años requeridos considerando los gastos que de todos modos se deben de hacer en los productos	\$-	\$1,500.00	\$-	\$-	\$1,500.00
Años requeridos considerando el costo inicial que se debe hacer en los productos	6.03				

Lo que significa que si solamente se tuviera disponible una cantidad de dinero de \$2,500 pesos, se compraría el elemento que más ahorre y se ajuste al presupuesto, que en este caso efectivamente es el sanitario, tal como lo corrobora el modelo. La cantidad de años requeridos para pagar la inversión inicial es de 10, pero si se consideran los costos iniciales de los productos, entonces se reduce a 6 años.

El segundo experimento realizado fue considerando que se requiere un porcentaje de ahorro en el consumo del agua menor o igual al 20%, con un monto de inversión de \$3,500 pesos, con lo cual la ecuación encontró los mismos valores como óptimos, dado que de acuerdo a los precios de los productos, con \$3,500 pesos no se tiene el dinero suficiente para comprar otro producto, además del sanitario que es el que más ahorra.

Tabla 6.6 Resultados del segundo experimento en el rubro del agua.

	Regadera ecológica	Sanitario ecológico	Llaves de lavabo ahorradoras	Llaves de fregadero ahorradoras	TOTALES
Cantidad usada por vivienda con el nuevo producto	0	96	0	0	96
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$-	\$8.88	\$-	\$-	\$8.88
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	0.00%	23.03%	0.00%	0.00%	23%
Gasto total realizado	\$-	\$2,500.00	\$-	\$-	\$2,500.00
Dispositivos requeridos	0	1	0	0	
Ahorro generado	\$20.73				
Porcentaje de ahorro	24.09%				
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	10.05				
	Regadera	Sanitario	Llaves de Lavabo	Llaves de fregadero	Gasto total
Calculando los años requeridos considerando los gastos que de todos modos se deben de hacer en los productos	\$-	\$1,500.00	\$-	\$-	\$1,500.00
Años requeridos considerando el costo inicial que se debe hacer en los productos	6.03				

El tercer experimento realizado fue considerando que se requiere un porcentaje de ahorro en el consumo del agua menor o igual al 20%, con un monto de inversión de \$4,500 pesos, con lo cual el modelo encontró que es posible invertir en un sanitario ecológico y en una regadera, logrando un porcentaje mayor de ahorro.

Tabla 6.7 Resultados del tercer experimento en el rubro del agua.

	Regadera ecológica	Sanitario ecológico	Llaves de lavabo ahorradoras	Llaves de fregadero ahorradoras	TOTALES
Cantidad usada por vivienda con el nuevo producto	320	96	0	0	416
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$29.61	\$8.88	\$-	\$-	\$38.50
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	8.23%	23.03%	0.00%	0.00%	31%
Gasto total realizado	\$1,700.00	\$2,500.00	\$-	\$-	\$4,200.00
Dispositivos requeridos	1	1	0	0	
Ahorro generado	\$28.13				
Porcentaje de ahorro	32.69%				
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	12.44				
	Regadera	Sanitario	Llaves de Lavabo	Llaves de fregadero	Gasto total
Calculando los años requeridos considerando los gastos que de todos modos se deben de hacer en los productos	\$1,440.00	\$1,500.00	\$-	\$-	\$2,940.00
Años requeridos considerando el costo inicial que se debe hacer en los productos	8.71				

El cuarto experimento realizado fue considerando que se requiere un porcentaje de ahorro en el consumo del agua menor o igual al 20%, con un monto de inversión del máximo establecido que es de \$5,500 pesos, con lo cual el modelo encontró que es posible invertir en un sanitario ecológico y en una regadera, igual que en el caso anterior, resultado que era de esperarse, ya que no es posible comprar otro elemento con ese presupuesto, se requerirían como mínimo de \$6,200 pesos.

Tabla 6.8 Resultados del cuarto experimento en el rubro del agua.

	Regadera ecológica	Sanitario ecológico	Llaves de lavabo ahorradoras	Llaves de fregadero ahorradoras	TOTALES
Cantidad usada por vivienda con el nuevo producto	320	96	0	0	416
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$29.61	\$8.88	\$-	\$-	\$38.50
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	8.23%	23.03%	0.00%	0.00%	31%
Gasto total realizado	\$1,700.00	\$2,500.00	\$-	\$-	\$4,200.00
Dispositivos requeridos	1	1	0	0	
Ahorro generado	\$28.13				
Porcentaje de ahorro	32.69%				
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	12.44				
	Regadera	Sanitario	Llaves de Lavabo	Llaves de fregadero	Gasto total
Calculando los años requeridos considerando los gastos que de todos modos se deben de hacer en los productos	\$1,440.00	\$1,500.00	\$-	\$-	\$2,940.00
Años requeridos considerando el costo inicial que se debe hacer en los productos	8.71				

Cabe destacar que en todos los experimentos anteriores, el porcentaje de ahorro es mayor al 20%, y esto es porque lo que se busca es maximizar el ahorro, así que aunque se establece como límite un 20% en el ahorro, la mejor solución siempre fue con un porcentaje de ahorro mayor.

El quinto experimento realizado fue considerando que se requiere un porcentaje de ahorro en el consumo del agua menor o igual al 40%, con un monto de inversión del máximo establecido que es de \$3,500 pesos, con lo cual el modelo encontró los resultados mostrados en la Tabla 6.9.

Tabla 6.9 Resultados del quinto experimento en el rubro del agua.

	Regadera ecológica	Sanitario ecológico	Llaves de lavabo ahorradoras	Llaves de fregadero ahorradoras	TOTALES
Cantidad usada por vivienda con el nuevo producto	0	96	0	0	96
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$-	\$8.88	\$-	\$-	\$8.88
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	0.00%	23.03%	0.00%	0.00%	23%
Gasto total realizado	\$-	\$2,500.00	\$-	\$-	\$2,500.00
Dispositivos requeridos	0	1	0	0	
Ahorro generado	\$20.73				
Porcentaje de ahorro	24.09%				
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	10.05				
	Regadera	Sanitario	Llaves de Lavabo	Llaves de fregadero	Gasto total
Calculando los años requeridos considerando los gastos que de todos modos se deben de hacer en los productos	\$-	\$1,500.00	\$-	\$-	\$1,500.00
Años requeridos considerando el costo inicial que se debe hacer en los productos	6.03				

El experimento seis fue considerando que se requiere un porcentaje de ahorro en el consumo del agua menor o igual al 40%, con un monto de inversión del máximo establecido que es de \$5,500 pesos, con lo cual el modelo encontró los mismos resultados que para un monto de inversión de \$4,500 pesos, ya que con ese presupuesto no es posible comprar otro elemento de los propuestos.

Tabla 6.10 Resultados del sexto experimento en el rubro del agua.

	Regadera ecológica	Sanitario ecológico	Llaves de lavabo ahorradoras	Llaves de fregadero ahorradoras	TOTALES
Cantidad usada por vivienda con el nuevo producto	320	96	0	0	416
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$29.61	\$8.88	\$-	\$-	\$38.50
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	8.23%	23.03%	0.00%	0.00%	31%
Gasto total realizado	\$1,700.00	\$2,500.00	\$-	\$-	\$4,200.00
Dispositivos requeridos	1	1	0	0	
Ahorro generado	\$28.13				
Porcentaje de ahorro	32.69%				
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	12.44				
	Regadera	Sanitario	Llaves de Lavabo	Llaves de fregadero	Gasto total
Calculando los años requeridos considerando los gastos que de todos modos se deben de hacer en los productos	\$1,440.00	\$1,500.00	\$-	\$-	\$2,940.00
Años requeridos considerando el costo inicial que se debe hacer en los productos	8.71				

Con fines de verificar el correcto funcionamiento del modelo, se realizó un experimento en donde el porcentaje de inversión sea sólo de \$1,000 pesos con un porcentaje de ahorro del 10%, y los resultados que arrojó es que no existe ningún producto que satisfaga dichos requerimientos como se muestra en la Tabla 6.11.

Tabla 6.11 Resultados del experimento siete en el rubro del agua.

	Regadera ecológica	Sanitario ecológico	Llaves de lavabo ahorradoras	Llaves de fregadero ahorradoras	TOTALES
Cantidad usada por vivienda con el nuevo producto	0	0	0	0	0
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0%
Gasto total realizado	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-
Dispositivos requeridos	0	0	0	0	
Ahorro generado	\$-				
Porcentaje de ahorro	0.00%				
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	0				

De la misma manera y solo para verificar los resultados del modelo, se realiza un experimento en el que el monto a ser invertido es de \$6,500 pesos, además de que el límite máximo establecido también se cambia a este monto, y con un porcentaje de ahorro del 60%, con lo cual el modelo arroja los resultados mostrados en la Tabla 6.12.

Tabla 6.12 Resultados del experimento ocho en el rubro del agua.

	Regadera ecológica	Sanitario ecológico	Llaves de lavabo ahorradoras	Llaves de fregadero ahorradoras	TOTALES
Cantidad usada por vivienda con el nuevo producto	320	96	0	75	491
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$29.61	\$8.88	\$-	\$6.94	\$45.44
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	8.23%	23.03%	0.00%	7.71%	39%
Gasto total realizado	\$1,700.00	\$2,500.00	\$-	\$2,000.00	\$6,200.00
Dispositivos requeridos	1	1	0	1	
Ahorro generado	\$35.07				
Porcentaje de ahorro	40.75%				
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	14.73				
	Regadera	Sanitario	Llaves de Lavabo	Llaves de fregadero	Gasto total
Calculando los años requeridos considerando los gastos que de todos modos se deben de hacer en los productos	\$1,440.00	\$1,500.00	\$-	\$1,650.00	\$4,590.00
Años requeridos considerando el costo inicial que se debe hacer en los productos	10.91				

6.3 Experimentos de la función para el rubro del gas y de la energía eléctrica.

El objetivo sigue siendo el mismo para cada uno de los rubros, es decir lo que se busca es maximizar el ahorro que se vea reflejado en el gasto mensual que los usuarios tienen, por lo tanto, lo que el modelo debe de lograr es maximizar el ahorro. Ahora bien, para el ahorro de gas se proponen dos calentadores solares, mientras que para el ahorro de energía se propone el uso de focos ahorradores y del uso de tres diferentes tipos de celdas solares. Como se mencionó anteriormente, no será posible que el modelo lineal arroje como resultado el uso de los dos calentadores solares o bien, dos o los tres kits solares al mismo tiempo. La ecuación que representa la optimización de los elementos destinados para el rubro del gas es $f(2)$, en tanto que para la energía eléctrica es $f(3)$, ecuaciones (5.27) y (5.28) respectivamente. Ambas ecuaciones estarán combinando los diferentes elementos tecnológicos buscando siempre lograr el objetivo.

$$f(2) = \sum_{i=1}^n (DG_i)(CN_{(D2)i}) \quad y \quad f(3) = \sum_{i=1}^n (DE_i)(CN_{(D3)i})$$

Para poder obtener los resultados de las ecuaciones en ambos rubros, fue necesario hacer una tabla en la que se involucraran todos los datos de los tres diferentes grupos de variables, es decir, del grupo de los dispositivos (DG_i y DE_i), de los consumos actuales ($CA_{(D2)i}$ y $CA_{(D3)i}$) así como de los nuevos consumos que se tendrían con el uso de los nuevos productos ($CN_{(D2)i}$ y $CN_{(D3)i}$). Además, es importante también involucrar el grupo de inversión inicial que debe de realizarse para poder implementar los diferentes dispositivos (I_{D2} e I_{D3}), tal como se muestra en la Tabla 6.13.

Tabla 6.13 Tabla de datos para los rubros del gas y de la energía eléctrica.

	Productos para la energía					
	Calentador solar 1	Calentador solar 2	Kit solar completo 1	Focos ahorradores	Kit solar completo 2	Kit solar completo 3
Cantidad usado por vivienda para 4 personas mensualmente (Kgs si es para gas o KW si es para energía)	18	18	129.089	34.854	129.089	129.089
Consumo actual en porcentaje en el rubro con estos dispositivos. (Este es el porcentaje total consumido ya sea de gas o de energía de manera mensual)	74.50%	74.50%	100.00%	27.00%	46.48%	20%
Consumo actual en dinero	\$ 240.00	\$ 240.00	\$ 152.09	\$ 41.06	\$ 152.09	\$ 152.09
Ahorro en porcentaje con el nuevo producto	80%	70%	55.78%	75%	46.48%	20.45%
Ahorro en consumos ya sea en Kgs si es para el gas o en KW si es para la energía	14.4	12.6	72	26.14	60	26.40
Ahorro del total gastados en una vivienda en porcentaje	80.00%	70.00%	55.78%	20.25%	46.48%	20%
Ahorro en dinero generado mensualmente con el nuevo producto	\$ 192.00	\$ 168.00	\$ 84.83	\$ 30.80	\$ 70.69	\$ 31.10
Costo de los productos	\$ 6,710.00	\$5,800	\$ 29,330.00	\$ 75.00	\$ 23,782.00	\$ 10,465.00

Además de los datos presentados en la Tabla 6.13, es necesario hacer un resumen de los consumos y porcentajes en cada uno de los rubros, los cuales se presentan a continuación.

Tabla 6.14 Datos generales del gas y de la energía eléctrica

Cantidad de gas usado mensualmente por vivienda en Kgs.	20 Kgs	Porcentaje gastado de gas para	La cocción de alimentos	27.50%
Costo de un gas de 30 Kgs	\$420.00		Calentamiento de agua	47%
Costo del gasto mensual	\$280.00			
Cantidad de energía usada en KW mensualmente en una vivienda	129.089	Para energía	Con un panel solar completo de 29,330 se entregan (KW) mensuales	72
Cantidad de gasto generado mensualmente para la luz	\$152.09		Kit solar 2 de \$23,782 se entregan (KW) mensuales	60
Cantidad de focos requeridos por vivienda	8		Kit solar 3 de \$10,465 entrega (KW) mensuales	26.4
Cantidad de energía usada para la iluminación	27.00%		Ahorro en dinero por cada foco	\$3.85

Es necesario establecer una tabla que contenga las ecuaciones que se busca optimizar para lograr el objetivo propuesto, que en este caso es maximizar el ahorro representado por $f(2)$ para el rubro del gas, y $f(3)$ para el caso de la energía eléctrica. Para esto se requiere estar cambiando las celdas de dispositivos requeridos, que en este caso está representado por DG_i y DE_i respectivamente, de tal manera que se logre establecer, considerando las diferentes restricciones, cuales son los dispositivos que resultan más convenientes adquirir. La Tabla 6.15 contiene las diferentes variables de decisión aunque sin valores, ya que no representa un experimento específico.

Tabla 6.15 Variables de decisión para los rubros del gas y de la energía eléctrica

	Productos para el gas		Productos para la energía				Totales	
	Calentador solar 1	Calentador solar 2	Focos ahorradores	Kit solar completo 1	Kit solar completo 2	Kit solar completo 3	TOTALES PARA GAS	TOTALES PARA LUZ
Cantidad de energía usada por vivienda con el nuevo producto	0	0	0	0	0	-	0	-
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	0.00%	0.00%	0.00%	0%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Gasto total realizado	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Dispositivos requeridos	0	0	0	0	0	0	0	0
Total en gasto	\$0							
Ahorro generado	\$ -							
PARA GAS		PARA ENERGIA		Cantidad de calentadores solares a comprar		Cantidad de kits solares a comprar		
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	#DIV/0!	0.0		0		0		

Ahora bien, el porcentaje de inversión que será destinado a cada uno de los rubros puede ser determinado también por el usuario, siempre y cuando se respete la restricción del monto total destinado para los tres rubros que es el 10% del costo total de la vivienda. Como se ha comentado anteriormente, considerando que se tienen una vivienda que cuesta \$300,000.00 pesos, entonces el 10% corresponde a un monto de \$30,000.00 pesos. Con base en este límite se han realizado los experimentos invirtiendo diferentes cantidades en los dos rubros.

El primer experimento realizado fue considerando un monto de inversión de \$1,000 pesos para los dispositivos de gas y de \$23,000 pesos para los de energía eléctrica, con lo cual el modelo encontró los resultados óptimos mostrados en la Tabla 6.16.

Tabla 6.16 Resultados del primer experimento para los rubros de gas y de energía eléctrica

	Productos para el gas		Productos para la energía				Totales	
	Calentador solar 1	Calentador solar 2	Focos ahorradores	Kit solar completo 1	Kit solar completo 2	Kit solar completo 3	TOTALES PARA GAS	TOTALES PARA LUZ
Cantidad de energía usada por vivienda con el nuevo producto	0	0	69.70806	0	0	253.60	0	323.31
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$ -	\$ -	\$ 10.27	\$ -	\$ -	\$ 137.75	\$ -	\$ 148.02
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	0.00%	0.00%	20.25%	0%	0.00%	9.43%	0.00%	29.68%
Gasto total realizado	\$0	\$0	\$600	\$0	\$0	\$10,465	\$0	\$11,065
Dispositivos requeridos	0	0	8	0	0	1	0	9
Total en gasto	\$11,065							
Ahorro generado	\$ 45.14							
PARA GAS		PARA ENERGIA		Cantidad de calentadores solares a comprar		Cantidad de kits solares a comprar		
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	0.00	7.9		0		1		

En este caso, con el monto establecido para los dispositivos de gas, no fue suficiente comparar alguno de los dispositivos propuestos. Para el caso de la energía eléctrica, con el monto establecido es posible compara el kit solar 3 así como los focos ahorradores.

El segundo experimento realizado, fue considerando un monto de inversión de \$6,000 pesos para los dispositivos de gas y de \$19,000 pesos para los de energía eléctrica, con lo cual el modelo encontró como resultado óptimo comprar el calentador solar 2 para el rubro del gas, en tanto que para la energía eléctrica, lo óptimo es comprar el kit solar 3 así como los focos ahorradores, lo que se muestra en la Tabla 6.17.

Tabla 6.17 Resultados del segundo experimento para los rubros de gas y de energía eléctrica.

	Productos para el gas			Productos para la energía			Totales	
	Calentador solar 1	Calentador solar 2	Focos ahorradores	Kit solar completo 1	Kit solar completo 2	Kit solar completo 3	TOTALES PARA GAS	TOTALES PARA LUZ
Cantidad de energía usada por vivienda con el nuevo producto	0	6	69.70806	0	0	253.60	6	323.31
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$ -	\$ 84.00	\$ 10.27	\$ -	\$ -	\$ 137.75	\$ 84.00	\$ 148.02
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	0.00%	70.00%	20.25%	0%	0.00%	9.43%	70.00%	29.68%
Gasto total realizado	\$0	\$8,800	\$600	\$0	\$0	\$10,465	\$5,800	\$11,065
Dispositivos requeridos	0	1	8	0	0	1	1	9
Total en gasto	\$16,865							
Ahorro generado	\$ -	\$ 241.14						
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	PARA GAS		PARA ENERGIA		Cantidad de calentadores solares a comprar		Cantidad de kits solares a comprar	
	2.47		7.9		1		1	

El experimento tres se realizó considerando un monto de inversión de \$10,000 pesos para los dispositivos de gas y de \$14,000 pesos para los de energía eléctrica, con lo cual el modelo encontró como propuesta óptima, el comprar el calentador solar 1 así como el kit solar 3 y los focos ahorradores.

Tabla 6.18 Resultados del tercer experimento para los rubros de gas y de energía eléctrica.

	Productos para el gas			Productos para la energía			Totales	
	Calentador solar 1	Calentador solar 2	Focos ahorradores	Kit solar completo 1	Kit solar completo 2	Kit solar completo 3	TOTALES PARA GAS	TOTALES PARA LUZ
Cantidad de energía usada por vivienda con el nuevo producto	4	0	69.70806	0	0	253.60	4	323.31
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$ 56.00	\$ -	\$ 10.27	\$ -	\$ -	\$ 137.75	\$ 56.00	\$ 148.02
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	80.00%	0.00%	20.25%	0%	0.00%	9.43%	80.00%	29.68%
Gasto total realizado	\$6,710	\$0	\$600	\$0	\$0	\$10,465	\$6,710	\$11,065
Dispositivos requeridos	1	0	8	0	0	1	1	9
Total en gasto	\$17,775							
Ahorro generado	\$ -	\$ 269.14						
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	PARA GAS		PARA ENERGIA		Cantidad de calentadores solares a comprar		Cantidad de kits solares a comprar	
	2.50		7.9		1		1	

El cuarto experimento realizado fue considerando un monto de inversión de \$7,000 pesos para los dispositivos de gas y de \$17,500 pesos para los de energía eléctrica, con lo cual el modelo encontró los mismos dispositivos que la prueba anterior como óptimos, ya que el presupuesto no es suficiente para comprar un producto diferente u otro dispositivo de los propuestos.

Tabla 6.19 Resultados del cuarto experimento para los rubros de gas y de energía eléctrica.

	Productos para el gas		Productos para la energía				Totales	
	Calentador solar 1	Calentador solar 2	Focos ahorradores	Kit solar completo 1	Kit solar completo 2	Kit solar completo 3	TOTALES PARA GAS	TOTALES PARA LUZ
Cantidad de energía usada por vivienda con el nuevo producto	4	0	69.70806	0	0	253.60	4	323.31
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$ 56.00	\$ -	\$ 10.27	\$ -	\$ -	\$ 137.75	\$ 56.00	\$ 148.02
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	80.00%	0.00%	20.25%	0%	0.00%	9.43%	80.00%	29.68%
Gasto total realizado	\$6,710	\$0	\$600	\$0	\$0	\$10,465	\$6,710	\$11,065
Dispositivos requeridos	1	0	8	0	0	1	1	9
Total en gasto	\$17,775							
Ahorro generado	\$ 269.14							
	PARA GAS		PARA ENERGIA					
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	2.50	7.9						

Cantidad de calentadores solares a comprar	1	Cantidad de kits solares a comprar	1
--	---	------------------------------------	---

El quinto experimento realizado fue considerando un monto de inversión de \$0 pesos para los dispositivos de gas y de \$30,000 pesos para los de energía, con lo cual el modelo encontró que la opción óptima es comprar el kit solar 1 así como los focos ahorradores, tal como se muestra en la Tabla 6.20

Tabla 6.20 Resultados del experimento cinco para los rubros de gas y de energía eléctrica.

	Productos para el gas		Productos para la energía				Totales	
	Calentador solar 1	Calentador solar 2	Focos ahorradores	Kit solar completo 1	Kit solar completo 2	Kit solar completo 3	TOTALES PARA GAS	TOTALES PARA LUZ
Cantidad de energía usada por vivienda con el nuevo producto	0	0	69.70806	208	0	-	0	277.71
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$ -	\$ -	\$ 10.27	\$ 112.98	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 123.25
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	0.00%	0.00%	20.25%	26%	0.00%	0.00%	0.00%	45.96%
Gasto total realizado	\$0	\$0	\$600	\$29,330	\$0	\$0	\$0	\$29,930
Dispositivos requeridos	0	0	8	1	0	0	0	9
Total en gasto	\$29,930							
Ahorro generado	\$ 69.91							
	PARA GAS		PARA ENERGIA					
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	0.00	21.3						

Cantidad de calentadores solares a comprar	0	Cantidad de kits solares a comprar	1
--	---	------------------------------------	---

El experimento seis realizado, fue considerando un monto de inversión de \$30,000 pesos para los dispositivos de gas y de \$0 pesos para los de energía eléctrica, con lo cual el modelo encontró como mejor opción la compra del calentador solar 1, que es el que proporciona el mayor ahorro.

Tabla 6.21 Resultados del experimento seis para los rubros de gas y de energía eléctrica.

	Productos para el gas		Productos para la energía				Totales	
	Calentador solar 1	Calentador solar 2	Focos ahorradores	Kit solar completo 1	Kit solar completo 2	Kit solar completo 3	TOTALES PARA GAS	TOTALES PARA LUZ
Cantidad de energía usada por vivienda con el nuevo producto	4	0	0	0	0	-	4	-
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$ 56.00	\$ -	\$ 41.06	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 56.00	\$ 41.06
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	80.00%	0.00%	0.00%	0%	0.00%	0.00%	80.00%	0.00%
Gasto total realizado	\$6,710	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$6,710	\$0
Dispositivos requeridos	1	0	0	0	0	0	1	0
Total en gasto	\$6,710							
Ahorro generado	\$ 224.00							
	PARA GAS		PARA ENERGIA					
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	2.50	0.0						

Cantidad de calentadores solares a comprar	1	Cantidad de kits solares a comprar	0
--	---	------------------------------------	---

6.4 Experimentos con la función integrada

Esta sección expone el comportamiento de la función integrada, es decir, los resultados del modelo involucrando los tres rubros simultáneamente, con base en la siguiente función objetivo (5.29).

$$F(M) = \sum_{i=1}^n f(i)$$

Para esto, es necesario como en los experimentos anteriores, hacer una tabla en la que se involucraran todos los datos de los tres diferentes grupos de variables, es decir, del grupo de los dispositivos (DA_i , DG_i y DE_i), de los consumos actuales ($CA_{(D1)i}$, $CA_{(D2)i}$ y $CA_{(D3)i}$), así como de los nuevos consumos que se tendrían con el uso de los nuevos productos ($CN_{(D1)i}$, $CN_{(D2)i}$ y $CN_{(D3)i}$). Además, es importante también involucrar el grupo de inversión inicial que debe de realizarse para poder implementar los diferentes dispositivos (I_{D1} , I_{D2} e I_{D3}), tal como se muestra en la Tabla 6.22. Esta tabla involucra todos los datos mostrados en las Tablas 6.1 y 6.13.

También es necesario establecer una tabla que contenga las ecuaciones que se busca optimizar para lograr el objetivo propuesto, que en este caso es maximizar el ahorro representado por $f(M)$, ya que esta es la ecuación que integra los tres rubros. Para esto se requiere ajustar las celdas de dispositivos requeridos, que en este caso está representado por D , de tal manera que se logre establecer, considerando las diferentes restricciones, los dispositivos que resulten más conveniente adquirir. La Tabla 6.23 contiene las diferentes variables de decisión para el caso de los tres rubros.

Para este experimento fue necesario realizar una tabla que presente los consumos y el total del gasto realizado de manera individual para cada uno de los rubros, así como el total de la inversión que se realizaría con las tecnologías que el modelo propone como óptimas. Esto se muestra en la Tabla 6.24.

Tabla 6.22 Tabla de datos para los tres rubros.

	Productos para la energía						Productos para el cuidado el agua			
	Calentador solar 1	Calentador solar 2	Kit solar completo 1	Focos ahorradores	Kit solar completo 2	Kit solar completo 3	Regadera	Sanitario	Llaves de lavabo	Llaves de fregadero
<i>Cantidad usado por vivienda para 4 personas mensualmente (lts si es para gas o KW si es para energía)</i>	18	18	129.089	34.854	129.089	129.089	400	320	60	150
<i>Consumo actual en porcentaje en el rubro con estos dis. (este es el porcentaje total consumido ya sea de gas o de energía de manera mensual)</i>	74.50%	74.50%	100.00%	27.00%	46.48%	20%	41.13%	32.90%	6.17%	15.42%
<i>Consumo actual en dinero</i>	\$ 240.00	\$ 240.00	\$ 152.09	\$ 41.06	\$ 152.09	\$ 152.09	\$ 37.02	\$ 29.61	\$ 5.55	\$ 13.88
<i>Ahorro en porcentaje con el nuevo producto</i>	80%	70%	55.78%	75%	46.48%	20.45%	20%	70%	65%	50%
<i>Ahorro en consumos ya sea en lts si es para el gas o en KW si es para la energía</i>	14.4	12.6	72	26.14	60	26.40	80	224	39	75
<i>Ahorro del total gastados en una vivienda en porcentaje</i>	80.00%	70.00%	55.78%	20.25%	46.48%	20%	8.23%	23.03%	4.01%	7.71%
<i>Ahorro en dinero generado mensualmente con el nuevo producto</i>	\$ 192.00	\$ 168.00	\$ 84.83	\$ 30.80	\$ 70.69	\$ 31.10	\$ 7.40	\$ 20.73	\$ 3.61	\$ 6.94
<i>Costo de los productos</i>	\$ 6,710.00	\$ 5,800	\$ 29,330.00	\$ 75.00	\$ 23,782.00	\$ 10,465.00	\$ 1,700	\$ 2,500	\$ 2,000	\$ 2,000

Tabla 6.23 Variables de decisión para los rubros del gas y de la energía eléctrica.

	Productos para la energía						Productos para el ahorro de agua			
	Calentador solar 1	Calentador solar 2	Kit solar completo 1	Focos ahorradores	Kit solar completo 2	Kit solar completo 3	Regadera ecológica	Sanitario ecológico	Llaves de lavabo ahorradoras	Llaves de fregadero ahorradoras
Cantidad usada por vivienda con el nuevo producto	0	0	0	0.00	0.00	-	0	0	0	0
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	0.00%	0.00%	0%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Gasto total realizado	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Dispositivos requeridos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 6.24 Tabla con el total de los consumos en cada rubro, así como el total de la inversión.

TOTALES PARA GAS	TOTALES PARA LUZ	TOTALES PARA AGUA
0	-	0
\$-	\$-	\$-
0.00%	0.00%	0.00%
\$0	\$0	\$-
TOTAL DE LA INVERSIÓN	\$0.00	

El ahorro generado, así como los años requeridos para poder pagar los elementos tecnológicos que el modelo propone como óptimos, siempre considerando las restricciones establecidas, también son presentadas para cada uno de los rubros. Así, el ahorro total generado de manera mensual, es la suma de los ahorros proporcionados en cada uno de los rubros. Todo esto está representado en la Tabla 6.25.

Tabla 6.25 Ahorros generados en cada rubro así como los años requeridos para el retorno de inversión.

	GAS	ENERGÍA	AGUA	Total de ahorro	
Ahorro generado	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
Porcentaje de ahorro generado	0%	0.00%	0.00%		
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	0.00	0.0	0.00		
	Regadera	Sanitario	Llaves de Lavabo	Llaves de fregadero	Gasto total
Calculando los años requeridos considerando los gastos que de todos modos se deben de hacer en los productos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Años requeridos considerando el costo inicial que se debe hacer en los productos	-				

En esta misma tabla se presenta los años requeridos para pagar los elementos del agua considerando la inversión inicial, que de cualquier manera se debe hacer en estos elementos.

Con el sistema integrado se llevaron a cabo diferentes experimentos, usando algunos de los datos de inversión para cada uno de los rubros de los experimentos realizados por separado, esto con la finalidad de verificar que los resultados sean los mismos. El primer experimento fue estableciendo una inversión para el rubro del gas de \$1,000 pesos, para el rubro de la energía eléctrica de \$23,000 pesos y para el rubro del agua de \$2,500 pesos, en donde el modelo presenta como tecnologías óptimas las mismas que resultaron en los experimentos por separado y mostradas en las Tablas 6.5 y 6.16 respectivamente. En este caso se propone como mejor opción la adquisición de los ocho focos ahorradores, del kit solar 3 así como del sanitario ecológico, realizando una inversión total de \$13,565 pesos y generando un ahorro mensual de \$82.632 pesos. Estos resultados son mostrados en la Tabla 6.26.

El segundo de los experimentos realizados fue estableciendo una inversión para el rubro del gas de \$10,000 pesos, para el rubro de la energía eléctrica de \$19,000 pesos y para el rubro del agua de \$5,500 pesos. El modelo presenta como tecnologías óptimas la adquisición de los ocho focos ahorradores, del kit solar 3, del calentador solar 1 así como del sanitario ecológico y la regadera ecológica, realizando una inversión total de \$21,975 pesos y generando un ahorro mensual de \$274.781 pesos. Estos resultados son mostrados en la Tabla 6.27.

Tabla 6.26 Resultados del primer experimento de la función integrada.

	Productos para la energía						Productos para el ahorro de agua			
	Calentador solar 1	Calentador solar 2	Kit solar completo 1	Focos ahorradores	Kit solar completo 2	Kit solar completo 3	Regadera ecológica	Sanitario ecológico	Llaves de lavabo ahorradoras	Llaves de fregadero ahorradoras
Cantidad usada por vivienda con el nuevo producto	0	0	0	69.71	0.00	102.69	0	96	0	0
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 10.27	\$ -	\$ 120.99	\$ -	\$ 8.88	\$ -	\$ -
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	0.00%	0.00%	0%	20.25%	0.00%	20.45%	0.00%	23.03%	0.00%	0.00%
Gasto total realizado	\$0	\$0	\$0	\$600	\$0	\$10,465	\$ -	\$ 2,500.00	\$ -	\$ -
Dispositivos requeridos	0	0	0	8	0	1	0	1	0	0

	GAS	ENERGÍA	AGUA	Total de ahorro
Ahorro generado	\$ -	\$ 61.90	\$ 20.730	\$ 82.632
Porcentaje de ahorro generado	0%	40.70%	23.03%	
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	#DIV/0!	3.3	10.05	

	Regadera	Sanitario	Llaves de Lavabo	Llaves de fregadero	Gasto total
Calculando los años requeridos considerando los gastos que de todos modos se deben de hacer en los productos	\$ -	\$ 1,500.00	\$ -	\$ -	\$ 1,500.00
Años requeridos considerando el costo inicial que se debe hacer en los productos	6.03				

TOTALES PARA GAS	TOTALES PARA LUZ	TOTALES PARA AGUA
0	172.40	96
\$ -	\$ 131.25	\$ 8.884
0.00%	40.70%	23.03%
\$0	\$11,065	\$ 2,500.00
TOTAL DE LA INVERSIÓN	\$13,565.00	

Tabla 6.27 Resultados del segundo experimento de la función integrada.

	Productos para la energía						Productos para el ahorro de agua			
	Calentador solar 1	Calentador solar 2	Kit solar completo 1	Focos ahorradores	Kit solar completo 2	Kit solar completo 3	Regadera ecológica	Sanitario ecológico	Llaves de lavabo ahorradoras	Llaves de fregadero ahorradoras
Cantidad usada por vivienda con el nuevo producto	3.6	0	0	69.71	0.00	102.69	320	96	0	0
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$ 48.00	\$ -	\$ -	\$ 10.27	\$ -	\$ 120.99	\$ 29.61	\$ 8.88	\$ -	\$ -
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	80.00%	0.00%	0%	20.25%	0.00%	20.45%	8.23%	23.03%	0.00%	0.00%
Gasto total realizado	\$6,710	\$0	\$0	\$600	\$0	\$10,465	\$ 1,700.00	\$ 2,500.00	\$ -	\$ -
Dispositivos requeridos	1	0	0	8	0	1	1	1	0	0

	GAS	ENERGÍA	AGUA	Total de ahorro
Ahorro generado	\$ 192.00	\$ 61.90	\$ 28.134	\$ 282.036
Porcentaje de ahorro generado	80%	40.70%	31.26%	
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	2.91	3.3	12.44	

	Regadera	Sanitario	Llaves de Lavabo	Llaves de fregadero	Gasto total
Calculando los años requeridos considerando los gastos que de todos modos se deben de hacer en los productos	\$ 1,440.00	\$ 1,500.00	\$ -	\$ -	\$ 2,940.00
Años requeridos considerando el costo inicial que se debe hacer en los productos	8.71				

TOTALES PARA GAS	TOTALES PARA LUZ	TOTALES PARA AGUA
3.6	172.40	416
\$ 48.00	\$ 131.25	\$ 38.499
80.00%	40.70%	31.26%
\$6,710	\$11,065	\$ 4,200.00
TOTAL DE LA INVERSIÓN	\$21,975.00	

Tabla 6.28 Resultados del experimento tres de la función integrada.

	Productos para la energía						Productos para el ahorro de agua			
	Calentador solar 1	Calentador solar 2	Kit solar completo 1	Focos ahorradores	Kit solar completo 2	Kit solar completo 3	Regadera ecológica	Sanitario ecológico	Llaves de lavabo ahorradoras	Llaves de fregadero ahorradoras
Cantidad usada por vivienda con el nuevo producto	0	5.4	0	69.71	0.00	102.69	0	96	0	0
Consumo en dinero con el nuevo producto	\$ -	\$ 72.00	\$ -	\$ 10.27	\$ -	\$ 120.99	\$ -	\$ 8.88	\$ -	\$ -
Ahorro en porcentaje del total gastado en la vivienda	0.00%	70.00%	0%	20.25%	0.00%	20.45%	0.00%	23.03%	0.00%	0.00%
Gasto total realizado	\$0	\$5,800	\$0	\$600	\$0	\$10,465	\$ -	\$ 2,500.00	\$ -	\$ -
Dispositivos requeridos	0	1	0	8	0	1	0	1	0	0

	GAS	ENERGÍA	AGUA	Total de ahorro
Ahorro generado	\$ 168.00	\$ 61.90	\$ 20.730	\$ 250.632
Porcentaje de ahorro generado	70%	40.70%	23.03%	
Años que se requiere para pagar el dispositivo de acuerdo al ahorro proporcionado	2.88	3.3	10.05	

	Regadera	Sanitario	Llaves de Lavabo	Llaves de fregadero	Gasto total
Calculando los años requeridos considerando los gastos que de todos modos se deben de hacer en los productos	\$ -	\$ 1,500.00	\$ -	\$ -	\$ 1,500.00
Años requeridos considerando el costo inicial que se debe hacer en los productos	6.03				

TOTALES PARA GAS	TOTALES PARA LUZ	TOTALES PARA AGUA
5.4	172.40	96
\$ 72.00	\$ 131.25	\$ 8.884
70.00%	40.70%	23.03%
\$5,800	\$11,065	\$ 2,500.00
TOTAL DE LA INVERSIÓN	\$19,365.00	

El tercer experimento realizado fue estableciendo una inversión para el rubro del gas de \$5,800 pesos, para el rubro de la energía eléctrica de \$24,000 pesos y para el rubro del agua de \$2,500 pesos. En donde el modelo presenta como tecnologías óptimas la adquisición de los ocho focos ahorradores, del kit solar 3, el calentador solar 2 así como del sanitario ecológico, realizando una inversión total de \$19,365 pesos y generando un ahorro mensual de \$249.479 pesos. Estos resultados son mostrados en la Tabla 6.28.

Los demás experimentos realizados se presentan en la Tabla 6.29. En todos los experimentos realizados el límite de compra es establecido con el monto máximo descrito anteriormente.

Tabla 6.29 Resultados de todos los experimentos realizados con la función integrada.

INVERSIÓN EN DISPOSITIVOS PARA GAS	INVERSIÓN EN DISPOSITIVOS PARA ENERGÍA	INVERSIÓN EN DISPOSITIVOS PARA AGUA	TOTAL DE AHORRO	DISPOSITIVOS SUGERIDOS	TOTAL DE INVERSIÓN	AÑOS NECESARIOS PARA PAGAR LOS DISPOSITIVOS
\$1,000	\$23,000	\$3,500	\$75.378	8 focos ahorradores, kit solar 3 y sanitario ecológico.	\$13,565.00	GAS: 0 ENERGÍA: 3.4 AGUA: 10.05
\$1,000	\$23,000	\$4,500	\$83.781	8 focos ahorradores, kit solar 3, sanitario ecológico y regadera ecológica.	\$15,265.00	GAS: 0 ENERGÍA: 3.4 AGUA: 12.44
\$1,000	\$23,000	\$5,500	\$83.781	8 focos ahorradores, kit solar 3, sanitario ecológico y regadera ecológica.	\$15,265.00	GAS: 0 ENERGÍA: 3.4 AGUA: 12.44
\$1,000	\$23,000	\$1,000	\$54.648	8 focos ahorradores y kit solar 3.	\$11,065.00	GAS: 0 ENERGÍA: 3.4 AGUA: 0
\$1,000	\$23,000	\$6,500	\$89.722	8 focos ahorradores, kit solar 3, sanitario ecológico, regadera ecológica y llaves de fregadero.	\$17,265.00	GAS: 0 ENERGÍA: 3.4 AGUA: 14.73
\$6,000	\$19,000	\$5,500	\$250.781	Calentador solar 2, 8 focos ahorradores, kit solar 3, sanitario ecológico y regadera ecológica.	\$21,065.00	GAS: 2.88 ENERGÍA: 3.4 AGUA: 12.44
\$10,000	\$14,000	\$5,500	\$274.781	Calentador solar 1, 8 focos ahorradores, kit solar 3, sanitario ecológico y regadera ecológica.	\$21,975.00	GAS: 2.91 ENERGÍA: 3.4 AGUA: 12.44
\$7,000	\$17,500	\$5,500	\$274.781	Calentador solar 1, 8 focos ahorradores, kit solar 3, sanitario ecológico y regadera ecológica.	\$21,975.00	GAS: 2.91 ENERGÍA: 3.4 AGUA: 12.44
\$5,800	\$24,000	\$2,500	\$249.479	Calentador solar 2, 8 focos ahorradores, kit solar 3 y sanitario ecológico	\$19,365.00	GAS: 2.88 ENERGÍA: 3.4 AGUA: 10.05
\$3,000	\$30,000	\$3500	\$115.006	Kit solar completo 2, focos ahorradores y sanitario ecológico.	\$26,882.00	GAS: 0 ENERGÍA: 6.7 AGUA: 10.05

Conclusiones y trabajo futuro

CONCLUSIONES.

De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada, hasta el momento no existía una forma confiable de conocer los beneficios de la implementación de nuevos dispositivos tecnológicos en las viviendas. Cuando un usuario se interesa por un nuevo dispositivo destinado al ahorro de agua, la información presentada es la que proporciona el fabricante, como la cantidad en porcentaje de ahorro y la cantidad de litros que se puede ahorrar pero de manera generalizada, el usuario desconoce el beneficio que esto significa para la familia.

Por lo anterior, las aportaciones del presente trabajo son la caracterización de los sistemas domóticos a partir de las diferentes variables y, el modelado de los dispositivos mediante la optimización por metas, con lo cual se pueden determinar los beneficios tanto económicos como en el ahorro de consumos de manera clara y detallada, consiguiendo una vivienda sustentable con el uso de los sistemas domóticos, destinados al ahorro en insumos básicos como lo son el agua, el gas y la energía eléctrica, recursos no renovables.

El modelado de los dispositivos mediante la optimización por metas, puede llegar a generar un impacto social no sólo a nivel familiar, sino también a nivel regional o mejor aún, a nivel mundial, gracias a los ahorros que pueden ser generados en el consumo de recursos, sobre todo de los no renovables. Aunado a esto, el consumo irracional de los recursos del planeta, impulsa en la actualidad la forma de revertir el cambio climático, y el uso de nuevas tecnologías en los hogares, sería un punto clave para ello. Recordar que las viviendas son las principales consumidoras de recursos como el agua, el gas y la energía.

La aplicación del modelado propuesto, permitirá la incorporación de estas nuevas tecnologías, con un sustento real de los ahorros proporcionados y con ello, del impacto que se puede generar.

A su vez, la flexibilidad del modelo permite la incorporación de nuevas tecnologías como sea necesario, ya que permite evaluarlas a todas de manera que encuentre la combinación óptima a ser usada, de acuerdo a las necesidades cambiantes de los usuarios, siendo este el que determine cuál rubro de los establecidos tendría prioridad para la inversión.

Una vez que el usuario conoce los beneficios económicos que se pueden lograr con el uso de los sistemas domóticos, gracias a los experimentos realizados con el modelo, estará convencido de los beneficios que se logran y acepte la incorporación en su vivienda de los mismos, lo cual rompe una de las barreras principales en el proceso de adopción de nuevas tecnologías.

Para las viviendas de bajos recursos, a diferencia de lo que han establecido diferentes autores, una inversión del 10% del costo total de la vivienda es un monto suficiente pero además adecuado, para incorporar nuevas tecnologías en este sector de la población, ya que hablar de un monto mayor, significaría mayor cantidad de años para poder percibir el retorno de inversión, y muchas de las veces, sobrepasa los años de vida útil que tienen las tecnologías antes de ser

cambiadas o reparadas, y a su vez de los años proporcionados por los organismos otorgadores de créditos de vivienda.

Un hecho importante a resaltar es que la inversión es directamente proporcional al ahorro generado es decir, entre mayor sea la inversión en los dispositivos, mayor será el ahorro que se pueda generar, ya que la mayoría de las veces, los dispositivos que mayor ahorro generan, son económicamente más caros. Sin embargo, no necesariamente se debe de hacer una inversión muy alta para recibir grandes beneficios, y el modelo permite el análisis bajo la combinación de elementos que permite obtener el máximo beneficio.

Aunque las pruebas realizadas en el presente trabajo tomaron como caso de estudio al Estado de Zacatecas, el modelo es tan flexible que se pueden realizar simulaciones para otras regiones del país, ya que básicamente se requiere ajustar las características económicas, es decir, los cajones salariales donde se ubican las familias, así como las características climatológicas de la región.

Tampoco queda restringido a un tipo específico de vivienda, ni a los rubros utilizados como caso de estudio, porque permite evaluar otros rubros como la comodidad o seguridad, aumentar el monto a invertir, así como las tecnologías a ser evaluadas para tal fin. Simplemente estableciendo los nuevos parámetros de las tecnologías incorporadas –las características–, así como las restricciones establecidas que sean necesarias.

Finalmente, fue de suma importancia conocer la percepción que este sector de la población tiene acerca del uso de sistemas domóticos. Muestra de forma generalizada, que la gran mayoría están a favor del uso de estos, pero desconocen los beneficios que pueden recibir.

TRABAJO FUTURO.

Como trabajo futuro, se pueden hacer las modificaciones necesarias al modelo, que permita satisfacer diferentes objetivos al mismo tiempo, es decir, que el modelo de optimización sea multi-objetivo, satisfaciendo al mismo tiempo por ejemplo, maximizar el ahorro pero con una mínima inversión, o cualquier otro objetivo a cumplir además de maximizar el ahorro.

Ampliar la base de datos de las tecnologías o dispositivos que pueden ser incorporadas, inclusive considerar tecnologías que pudieran satisfacer las necesidades de todo tipo de viviendas, separándolas en bloques de acuerdo a los cajones salariales de las familias, ya que finalmente el usuario puede determinar el rubro a invertir así como el monto del mismo. Esto permitiría evaluar otros rubros dentro del modelo como la comodidad o la seguridad, por ejemplo, así como la realización de pruebas evaluando características propias para estos rubros, y para otro sector de la población. Asimismo, diseñar un sistema de software que permita incorporar la información de manera más intuitiva.

Además de lo anterior, también se pueden utilizar otras herramientas de software para evaluar el sistema lineal, así como la implementación de diferentes algoritmos además de los usados por

Solver para los métodos de solución. Con esta información se puede realizar un análisis comparativo y permitir determinar el buen funcionamiento del modelo de optimización.

Referencias

- Chan M., E. D., & Escriba, C. (2008). A review of smart homes: Present state and future challenges. *Journal Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 91 (1), 55-65.
- Chaparro, J. (2003). Domótica: La mutación de la vivienda. (Universidad de Barcelona, Ed.) *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 146(136), 1-23.
- CEDOM. (2008). *Cómo ahorrar energía instalando domótica en su vivienda*. Retrieved 15 de febrero from revista CEDOM: www.cedom.es
- CEDOM. (2010). *Asociación Española de Domótica*, 2010. Retrieved 18 de Marzo de 2013 from Revista CEDOM: www.cedom.es
- A. Taha, H. (1995). *Investigación de operaciones* (Quinta Edición., Vol. 17). (A. G. EDITOR, Ed., & O. Research, Trans.) Arkansas, Fayetteville, USA: Alfaomega.
- Ahmad, F., Azriyati, W., Rosly, N., & Mohd, I. (2012). Home Owning Democracy for Urban Poor: A case Satudy of Kuala Lumpur, Malasya". *Journal of Sustainable Development*, 5 (1), 13-22.
- Bailey, C., Miller, E., Barner, K., & Buys, L. (2005). Smart Housing and Social Sustainability: Learning from the Residents of Queensland's Research House. *Australian Journal of Emerging Technology and Society*, 3 (1), 43-57.
- Barragán, J. (1994). 100 años de vivienda en México: Historia de la vivienda óptica económica y social. *Urbis Internacional, S.A. de C.V.*, 41 (1).
- Bonino, D., & Corno, F. (2008). DogOnt-Ontology Modeling for Intelligent Domotic Enviroments. *7th International Semantic Web Conference*, Germany. pp. 790-803.
- Boscan, N., & Villalobos, R. (2009). Protocolos de Automatización de Dispositivos Domóticos: Análisis de Patentes. (U. R. Cahcín, Ed.) *Revista Electrónica de Estudios Telemáticos*, 8, 1-12.
- Brundtland, & G.H. (1989) *Our Common Future*. Oxford University Press.
- Daly H., E. (1979) *Desarrollo Sustentable: Definiciones, principios y políticas*. University of Maryland, School of Public Affaire.
- Delgado-Hidalgo, L., Moreno-Demera, W., Véliz-Velastegui, N., & Leyton, E. (2009). Diseño para el control de un hogar inteligente mediante el uso del sistema domótico (X-10) por medio de la red eléctrica . *Repositorio de la Escuela Superior Politécnica del Litoral*.
- Díaz Juárez, P. (2006). Ciudades Sostenibles. *Escritura Pública*, 39, 6-11.

Domínguez, H. M. (2006). *Domótica: Un enfoque sociotécnico*. Fundación Rogelio Segovia.

Egido García, R. (2009). *Instalación Domótica de una vivienda unifamiliar con el sistema EIB* (1ra ed.). (Eléctrica, Ed.) Madrid, España: Escuela Politécnica Superior.

Fahizad, A., Wan Nor, A., Noor Rosly, H., & Ibrahim Mohd, A. (2012). Home Owning Democracy for the Urban Poor: A case Study of Kuala Lumpur, Malasya. *Journal of Sustainable Development*, 5 (1), 13-22.

Fernández, X. (2011). *Indicadores de Eficiencia Energética en el sector residencial*. Taller de Indicadores de Eficiencia Energética en México.

García S, E., & López Peñalver, F. (2004). El estado del arte de la tecnología al servicio de la construcción. *Informes de la Construcción*, 56 (494).

García-S., E., & López Peñalver, F. J. (2004). El Estado del Arte de la Tecnología al Servicio de la Construcción. (E. Torroja, Ed.) *Informes de la Construcción*, 56 (494).

Gerhart, J. (1999). *Home Automation & Wiring*. (Z. G. Foundotos, Ed.) San Francisco, New York, U.S.A.: McGraw Hill.

Ghaffarian, A. (2012). Penetration of Smart Housing as a Integral Part of Intelligent Building into Urban Areas. *International Journal of Creative Sustainable Architecture & Built Enviroment* , 1 (1), 31-44.

Gould F., J., Eppen G., D., & Schmidt C., P. (1992). *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa*. México.: Prencitce-Hall.

Gutierrez Garza, E. (2007). De las teorías del desarrollo al desarrollo sustentable: Historia de la construcción desde un enfoque multidisciplinario. *Revista Ingenierías*, XI (39), 21-35.

Hernández Laos, E. (2000). Crecimiento económico, distribución del ingreso y pobreza en México. *Revista de comercio exterior*.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Bepista Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación* (5ta Edición ed.). (I. Editores, Ed.) México, Edo. de México.: Mc Graw Hill.

Hernández, H., & Meza, L. (2011). Propuesta de una metodología de certificación de eficiencia energética para viviendas en Chile. *Revista de la construcción*, 10 (1), 53-63.

Herrera Quintero, L. F. (2005). Viviendas Inteligentes (Domótica). *Red de revistas científicas y el Caribe Redalyc*, 25 (2).

Higuera Zimbrón, A., & Rubio Toledo, M. A. (2011). La vivienda de interés social: sostenibilidad, reglamentos internacionales y su relación con México. (Quivera, Ed.) *Redalyc: Red de revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 13 (2), 193-208.

Hidrobo Moya, J., & Millán Tejedor, R. (2009). *Manual de Domótica*. (M. D. Ortega, Ed.) España: Creaciones Copyright.

Hidrobo Moya, J. M., & Millán Tejedor, R. J. (2009). *Domótica, Edificios Inteligentes* (3ª Edición). (M. C. Roncero Ortega, Ed.) España: Creaciones Copyright.

INEGI. (2011). *Perspectiva Estadísticas en México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Junestrand, S., Passaret, J., & Vázquez, D.

Krajewski, L. J., & Larry, P. (2000). *Administración de Operaciones, Estrategias y Análisis*. México, México: Pearson Education.

Maji. (2008). *Domótica práctica paso a paso*. Retrieved 11 de Mayo de 2011 from Domo Prac: <http://www.domoprac.com/protocolos-de-comunicacion-y-sistemas-domoticos/historia-de-la-domotica-pasado-presente-y-futuro.html>

Manson, R. H. (2004). Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques en México. *Redalyc, Red de revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 10 (001), 3-20.

Manuel, B.-J. (2009). *Desarrollo de Sistemas Domóticos utilizando un enfoque dirigido por modelos*. Tesis, Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Tecnología electrónica.

Maroto, A.C., Alcaraz, S. J., & Ruiz, R. (2002). *Investigación Operativa: Modelos y Técnicas de Optimización*. (UPV, Ed.) Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.

Martín, D. H., & Sáez, V. F. (2006). *Domótica: un enfoque socio técnico* (1ra ed.). (U. P. Madrid, Ed.) Madrid, España: Fundación Rogelio Segovia.

Moreno-Gualdron, J. e. *Aportes de la Ciencia y Tecnología a la calidad de vida*.

Moro Vallina, M. (2011). *Instalaciones Domóticas* (1 ed., Vol. 1). (M. López Razo, Ed.) Madrid, España: Paraninfo.

Oborkhale, L., Salatian, A., & Bypass, Y. (2011). Challenges of the Digital Home in a Developing Economy. *International Journal of Smart Homes*, 5 (1), 31-44.

Pallas Areny, R. (2003). *Sensores y Acondicionadores de señal* (4ta ed.). Barcelona, España: Publicaciones Digitales S.A.

Pacheco Rocamora, E. (2008). *Diseño y simulación de un sistema domótico para una vivienda unifamiliar*. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, España: Universidad Politécnica de Cartagena.

Pastor-Sáenz, L., & Rodríguez-de la Herrera, A. *Análisis del estado del arte de servicios y dispositivos domóticos*. ETSIT.

Reinish, C., Klefer, M. J., Iglesias, F., & Kastner, W. (2011). ThinkHome Energy Efficiency in Future Smarthomes. *EURASIP Journal embeded System*, 2011 (104617), 18.

Richarson J., H. (2009). A smart house is not a home, The domesticatios of ICTs. *Information System Frontier*, 1 (11), 599-608.

Romero, M. C., Vazquéz, C. F., & de Castro, L. C. (2006). *Domótica e Inmótica, viviendas y edificios inteligentes*. 2da Edición Alfa omega Ra-Ma.

Rosique, F., Sánchez, P., Jiménez, M., & Álvarez, B. (2010). Un marco integral para el desarrollo de sistemas domóticos. *XV Jornadas de Ingeniería de Software y bases de datos*, 87-97.

Ruiz Salazar, S. N. (2010). *Diseño e implementación de una WSAN para una aplicación domótica con capacidad de control remoto mediante mensajes SMS*. Tesis, Escuela Politécnica del ejército, Eléctrica y Electrónica. Ecuador.

Savitskaya, I., Salmi, P., & Torkkeli, M. (2010). Barriers to Open innovation: Case China. *Journal of Technology Management & Innovation*, 5 (4), 10-21.

Shaharir, M. Z. A new paradigm of Sustainability. *Journal of Sustainable Development*, 5 (1), 91-99.

T. Hanseng, M., & Birkinshaw, J. (2007). La cadena de valor de la innovación. *Harward Business Review*, 100-110.

Tanenbaum, A. (2003). *Redes de Computadoras* (4ta ed.). (G. Trujano Mendoza, Ed.) Atlacomulco, México: Prentice Hall.

Torrejón Sanpedro, C. (2009). *Plataforma móvil para el control de una red de sensores inalámbrica en un entorno domótico*. Tesis, Universidad Politécnica de Madrid, Facultad de Informática, Madrid.

Vega Rodríguez, J. R. (2012). Fortalecen la educación ambiental en México. (J. R. Vera Rodríguez, Ed.) *Tecnología Ambiental, información especializada en ecología y medio ambiente*, 15 (65), 6.

ANEXO 1

ENCUESTA APLICADA

ESTE CUESTIONARIO ES SOLO CON FINES ACADÉMICOS, PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN SOBRE LA PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN HACIA EL USO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS.

Datos generales

Edad
☐ ENTRE 18 y 29 ☐ 30-39 ☐ 40-49 ☐ 50-59 ☐ MAS DE 60

Escolaridad
☐ PRIMARIA ☐ SECUNDARIA ☐ BACHILLERATO
☐ LICENCIATURA ☐ POSGRADO ☐ OTROS

Sexo
☐ FEMENINO ☐ MASCULINO

Ingresos mensuales
☐ MENOS DE 3,000 ☐ ENTRE 3,000 y 5,000 ☐ ENTRE 5,000 Y 8,000
☐ ENTRE 8,000 Y 11,000 ☐ MÁS DE 11, 000

Número de habitaciones (incluida sala y cocina)
☐ DE 1 A 2 ☐ DE 3 A 5 ☐ DE 6 A 8 ☐ MÁS DE 8

Número de personas que viven en su hogar.
☐ 1 - 3 ☐ 4 - 6 ☐ 7 - 9 ☐ MÁS DE 9

Número de hijos
☐ NINGUNO ☐ 1-2 ☐ 3-4 ☐ 5-6 ☐ Más de 7

Edades de los hijos en años
☐ MENORES DE 5 ☐ 5-10 ☐ 10-15 ☐ 15-20 ☐ Más de 20

De la siguiente lista, marque los servicios o productos con los que cuenta.

☐ FOCOS AHORRADORES	☐ CALENTADOR SOLAR
☐ ALARMA DE SEGURIDAD	☐ CÁMARAS DE SEGURIDAD
☐ INTERNET	☐ COMPUTADORA
☐ ELECTRODOMÉSTICOS PROGRAMABLES	☐ AGENDA ELECTRÓNICA
☐ SERVICIOS BÁSICOS (agua, luz, drenaje)	☐ REGULADOR DE AGUA (en la regadera, llave de uso, etc).

0. ¿Cuánto gasta de manera mensual en luz?
☐ MENOS DE 200 ☐ De 200 a 300 ☐ De 300 a 400
☐ De 400 a 500 ☐ MÁS DE 500

1. ¿Cuánto gasta de manera mensual en agua?
☐ MENOS DE 100 ☐ De 100 a 150 ☐ De 150 a 200
☐ De 200 a 250 ☐ MÁS DE 250

2. ¿Más o menos cuánto le dura el gas?

- ☐ MENOS DEL MES ☐ UN MES ☐ MES Y MEDIO
☐ DOS MESES ☐ MÁS DE DOS MESES

3. Cuando compró su casa, ¿las personas que le atendieron le ofrecieron instalación de alarmas para la seguridad, puertas eléctricas, etc?

- ☐ Sí ☐ No lo recuerdo ☐ No
☐ No lo sé ☐ No

4. De la siguiente lista, marque los productos con los que cuenta.

- | | |
|-------------------------------------|---|
| ☐ TELEVISIÓN | ☐ LAVADORA |
| ☐ LICUADORA | ☐ LICUADORA |
| ☐ ESTÉREO | ☐ REFRIGERADOR |
| ☐ MICROONDAS | ☐ AIRE ACONDICIONADO |
| ☐ PLANCHA | ☐ DVD |

15. Seleccione el rubro que considera más importante para invertir en nuevas tecnologías.

- ☐ AHORRO DE RECURSOS ☐ SEGURIDAD ☐ COMODIDAD

16. ¿Cómo hubieran preferido comprar tu vivienda?

- ☐ CON LA TECNOLOGÍA YA INCLUIDA ☐ IR INCLUYENDO LA TECNOLOGÍA

17. ¿Invertirías en nuevas tecnologías si conoces centros de atención técnica cerca que garanticen el correcto funcionamiento?

- ☐ SI ☐ NO ☐ NO LO SÉ

ÍTEMS	Definitivamente Si	Posiblemente Si	Quizá	Posiblemente No	Definitivamente No
1 ¿Adquirir nuevos productos que están dedicados al hogar como calentadores o focos ahorradores, permite el ahorro de energía, agua, luz, gas, etc.?					
2 ¿Es importante tener algún sistema de seguridad en el hogar, como alarmas, cámaras de vigilancia, etc.?					
3 ¿Tener cámaras de video, monitores para bebé, etc. ayuda con los cuidados y atención que se les brinda a los niños y/o adultos mayores?					
4 ¿El contar en el hogar con puertas que se abran con un control a distancia, luces que se enciendan al momento de entrar, es algo más placentero para las personas que viven en el hogar, que hacerlo de manera manual?					
5 ¿Las energías alternativas (como la transformación de la energía del sol en energía eléctrica o la sustitución del calentador de gas por un calentador solar) no sirven para el cuidado del medio ambiente?					
6 ¿Al cambiar el calentador de gas por un calentador solar, se disminuye el consumo de gas LP y esto se refleja en una disminución de gastos en el hogar?					
7 ¿El uso de focos ahorradores no disminuye el consumo de energía eléctrica?					
8 ¿Los dispositivos que transforman energía solar a energía eléctrica, contribuyen al cuidado del medio ambiente?					
9 ¿Los focos ahorradores duran más que los focos comunes?					
10 ¿Un calentador solar perdura más que un boiler de gas?					
11 ¿El instalar en el hogar alarmas, cámaras de video, detector de fuego, simuladores de presencia, calentadores solares, etc. tiene un costo económico que no vale la pena pagar?					
12 ¿El contar con algún dispositivo que encienda las luces al detectar la presencia de una persona o controle automáticamente la temperatura ambiental, contribuye a la disminución de consumo eléctrico en el hogar?					
13 ¿Usar productos dedicados al cuidado del medio ambiente no es importante para el planeta?					
14 ¿Desconectar aparatos eléctricos que no estén en uso constante, se refleja en un ahorro de energía?					
15 ¿El adquirir focos ahorradores, reguladores eléctricos, etc. no tiene un costo-beneficio que se refleja en la disminución de gastos en el hogar (retorno de inversión)?					
16 ¿Vale la pena adquirir productos con una vida útil larga?					
17 ¿El uso de focos ahorradores disminuye el gasto económico en la electricidad?					
18 ¿El contar con dispositivos que identifiquen la presencia de personas y que estos programen el encendido de luces, ventilador o calefacción no contribuye a una mayor comodidad en el hogar?					
19 ¿El usar reguladores eléctricos o desconectar aparatos eléctricos que no están en uso disminuye la contaminación del medio ambiente?					

ANEXO 2

LISTA DE DISPOSITIVOS DE LOS TRES DIFERENTES RUBROS

DISPOSITIVOS PARA EL RUBRO DEL GAS							
No.	Descripción	Tipo de gestión a la que pertenece	Ahorros que genera	Costos	Compañía que lo ofrece	Años de vida útil	Años de garantía
1	Calentador solar	Ahorro de gas	del 70 al 80%	para 2 usuarios (72lts, 8 tubos) \$4,800	SUNNENERGY de Zacatecas	de 15 a 20 años	5 años de garantía
				para 3 usuarios (130lts, 10 tubos) \$5,900			
				para 3 usuarios (145lts, 12 tubos) \$5,800			
				para 4 usuarios (165lts, 14 tubos) \$7,100			
				para 4 usuarios (188lts, 16 tubos) \$7,600			
				para 5 usuarios (215lts, 18 tubos) \$8,600			
2	Calentador solar	Ahorro de gas	del 70 al 80%	para 3 usuarios (145 lts, 12 tubos) \$4,900	Solarflex Zacatecas	de 15 a 20 años	5 años de garantía
3	Calentador solar	Ahorro de gas	del 70 al 80%	para 4 usuarios (145 lts, 14 tubos) \$6,090	Acxis, en Zacatecas	15 años de vida útil	5 años de garantía
				para 6 usuarios (240 lts, 20 tubos) \$7,590			
				para 8 usuarios (342 lts, 24 tubos) \$8,890			
4	Calentador solar	Ahorro de gas	del 70 al 80%	para 6 usuarios (240 lts, 20 tubos) \$10,590	ERZA de Zacatecas	Hasta de 20 años	5 años de garantía
5	Calentado solar	Ahorro de gas	del 70 al 80%	para 5 usuarios (220 lts, 18 tubos) \$8,200 + envío	Tecsol, energía renovable, San Luis Potosó	de 15 a 20 años	5 años de garantía
6	Calentador solar	Ahorro de gas	del 70 al 80%	para 3 usuarios (130lts, 12 tubos) \$5,700	Solaris de Zacatecas	de 15 a 20 años	5 años de garantía
				para 4 usuarios (145 lts, 14 tubos) \$6,700			
7	Calentador solar	Ahorro de gas	del 70 al 80%	para 4 usuarios (145 lts, 14 tubos) \$6,500	Solar House en Zacatecas	de 15 a 20 años	5 años de garantía
8	Calentado solar	Ahorro de gas	del 70 al 80%	para 3 usuarios (130lts, 12 tubos) \$5,700	PROSIDSA ECO TEC	Hasta de 20 años	10 años de garantía
9	Calentado solar	Ahorro de gas	del 70 al 80%	para 2 usuarios (72lts, 8 tubos) \$5,960	Ferretera de Zacatecas	Hasta de 20 años	5 años de garantía
				para 3 usuarios (130lts, 10 tubos) \$6,750			
				para 4 usuarios (145 lts, 12 tubos) \$7,300			
				para 5 usuarios (220 lts, 18 tubos) \$7,500			
				para 7 usuarios (342 lts, 22 tubos) \$8,700			

DISPOSITIVOS PARA EL RUBRO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA							
No.	Descripción	Tipo de gestión a la que pertenece	Ahorros que genera	Costos	Compañía que lo ofrece	Años de vida útil	Años de garantía
1	Panel solar	Ahorro de energía	hasta el 100%	Planta solar que entrega 120v, se debe de contar con contrato en la CFE, tiene un peso de 15.5kg y consta de 4 celdas de 1.58x0.8m	Emphase Energy	Hasta por 25 años	10 años de garantía
2	Focos que funcionan con el sol	Ahorro de energía	hasta el 100%	Tiene dos intensidades, de 13.5 y 8.5 watts, este foco no requiere de contrato con la CFE, es totalmente portátil y cuesta alrededor de \$299	Universe of Energy / Unisolar, y es manufacturado en México	Hasta por 8 años si se usa bajo las condiciones especificadas	?
3	Lámparas ahorradoras tipo espiral	Ahorro de energía	hasta el 75%	Foco marca OSRAM de 20W (Equivalente a un foco de 75W)	OSRAM	8 años	1 año
				Foco marca LG de 20W	GE	8 años	No ofrece
				Foco marca Thsman 20W	Thsman	8 años	1 año
				Foco marca Phillips de 20W	Phillips	8 años	1 año
				Foco marca Great Value de 20w	Great Value	8 años	No ofrece
				Foco marca laiting de 20W	Laiting	8 años	No ofrece
				Foco marca Voltech de 20W	Voltech	8 años	1 año
4	Lámpara de foco led	Ahorro de energía	hasta el 85%	Foco de 3W marca Imporfácil de \$75	Imporfácil	30,000hrs	6 meses
5	Lámpara de foco led	Ahorro de energía	hasta el 85%	Foco led de 3.5 w de la marca Solarcel con un costo de \$255	Solarcel	50,000hrs	1 año
6	Kit casa solar	Ahorro de energía	Entrega hasta 72 Kwh/bim	Consta de dos celdas solares de 120W con un tamaño de 1.29X0.66X0.35 y un peso de 10.2 kgs. Cuesta \$16,550.00	Smart energy, con una sucursal en Zacatecas	20 años	5 años
7	Kit casa solar	Ahorro de energía	Entrega hasta 144 KW por bimestre	Consta de cuatro celdas solares de 120W con un tamaño de 1.29X0.66X0.35 y un peso de 20.4 kgs. Cuesta \$29,330.00	Smart energy, con una sucursal en Zacatecas	20 años	5 años
8	Paquete de interconexión a CFE	Ahorro de energía	Entrega hasta 414Kwh/bim	Consta de seis celdas solares de 230W con un tamaño de 1.66X0.99X0.35 y un peso de 38 kgs. Cuesta \$46,048.00	Enesol, Puerto Vallarta	20 años	5 años
9	Kit solar vivienda	Ahorro de energía	Entrega hasta 60KW por bimestre	Sistema solar para interconexión a la red pública construido con un panel fotovoltaico. Genera 1 KWH aprox al día (60KW por bimestre). Incluye sistema de monitoreo, sistema de soporte y accesorios para instalación. (No incluye instalación). Cuesta: \$23,782.	Exolar energía	20 años	5 años
10	Kit solar con planta para iluminación 50W	Ahorro de energía	Entrega 275w por día, 16.5 KW por bimestre	Con este sistema se puede alimentar diariamente: 1. Una radiograbadora por 3 o 4 hrs, 2. Un televisor a color de 12" de 3 a 4 horas, 3. Dos focos ahorradores de 15w fluorescentes de 2 a 3 horas, 4. Dos focos ahorradores de 20w fluorescentes de 1 a 2 horas. Costo: \$6,540.00	Exolar Energía	20 años	5 años
11	Planta solar con kit para iluminación 80W	Ahorro de energía	Entrega hasta 440W por día,	Con este sistema se puede alimentar diariamente: 1. Una radiograbadora por 3 o 4 hrs, 2. Un televisor a color de 14" de 2 a 3 horas, 3. Tres focos ahorradores de 13w de 2 a 3 horas, 4. Dos focos ahorradores de 20w de 2 a 3 horas, 5. Una licuadora de 1 a 2 min, 6. Un taladro casero de 1 a 2 min Costo: \$10,465	Exolar Energía	20 años	5 años
12	Planta solar con kit para iluminación 100W	Ahorro de energía	Entrega hasta 550W por día	Con este sistema se puede alimentar diariamente: 1. Un equipo modular por 1 o 2 hrs, 2. Un televisor a color de 20" de 2 a 3 horas, 3. Una videograbadora de 2 a 3 horas por semana, 4. Dos focos ahorradores de 20w de 2 a 3 horas, 5. Tres focos ahorradores de 13w de 2 a 3 horas, 6. Una licuadora de 2 a 3 min, 7. Un taladro casero de 2 a 3 min Costo: \$13,080.	Exolar energía	20 años	5 años
13	Planta solar con kit para iluminación 125W	Ahorro de energía	Entrega hasta 580W por día	Con este sistema se puede alimentar diariamente: 1. Un equipo modular por 2 o 3 hrs, 2. Un televisor a color de 20" de 3 a 4 horas, 3. Una videograbadora de 2 a 3 horas por semana, 4. Tres focos ahorradores de 20w de 2 a 3 hrs, 5. Tres focos ahorradores de 13w de 1 a 2 hrs, 6. Una licuadora de 2 a 3 min 7. Un taladro casero. Costo: \$13,794	Exolar energía	20 años	5 años

DISPOSITIVOS PARA EL RUBRO DEL AGUA							
SANITARIOS							
No.	Descripción	Tipo de gestión a la que pertenece	Ahorros que genera	Costos	Compañía que lo ofrece	Años de garantía	Años de garantía
1	Sanitario ecológico Tauro de 5 litros	Ahorro de agua	Ahorro de 1.2 litros de agua por descarga (20%)	Sanitario de dos piezas fabricado en cerámica vitrificada de bajo consumo de agua, con un costo de \$900.	Fabricado por porcelanite de México y es posible encontrarlo en casi cualquier ferretería	1 año	1 año
2	Inodoro Marathon	Ahorro de agua	Ahorro de 1.2 litros de agua por descarga, en porcentaje es de 20%	Sanitario de cerámica vitrificada de descarga de 4.8 litros, trampa de 2" de diámetro, incluye válvulas de admisión y descarga instaladas. Costo promedio de \$880 a \$1,300.	Muebles para baño Vitromex y es posible encontrarlo en casi cualquier ferretería	1 año	1 año
3	Inodoro Apolo comfortable	Ahorro de agua	Descarga de 4.8 litros, proporcionando un ahorro del 20%	Sanitario alargado de dos piezas de cerámica vitrificada, trampa de 2" de diámetro, incluye válvulas de admisión y descarga instaladas con un costo aproximado de \$800 a \$1,300	Muebles para baño Vitromex y es posible encontrarlo en casi cualquier ferretería	1 año	1 año
4	Inodoro Nuevo apolo	Ahorro de agua	Descarga de 4.8 litros, proporcionando un ahorro del 20%	Inodoro de gravedad de acción sinfónica de dos piezas de cerámica vitrificada, trampa de 2" de diámetro, incluye válvulas de admisión y descargas instaladas y kit de instalación del tanque, con un precio entre \$1800 a \$3,300.	Muebles para baño Vitromex y es posible encontrarlo en casi cualquier ferretería	1 año	1 año
5	Inodoro Ampala alargado	Ahorro de agua	Descarga de 4.8 litros, proporcionando un ahorro del 20%	Inodoro de gravedad de acción sinfónica de dos piezas de cerámica vitrificada, trampa de 2" de diámetro, incluye válvulas de admisión y descargas instaladas y kit de instalación del tanque, con un precio entre \$1800 a \$3,300.	Muebles para baño Vitromex y es posible encontrarlo en casi cualquier ferretería	1 año	1 año
6	Inodoro Impala redondo	Ahorro de agua	Descarga de 4.8 litros, proporcionando un ahorro del 20%	Inodoro de gravedad de acción sinfónica de dos piezas de cerámica vitrificada, trampa de 2" de diámetro, incluye válvulas de admisión y descargas instaladas y kit de instalación del tanque, con un precio de \$2,500.	Muebles para baño Vitromex y es posible encontrarlo en casi cualquier ferretería	1 año	1 año
7	Inodoro San Remo alargado	Ahorro de agua	Descarga de 4.8 litros, proporcionando un ahorro del 20%	Sanitario de cerámica vitrificada de descarga de 4.8 litros, trampa de 2" de diámetro, incluye válvulas de admisión y descarga instaladas. Costo promedio de \$2,500.	Muebles para baño Vitromex y es posible encontrarlo en casi cualquier ferretería	1 año	1 año
8	Inodoro redondo Green Sense Rd III	Ahorro de agua	Ahorra hasta 20% más de agua que un sanitario de 6 litros	Sanitario ecológico de alta eficiencia con sistema de descarga Vortex-X marca Orion, con válvula de descarga de 3", botón superior, con un precio de \$2,320 + IVA aproximadamente	Comercializadora Cerámica Industrial S.A. de C.V. Y es posible encontrarlo en algunas de las ferreterías, ya que lo maneja la marca urrea.	10 años de garantía en la cerámica y 1 año limitado en los herrajes del tanque	10 años de garantía en la cerámica y 1 año limitado en los herrajes del tanque
9	Inodoro redondo Green Sense Rd II	Ahorro de agua	Ahorra hasta 20% más de agua que un sanitario de 6 litros	Sanitario ecológico de alta eficiencia con sistema de descarga Vortex-X marca Orion, con válvula de descarga de 3", botón superior, con un precio de \$2,042 + IVA aproximadamente	Comercializadora Cerámica Industrial S.A. de C.V. Y es posible encontrarlo en algunas de las ferreterías, ya que lo maneja la marca urrea.	10 años de garantía en la cerámica y 1 año limitado en los herrajes del tanque	10 años de garantía en la cerámica y 1 año limitado en los herrajes del tanque
10	Sanitario Andrómeda GS	Ahorro de agua	Ahorra 20% de agua por descarga	Sanitario alargado de alta eficiencia, con descargas de 4.8 litros, entrada de agua de 2", con manija frontal y con un precio de \$1,153.00 + IVA aproximadamente.	Muebles para baño Urrea, y es posible encontrarlo en casi cualquier ferretería.	10 años de garantía en la cerámica y 1 año limitado en los herrajes del tanque	10 años de garantía en la cerámica y 1 año limitado en los herrajes del tanque
11	Sanitario Imperial	Ahorro de agua	Ahorra 20% o mas de agua que un sanitario de 6 litros	Sanitario de consumo de 4.8 litros por descarga, desempeño excepcional, con un precio de \$1,470.00 + IVA aproximadamente	Muebles para baño Urrea, y es posible encontrarlo en casi cualquier ferretería.	10 años de garantía en la cerámica y 1 año limitado en los herrajes del tanque	10 años de garantía en la cerámica y 1 año limitado en los herrajes del tanque
12	Sanitario Corvus GSK	Ahorro de agua	Ahorra 20% o mas de agua que un sanitario de 6 litros	Sanitario redondo con descarga sencilla de 4.8 litros de consumo de agua desempeño excepcional, con desalojo de 1,000gr y trampa esmaltada, con un precio de \$1,166.00 + IVA aproximadamente.	Muebles para baño Urrea, y es posible encontrarlo en casi cualquier ferretería.	10 años de garantía en la cerámica y 1 año limitado en los herrajes del tanque	10 años de garantía en la cerámica y 1 año limitado en los herrajes del tanque
13	Sanitario Novara GS	Ahorro de agua	Ahorra 20% de agua por descarga	Sanitario redondo de alta eficiencia de 4.8 litros de agua por descarga, con válvula de 2" y alto desempeño, con una precio de \$2,815.00 + IVA aproximadamente.	Muebles para baño Urrea, y es posible encontrarlo en casi cualquier ferretería.	10 años de garantía en la cerámica y 1 año limitado en los herrajes del tanque	10 años de garantía en la cerámica y 1 año limitado en los herrajes del tanque
14	Sanitario Novara Dual	Ahorro de agua	Ahorra hasta un 20% de agua por descarga, depende del modo de uso	Sanitario dual redondo de sistema dual de 4 y 6 litros, con alto desempeño y con un precio de \$1,053 + IVA aproximadamente	Muebles para baño Urrea, y es posible encontrarlo en casi cualquier ferretería.	10 años de garantía en la cerámica y 1 año limitado en los herrajes del tanque	10 años de garantía en la cerámica y 1 año limitado en los herrajes del tanque

DISPOSITIVOS PARA EL RUBRO DEL AGUA							
REGADERAS							
No.	Descripción	Tipo de gestión a la que pertenece	Ahorros que genera	Costos	Compañía que lo ofrece	Años de garantía	Años de garantía
15	Regadera ecológica modelos 700LL, 700LLE y 700NE	Ahorro de agua	Ahorra del 20 al 30% del consumo de agua	Este tipo de regaderas contienen componentes que permiten el consumo más eficiente del agua a la hora del baño, y su costo varía de \$270 hasta \$420 + IVA aproximadamente.	Comercializadora Alan de Aguascalientes, S.A. de C.V.		1 año de garantía
16	Regadera H-100	Ahorro de agua	Esta regadera descarga 3.76 litros/min y como máximo no excede de los 10 litros/min, razón por la cual se le otorgó el grado ecológico.	Dispositivo hidráulico que una vez instalado a un suministro de agua forma un haz de lluvia que se emplea para el aseo corporal. Tiene un precio de \$1,930 aproximadamente.	Helvex de México y puede ser encontrada en casi cualquier ferretería		1 año de garantía
17	Regadera H-200	Ahorro de agua	Esta regadera descarga 3.76 litros/min y como máximo no excede de los 10 litros/min, razón por la cual se le otorgó el grado ecológico.	Dispositivo hidráulico que una vez instalado a un suministro de agua forma un haz de lluvia que se emplea para el aseo corporal. Tiene un precio de \$1,545 + IVA aproximadamente.	Helvex de México y puede ser encontrada en casi cualquier ferretería		1 año de garantía
18	Regadera H-300	Ahorro de agua	Esta regadera descarga 3.76 litros/min y como máximo no excede de los 10 litros/min, razón por la cual se le otorgó el grado ecológico.	Dispositivo hidráulico que una vez instalado a un suministro de agua forma un haz de lluvia que se emplea para el aseo corporal. Tiene un precio de \$1,757 + IVA aproximadamente.	Helvex de México y puede ser encontrada en casi cualquier ferretería		1 año de garantía
19	Regadera H-400	Ahorro de agua	Esta regadera descarga 3.76 litros/min y como máximo no excede de los 10 litros/min, razón por la cual se le otorgó el grado ecológico.	Dispositivo hidráulico que una vez instalado a un suministro de agua forma un haz de lluvia que se emplea para el aseo corporal. Tiene un precio de \$1,881 aproximadamente.	Helvex de México y puede ser encontrada en casi cualquier ferretería		1 año de garantía
20	Regadera H-500	Ahorro de agua	Esta regadera descarga 3.76 litros/min y como máximo no excede de los 10 litros/min, razón por la cual se le otorgó el grado ecológico.	Dispositivo hidráulico que una vez instalado a un suministro de agua forma un haz de lluvia que se emplea para el aseo corporal. Tiene un precio de \$658 aproximadamente.	Helvex de México y puede ser encontrada en casi cualquier ferretería		1 año de garantía
21	Regadera H-600	Ahorro de agua	Esta regadera descarga 3.76 litros/min y como máximo no excede de los 10 litros/min, razón por la cual se le otorgó el grado ecológico.	Dispositivo hidráulico que una vez instalado a un suministro de agua forma un haz de lluvia que se emplea para el aseo corporal. Tiene un precio de \$1,545 aproximadamente.	Helvex de México y puede ser encontrada en casi cualquier ferretería		1 año de garantía

DISPOSITIVOS PARA EL RUBRO DEL AGUA							
LLAVES MEZCLADORAS							
No.	Descripción	Tipo de gestión a la que pertenece	Ahorros que genera	Costos	Compañía que lo ofrece	Años de garantía	Años de garantía
22	Llave mezcladora de agua para lavabo E-9007	Ahorro de agua	Las llaves convencionales descargan más de 10 lts/min, esta llave descarga máximo 5 lts/min	Llave especial para el ahorro de agua, con cuerpo de latón cromado donde se realiza la mezcla y descarga de agua a través de dos válvulas, con un precio de \$2,169.	Helvex de México y puede ser encontrada en casi cualquier ferretería		1 año de garantía
23	Llave mezcladora de agua para lavabo E-9008	Ahorro de agua	Las llaves convencionales descargan más de 10 lts/min, esta llave descarga máximo 5 lts/min	Llave especial para el ahorro de agua, con cuerpo de latón cromado donde se realiza la mezcla y descarga de agua a través de dos válvulas, con un precio de \$2,012.	Helvex de México y puede ser encontrada en casi cualquier ferretería		1 año de garantía
24	Llave Economizadora con seguro antirrebote TV-100	Ahorro de agua	Las llaves convencionales descargan más de 10 lts/min, esta llave descarga máximo 5 lts/min	Llave especial para el ahorro de agua, con cuerpo de latón cromado donde se realiza la mezcla y descarga de agua a través de dos válvulas, con un precio de \$1,412.	Helvex de México y puede ser encontrada en casi cualquier ferretería		1 año de garantía
25	Mezcladora para fregadero M-1400	Ahorro de agua	Las llaves convencionales descargan más de 10 lts/min, esta llave descarga máximo 5 lts/min	Llave especial para el ahorro de agua, con cuerpo de latón cromado donde se realiza la mezcla y descarga de agua a través de dos válvulas, con un precio de \$4,308.	Helvex de México y puede ser encontrada en casi cualquier ferretería		1 año de garantía
26	Mezcladora para fregadero Albatros HM-15	Ahorro de agua	Las llaves convencionales descargan más de 10 lts/min, esta llave descarga máximo 5 lts/min	Llave especial para el ahorro de agua, con cuerpo de latón cromado donde se realiza la mezcla y descarga de agua a través de dos válvulas, con un precio de \$2,313.	Helvex de México y puede ser encontrada en casi cualquier ferretería		1 año de garantía
27	Mezcladora para fregadero Albatros HM-17	Ahorro de agua	Las llaves convencionales descargan más de 10 lts/min, esta llave descarga máximo 5 lts/min	Llave especial para el ahorro de agua, con cuerpo de latón cromado donde se realiza la mezcla y descarga de agua a través de dos válvulas, con un precio de \$2,048.	Helvex de México y puede ser encontrada en casi cualquier ferretería		1 año de garantía
28	Mezcladora para fregadero Flamingo HM-38	Ahorro de agua	Las llaves convencionales descargan más de 10 lts/min, esta llave descarga máximo 5 lts/min	Llave especial para el ahorro de agua, con cuerpo de latón cromado donde se realiza la mezcla y descarga de agua a través de dos válvulas, con un precio de \$2,135..	Helvex de México y puede ser encontrada en casi cualquier ferretería		1 año de garantía