

## NAMA VIVIENDA NUEVA

# Anexo técnico: Evaluación de los tipos de construcción de vivienda social en México



## Anexo técnico<sup>1</sup>:

### Evaluación de los tipos de construcción de vivienda social en México.

Estudio de la eficiencia energética, los costos adicionales y de la mitigación de CO<sub>2</sub>, como base para la preparación de la “NAMA apoyada para la Vivienda Sustentable en México – Acciones de Mitigación y Paquetes Financieros”.



*Passive House Institute  
Dr. Wolfgang Feist*

*Rheinstraße 44/46  
64283 Darmstadt, Alemania*

*Tel. +49 (0) 6151/826 99-0 /-55  
Fax. +49 (0) 6151/826 99-11  
mail@passiv.de*

*www.passivehouse.com*

*07. marzo 2013*

---

<sup>1</sup> La presente traducción al español del documento “Technical Annex: Evaluation of social housing building types in Mexico.” fue posible gracias al apoyo de BMU/GIZ y CONAVI/SEMARNAT.

La Comisión Nacional de Vivienda en México (CONAVI) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), agradecen a la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (German Development Cooperation [Cooperación Alemana al Desarrollo]) por su colaboración y asistencia técnica para la preparación de este documento. La colaboración con GIZ se realizó conforme el marco de trabajo de la cooperación técnica entre México y Alemania, a través del Programa Mexicano-Alemán ProNAMA, que ha sido encargado a la GIZ por parte del Ministerio Federal Alemán, para la Conservación de la Naturaleza y del Ambiente y la Seguridad Nuclear (BMU). Las opiniones expresadas, en este documento, no necesariamente reflejan los puntos de vista de GIZ y/o BMU. La reproducción parcial, o total, de este documento, queda autorizada para propósitos no lucrativos, siempre y cuando la fuente sea una fuente reconocida.

CONAVI, SEMARNAT. Anexo técnico: Evaluación de los tipos de construcción de vivienda social en México. Estudio de la eficiencia energética, los costos adicionales y de la mitigación de CO<sub>2</sub> como base para la preparación de la “NAMA apoyada para la Vivienda Sustentable en México – Acciones de Mitigación y Paquetes financieros”.

Un proyecto dentro del marco de trabajo de la Iniciativa Internacional para el Cambio Climático.

Supervisión:

CONAVI, SEMARNAT, Mesa Transversal, GIZ: Emmanuel Carballo, Emily Castro, André Eckermann, Jakob Graichen, Andreas Gruner, Rocio Montaña

Autores:

*Thomson Reuters Point Carbon*: Robert Kaineg

*IzN Friedrichsdorf*: Georg Kraft, Rolf Seifried, Werner Neuhauss, HeikoStörkel

*Passivhaus Institut*: Witta Ebel, Susanne Theumer, Maria del Carmen Rivero.

*Consultores Gopa*: AngelikaStöcklein, Salvador Rodriguez.

Perspectives: Matthias Krey, Stefan Wehner.

Fotografía: GIZ/(portada)

[www.conavi.gob.mx/viviendasustentable](http://www.conavi.gob.mx/viviendasustentable)

© CONAVI – Comisión Nacional de Vivienda en México

Av. Presidente Masaryk 214, 1er Piso

Col. Bosque de Chapultepec

C.P. 11580, México, D.F.

E-mail: [jlwolpert@conavi.gob.mx](mailto:jlwolpert@conavi.gob.mx); [tdkotecki@conavi.gob.mx](mailto:tdkotecki@conavi.gob.mx)

Tel.: 52 55 91389991

[www.conavi.gob.mx](http://www.conavi.gob.mx)

© SEMARNAT – Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Av. San Jerónimo 458, 3er Piso

Col. Jardines del Pedregal

C.P. 01900, México, D.F.

E-mail: [luis.munozcano@semarnat.gob.mx](mailto:luis.munozcano@semarnat.gob.mx)

Tel.: 52 55 54902118

[www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)

## 1. Introducción

El documento “NAMA Apoyada para la Vivienda Sustentable en México – Acciones de Mitigación y Paquetes Financieros”, se preparó dentro del marco del Programa NAMA Mexicano Alemán que es implementado por la GIZ [Cooperación Alemana al Desarrollo], a nombre del Ministerio Federal Alemán para el Medio Ambiente, la Conservación de la Naturaleza y la Seguridad Nuclear (BMU). Esta NAMA se desarrolló, por medio de una estrecha cooperación entre socios mexicanos y alemanes, tales como: SEMARNAT, CONAVI, Infonavit, Fovissste, SHF y GIZ y se presentó, por parte de los gobiernos mexicano y alemán, en la Conferencia de las partes en Durban del 2011 (ver [CONAVI, SEMARNAT 2011]). El Passive House Institute formó parte del equipo de consultores internacionales para la elaboración de esta NAMA (Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada). El objetivo general de la NAMA es el de recaudar fondos de donantes para poder aumentar, aún más, los esfuerzos mexicanos en cuanto a la vivienda energéticamente eficiente, mostrando conceptos de construcción energéticamente eficientes y costo-efectivos, que demuestren una reducción exitosa de emisiones de CO<sub>2</sub> y que, al mismo tiempo, estén adaptados al clima y las condiciones particulares de México.

La tarea específica del Passive House Institute, que aquí se describe, incluye el análisis y los cálculos para el balance de energía, con la ayuda del Passive House Planning Package (Programa de Planificación Passivhaus, PHPP, por sus siglas en inglés). Los objetos a analizar fueron tres tipologías características de la construcción de vivienda social (Aislada, Adosada, y Vertical) en cuatro sitios diferentes, representando las cuatro diferentes zonas bioclimáticas en la República Mexicana. Se simularon cuatro casos de diferentes eficiencias energéticas por medio del cálculo de los efectos de diferentes parámetros constructivos, tales como la mejora de la envolvente térmica y el uso de electrodomésticos eficientes. Estos cuatro casos de construcción partieron, de un caso de línea base (prácticas de construcción habituales, con una muy baja eficiencia) hasta el estándar internacionalmente reconocido de Casa Pasiva o Passivhaus (sustentable, alto grado de confort, costo-efectivo). Debido a la naturaleza de mitigación del cambio climático de la NAMA, un componente crucial de los resultados fue el de representar la demanda de energía primaria y las emisiones de CO<sub>2</sub> en los diferentes casos de construcción. Es más, también se realizó un análisis de los costos de inversión adicionales, así como de los costos totales durante todo el ciclo de vida.

Los resultados muestran que, de todos los casos analizados, el Estándar EcoCasa Max (equivalente al Estándar Passivhaus) es la alternativa más económica para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, a pesar de la necesidad de una optimización de la construcción y del diseño urbano de los proyectos originales. Además, los otros dos estándares adicionales de eficiencia energética, entre el caso de la línea base y el caso de la Casa Pasiva (EcoCasa 1 y EcoCasa 2, ver figura 8), demuestran la viabilidad de mejoras a la eficiencia energética en México,

preparando el camino hacia la transición a estándares más altos de eficiencia energética, tales como el de la Casa Pasiva.

## **2. Antecedentes. El Estándar Casa Pasiva y el PHPP**

Ya que las edificaciones tienen un lapso de vida bastante prolongado y sus ciclos de renovación van desde los 15 hasta los 50 años, los estándares de eficiencia energética que se aplican durante las etapas de construcción o de renovación deben ser sumamente ambiciosos como para cumplir con las metas de protección climática establecidas. El concepto de la Casa Pasiva o Passivhaus, ofrece una solución que establece una compensación entre la eficiencia energética y la efectividad en cuanto a costos. Una Casa Pasiva representa un confort de vivienda mejorado, con una demanda de calefacción anual de menos de 15 kWh/(m<sup>2</sup>a), una demanda de refrigeración anual de menos de 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) (que puede ser mayor de acuerdo con las condiciones climáticas específicas) y una demanda de energía primaria, incluyendo el agua caliente doméstica y la electricidad de la vivienda por debajo de los 120 kWh/(m<sup>2</sup>a). Debido a los mayores niveles de eficiencia energética, ya no son necesarios los sistemas de calefacción, o de refrigeración, por separado.

El Estándar Casa Pasiva se enfoca en el uso de sinergias regionalmente adaptadas y optimizadas para todo clima y tradiciones de construcción, siendo el único estándar que aborda la demanda de energía total de las edificaciones, incluyendo agua caliente, electrodomésticos, iluminación y equipo de cómputo. El concepto de la Casa Pasiva se aplica, de mejor manera, desde la etapa de planificación de una nueva construcción o de un proyecto de renovación. La incorporación de los principios de la Casa Pasiva, desde las primeras etapas de la planificación, así como la resultante optimización del proyecto, típicamente hacen que los costos adicionales de los componentes de calidad de la Casa Pasiva sean sólo marginalmente más altos que los costos de una construcción convencional. Por lo tanto, la construcción de una Casa Pasiva es un enfoque costo-efectivo con el fin de lograr considerables ahorros de energía y protección climática.

El Passivhaus Planning Package (PHPP) es una herramienta integrada para los cálculos de balance de energía, incluyendo todos los flujos energéticos dentro de los límites del sistema. El programa se basa, en gran parte, en las normas internacionales y europeas (por ejemplo EN 832 e ISO 13790) y es una herramienta de diseño para edificaciones con muy baja demanda de energía (como los edificios Passivhaus o Casas Pasivas). Esta herramienta de cálculo ha sido evaluada con simulaciones detalladas y con resultados medidos y monitoreados de cientos de construcciones. Miles de consultores y diseñadores cuentan con muchos años de experiencia en el uso de esta herramienta para el diseño de construcciones de baja energía así como Casas Pasivas. Una versión de PHPP, específicamente adaptada a una región climática, requiere de conjuntos de datos climáticos para esa región en particular. Dichos datos climáticos deben estar específicamente adaptados a la planificación de

construcciones energéticamente eficientes .

### **3. Balance energético con PHPP para la NAMA mexicana**

La contribución del Passive House Institute a la NAMA, incluyó un cálculo de balance energético con el PHPP para tres tipos de construcciones en cuatro diferentes sitios de México. Los tipos de construcción y los sitios se escogieron, en forma conjunta, con funcionarios del gobierno federal mexicano, representando la diversidad del clima de la República Mexicana, así como la realidad del mercado actual de la vivienda social en México. Las siguientes dos secciones, describen los tipos de construcción, así como los sitios de estudio, seguidos por una descripción del proceso del balance energético y los resultados.

#### **3.1. Tipos de construcción**

Los tres tipos de construcción analizados, se basan en un estudio realizado por Campos (ver [Campos 2011]), a nombre de y apoyado por GIZ/GOPA. Estos tipos de construcción representan algunos de los diseños de construcción de vivienda social más populares del mercado actual mexicano [CONAVI, SEMARNAT 2011].

Es importante notar que todos los cálculos se basan en los diseños de construcción originales que se presentan a continuación, incluyendo la orientación y los materiales utilizados. Las tablas en el anexo I ofrecen un recuento cabal de los proyectos originales y sus parámetros (columnas del “Caso de Línea Base”), incluyendo los materiales de construcción y los aparatos electrodomésticos.

#### **a) Unidad de vivienda Aislada**

El tipo de construcción Aislada (unidad de vivienda aislada), tiene una superficie bruta de 44 m<sup>2</sup> dentro de su envolvente térmica con una superficie de referencia energética de 38.4 m<sup>2</sup>. La casa muestra se basó en un proyecto de vivienda social real para México y fue proporcionada por GIZ/GOPA basada en [Campos 2011]. La figura 1 presenta la planta de la edificación y una imagen en 3D. En cuanto a la orientación y los alrededores de la unidad de vivienda analizada, se escogió una ubicación típica dentro del asentamiento del proyecto; en la figura 1, también se puede apreciar la orientación. En la tabla 1, se describe el sistema de construcción del proyecto.

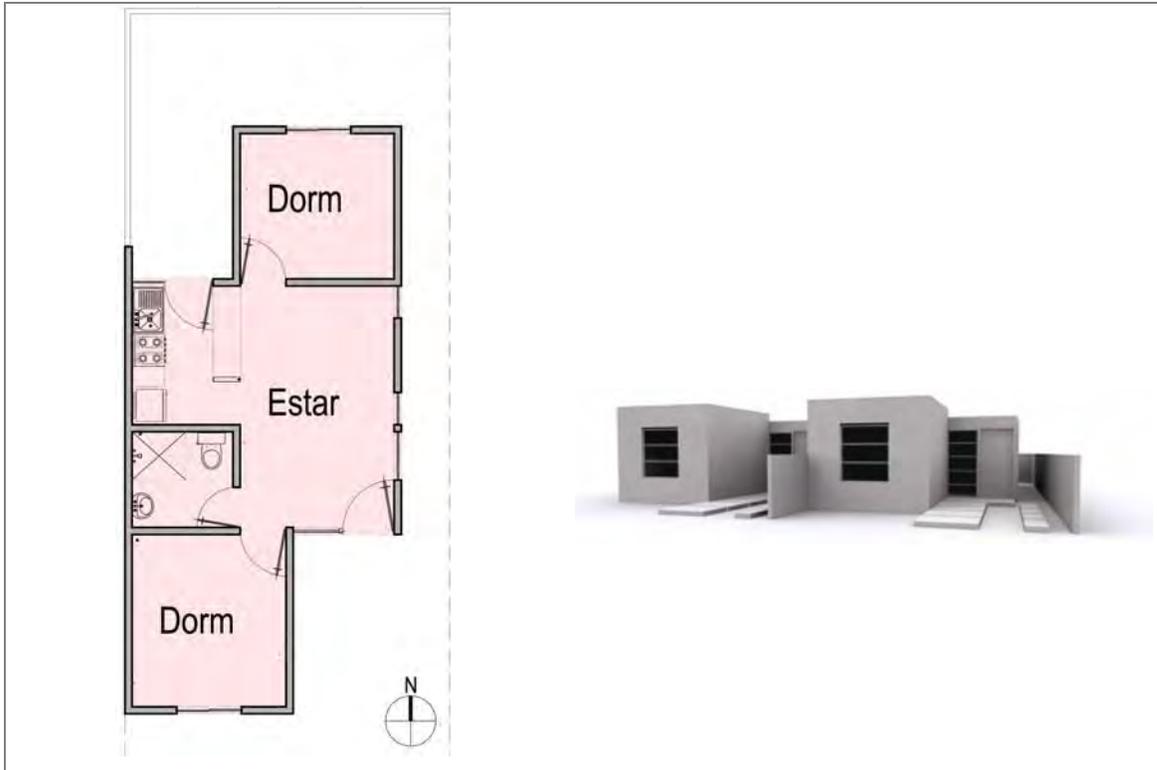


Figura 1: Tipo de vivienda aislada. Planta arquitectónica y 3D, sin escala  
Fuente: [Campos 2012]

Tabla 1: Sistema constructivo para el tipo de vivienda Aislada (Fuente: información proporcionada por GIZ/GOPA)

<b>Muros</b>	Bloques de mampostería de concreto 10cm de grosor. Exterior: "Crestuco" yeso, interior: cemento yeso (cal arena). Pintura de color.
<b>Techo</b>	Losa de concreto reforzado, 12cm de grosor, 2% de pendiente, "Plasticool" capa de color blanco como impermeabilizante
<b>Losas de piso</b>	Losa de concreto reforzado, 10cm de grosor.
<b>Ventanas</b>	Vidrio sencillo, 3mm de grosor y marco de aluminio blanco de 1 ½"

### b) Adosada

El tipo de construcción Adosada (unidad de vivienda en fila), tiene una superficie bruta de 90 m<sup>2</sup> dentro de su envolvente térmica, que incluye dos departamentos. La superficie de referencia energética es de 81.04 m<sup>2</sup>. Para los cálculos de la NAMA se consideró solamente una unidad de vivienda con una superficie de referencia energética de 40.5 m<sup>2</sup>. La casa muestra se basó en [Campos 2011]. En la figura 2, se presenta la planta arquitectónica y una imagen en 3D del proyecto. También se incluye la orientación seleccionada. En la tabla 2, se describe el sistema constructivo del proyecto.

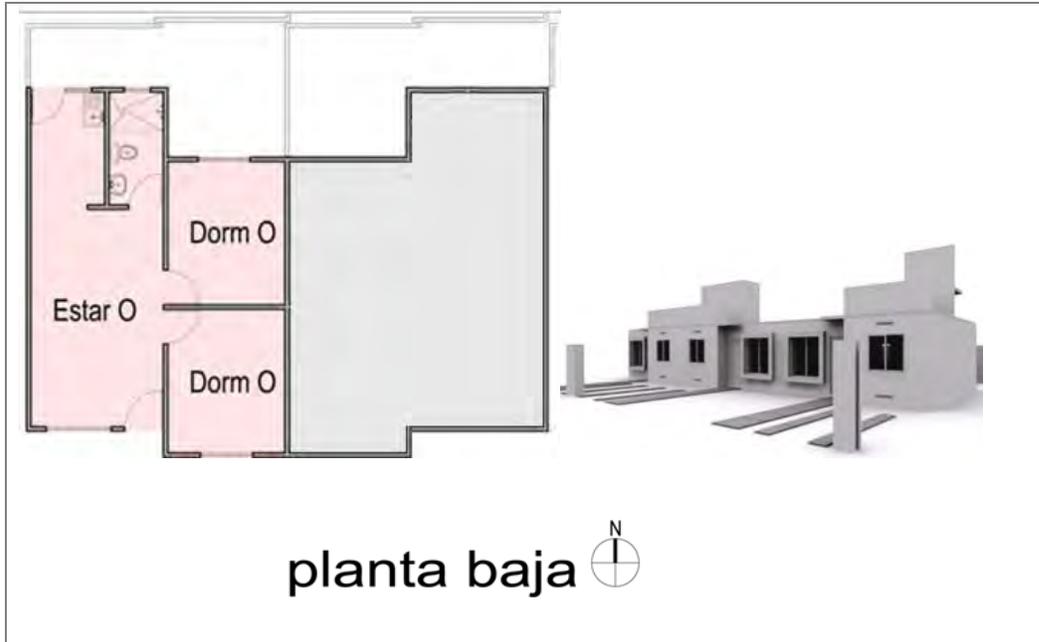


Figura 2: Tipo de construcción Adosada. Planta arquitectónica y maqueta en 3D, sin escala Fuente: [Campos 2011]

Tabla 2: Sistema constructivo para el tipo Adosada (Fuente: información proporcionada por GOPA/GIZ)

<b>Muro exterior</b>	Losa de concreto reforzado, 8cm de grosor. Interior: cemento yeso y acabados de yeso Exterior: cemento yeso, pintura de color
<b>Techo</b>	Losa de concreto reforzado, 12cm de grosor, 2% de pendiente, capa de "Plasticool" color blanco
<b>Losa de entepiso</b>	Losa para la cimentación, concreto reforzado, 10 cm de grosor. Acabados de cemento pulido.
<b>Ventanas</b>	Un solo vidrio claro, 3mm de grosor y marco de aluminio blanco de 1 ½"

### c) Vertical

El tipo de construcción vertical (unidad habitacional vertical), consiste de dos edificios de seis pisos idénticos y simétricos, unidos por un cubo de escalera. Cada edificio tiene una superficie bruta de 93 m<sup>2</sup> por piso, dentro de su envolvente térmica, que incluye dos departamentos. La superficie de referencia energética por piso es de 79.4 m<sup>2</sup>. Para poder simplificar el análisis, sólo se analizó uno de los dos edificios simétricos. La casa muestra se basa en [Campos 2011]. En la Figura 3, se presenta la planta arquitectónica y una imagen en 3D del edificio. Para la ubicación del proyecto, se escogió un sitio típico. En la figura 3, también se indica la orientación de la unidad habitacional analizada y, en la tabla 3, se describe el sistema de construcción.



Figura 3: Planta arquitectónica de edificación Vertical y maqueta en 3D, sin escala  
Fuente: [Campos 2011]

Tabla 3: Sistema constructivo para el tipo de edificación Vertical  
(Fuente: información proporcionada por GOPA/GIZ)

<b>Muro exterior</b>	Mampostería, bloques de concreto con color (concreto ligero) 12x20x38, 12cm, mortero. Pintura de color
<b>Techo</b>	Losa de concreto reforzado, 12cm de grosor, 2% de pendiente, Capa de color "Plasticool" Blanco
<b>Losa de piso</b>	Losa para piso de concreto reforzado de 10cm de grosor. Acabados de cemento pulido.
<b>Ventanas</b>	Un solo vidrio claro, 3mm de grosor y marco de aluminio blanco de 1 ½"

### 3.2. Ubicaciones

Con el propósito de cubrir los climas mexicanos más representativos, se seleccionaron cuatro diferentes ubicaciones, basándose en la información y las recomendaciones de CONAVI e INFONAVIT (ver: [CONAVI 2008] e [INFONAVIT 2011b]), tal y como se muestra en la figura 4.



**Figura 4:** Mapa de la República Mexicana, donde se muestran las cuatro ubicaciones con sus correspondientes zonas climáticas  
**Fuente:** Compare Infobase Limited con la adaptación del Passive House Institute

### 3.3. Proceso para el balance energético

La determinación de los balances energéticos para las unidades habitacionales se realizaron conforme los pasos que se describen a continuación:

#### a) Recopilación de datos en México

Los datos necesarios para los balances de energía con PHPP se recopilaron en México. Estos incluyen los datos con respecto a los sistemas constructivos, tradiciones de construcción, materiales, así como el equipo y materiales disponibles en el mercado local y la producción energética. Cuando no se encontró o proporcionó información alguna, el Passivhaus Institute utilizó valores estándar. En el anexo 1, se encuentran los parámetros de todos los casos analizados.

#### b) Generación de los datos climáticos

El PHPP requiere dos tipos de datos climáticos: un juego de temperaturas mensuales y datos de radiación para poder calcular la demanda de calefacción/refrigeración proyectada y juegos de datos de carga de calefacción/refrigeración para calcular la carga de calefacción y/o refrigeración. La información debe ser representativa de las condiciones climáticas locales típicas, durante todo el año.

Con el propósito de generar los datos mensuales en el formato PHPP, para los cuatro sitios seleccionados en México, se accedieron varias fuentes de datos climáticos. Éstas incluyeron Meteonorm, datos satelitales de la NASA y cifras del Servicio Meteorológico Nacional. Los datos mensuales finales fueron seleccionados conforme

una cuidadosa comparación y análisis. La información de la carga de calefacción y refrigeración se generó por medio de simulaciones dinámicas basadas en datos satelitales de cada región.

**c) Determinación de los casos de construcción de la línea base.**

Para el cálculo de la línea base se consideraron los sistemas constructivos convencionales, así como las tradiciones basándose en los proyectos originales. Como se puede observar en las tablas 1 a la 3, todos los proyectos de la línea base cuentan con piso de concreto reforzado y losas para el techo, con muros de, ya sea, concreto reforzado, o bloques de mampostería de concreto. Todas las ventanas son de vidrio sencillo y cuentan con marcos de aluminio sin aislante. Para los casos de la línea base, la eficiencia energética de todos los electrodomésticos se basó en la información de los aparatos actuales usados en las viviendas sociales en México y van del nivel promedio hasta el bajo (para mayor detalle, ver anexo I). La tabla 4, presenta algunas otras especificaciones que se aplican a todos los casos de la línea base.

**Tabla 4: Especificaciones para casos de la línea base. Fuente: Passive House Institute**

<b>Tipo de iluminación</b>	Luz fluorescente compacta 20W
<b>Aparatos Electrodomésticos</b>	Aparatos electrodomésticos comunes en el mercado actual de vivienda social en México: refrigerador (2.68 kWh/d), TV (0.19 kWh/d), A/C (2.5 COP), ventilador (100 W), lavadora de ropa (0.32 kWh/d), horno de micro-ondas (0.17 kWh/d) (Información acerca de los aparatos electrodomésticos, basada en: [INFONAVIT 2011a], [INFONAVIT 2011b] [Luz y Fuerza n.d.] [SENER 2011]).
	Calentador de agua “de paso” de gas LP (por ejemplo: CINSA CDP 06)
<b>Cocinas</b>	Estufa de gas LP
<b>Número de m<sup>2</sup> por persona</b>	20 m <sup>2</sup> por persona (considerando un ciclo de vida de 30 años)
<b>Ganancias de calor internas</b>	5.3 W/m <sup>2</sup> (calculada con PHPP)
<b>Hermeticidad al Aire</b>	5 h <sup>-1</sup>
<b>Límite de temperatura Límite en el verano</b>	25°C
<b>Límite de temperatura Límite en el invierno 10</b>	20°C
<b>Factores de energía primaria</b>	Mezcla de electricidad: 2.7 kWhPrim/kWh Final Gas LP: 1.1 kWhPrim/kWhFinal (Fuentes: [Enerdata et al. 2011] y PHPP)
<b>Factores CO<sub>2</sub></b>	Mezcla de electricidad: 0.59 kg/kWh Final Gas LP: 0.27 kg/kWhFinal (Fuentes: [Enerdata et al.

---

---

### 2011] y PHPP)

---

---

En cuanto a la tabla 4, los aparatos electrodomésticos, que se escogieron, se basan en la información de los electrodomésticos actuales promedio utilizados en viviendas sociales del INFONAVIT. Se ha observado que los aparatos electrodomésticos tienen un gran impacto en el balance energético de las viviendas, no sólo debido a su demanda de electricidad, sino también debido al hecho de que son cargas de calor internas que, a su vez, aumentan la demanda de refrigeración del espacio. Debido a esta razón es que los casos de eficiencia energética (EcoCasa 1, EcoCasa 2 y Casa Pasiva que para la NAMA se denominó EcoCasa Max), que se describirán en las siguientes subsecciones y en el anexo I, presentaron una mejora en los electrodomésticos que, también redujo las cargas internas de calor. En cuanto a las unidades de aire acondicionado, el supuesto fue que, cada vez que las temperaturas en interiores aumentan por arriba de la temperatura de confort definida, se utiliza un mini Split promedio (COP 2.5) (ver sección 4). En realidad, no todas las casas cuentan con dicha unidad mini Split, sino que algunas de las viviendas tienen unidades viejas e ineficientes, algunas pueden tener unidades de A/C más nuevas y algunas otras no tienen ningún aparato para una refrigeración activa. Este supuesto mantiene los cálculos de la demanda de energía y, por consiguiente, el cálculo del CO<sub>2</sub> del lado seguro. Para una descripción detallada de los límites de temperatura para el verano y el invierno y la ocupación (número de m<sup>2</sup> por persona), favor de referirse a la sección 4.

Otra característica importante del caso de línea base que debe notarse, es que no se tomó en consideración la reciente norma de construcción mexicana NOM 020 que, desde agosto del 2011, establece el estándar de energía mínima para proyectos de vivienda en todo el país. Esto se acordó junto con CONAVI antes de efectuar los cálculos bajo el entendimiento de que, los proyectos a construirse en un futuro inmediato, y que fueron registrados antes de la vigencia de la norma, todavía no toman en cuenta dicha norma. Es por esta razón que, durante los primeros años de la implementación de la NAMA, las edificaciones que no consideran la NOM 020 sí serán construidas, pero formarán parte de un período de transición. A partir de agosto del 2011, todos los proyectos que soliciten permisos de construcción deben considerar la NOM 020. En breve, cualesquier futura consideración de una edificación, de línea base en México, deberá tomar en cuenta esta norma debido a su naturaleza obligatoria (ver [NOM 020]).

#### **d) Comprobación de los casos de línea base**

El siguiente paso fue el de establecer un balance energético de los casos de línea base para los tres tipos de construcción, en los cuatro diferentes sitios de la república, calculando la demanda de energía con PHPP.

#### **e) Optimización de los parámetros de construcción**

Para poder lograr el Estándar EcoCasa Max por medio del cumplimiento del criterio para la certificación de Casa Pasiva para viviendas residenciales<sup>1</sup>, se calculó una optimización de los elementos de construcción. Dicha optimización incluyó el uso de niveles más altos de aislamiento y ventanas de alta calidad (marcos aislados con doble o triple vidrio, dependiendo del clima) y aparatos electrodomésticos altamente eficientes. Algunas otras medidas incluyeron el uso de sombreado removible, el logro de una envolvente térmica hermética y la inclusión de sistemas de ventilación mecánica (ya sea con una recuperación de calor altamente eficiente, o sólo aire de extracción, dependiendo del sitio). Todas las medidas se aplicaron sin cambiar el diseño de construcción. En la sección 5 y en el anexo I, de este estudio, se incluyen más detalles en cuanto a estas medidas.

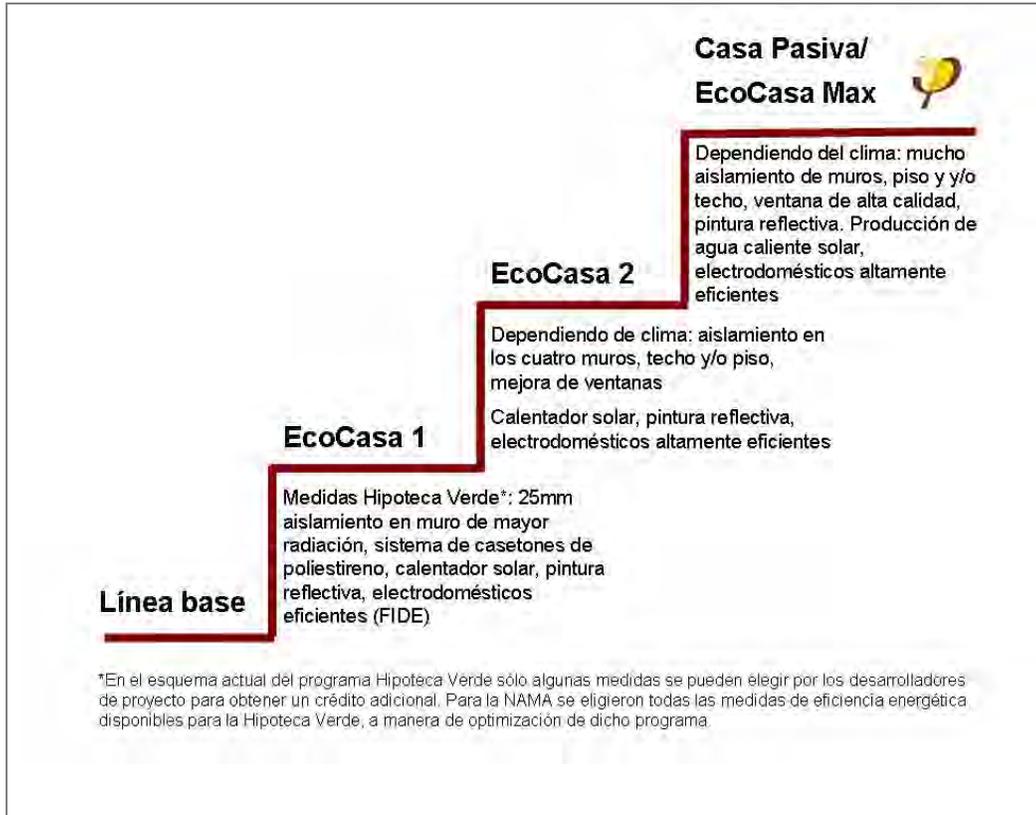
#### **f) Desarrollo de dos casos intermedios entre la línea base y EcoCasa Max/Casa Pasiva**

El primer concepto de casa intermedia se llamó EcoCasa 1, por sugerencia del CONAVI, reuniendo todas las medidas de eficiencia energética del actual esquema de la Hipoteca Verde. El programa de crédito de la Hipoteca Verde es proporcionado por el INFONAVIT (Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores) y ofrece préstamos suplementarios para cubrir los costos incrementales de las tecnologías verdes y de los electrodomésticos en las casas nuevas de proyectos para la vivienda social. Dichas medidas, empleadas para la EcoCasa 1 son: aproximadamente 2.5 cm de aislamiento en los techos y en los muros con mayor exposición a la radiación solar, pintura reflejante, uso de calentadores de paso con gas LPG, calentamiento de agua solar y un sistema eficiente de A/C (esto último, dependiendo del clima). Además, también se consideraron electrodomésticos eficientes disponibles en el mercado local actual y que ya son más eficientes que los empleados para la línea base (ver tabla 4). En el anexo 1, se describe, en mayor detalle, la eficiencia de los electrodomésticos, así como el resto de los parámetros para EcoCasa 1. En el caso de las edificaciones tipo Adosada y Vertical, la losa original para los techos de concreto reforzado se cambió por un sistema de vigueta y bovedilla (bloques EPS, vigas de concreto reforzado), comúnmente utilizados en muchos de los proyectos de Hipoteca Verde. Dicho sistema también se utilizó en los siguientes casos de eficiencia energética para los tipos de construcción Adosada y Vertical.

El segundo caso intermedio, EcoCasa 2, representa una mayor optimización hacia el Estándar de la Casa Pasiva, por medio de un bajo nivel de aislamiento en los muros, los techos y las losas del piso (dependiendo del sitio), ventanas mejoradas y electrodomésticos altamente eficientes que todavía no son comunes dentro del mercado mexicano. En el anexo 1, se presentan mayores detalles en cuanto a los parámetros para EcoCasa 2. La figura 5, muestra los cuatro casos de eficiencia energética desarrollados para esta NAMA.

Los diferentes estándares de eficiencia energética calculados, corresponden a diferentes niveles de energía del sistema de calificación SISEVIVE, que se está desarrollando actualmente, siendo el nivel F el de la línea base y el

nivel A el del Estándar Casa Pasiva/EcoCasaMax.



**Figura 5: Casos de eficiencia energética para la NAMA2 mexicana**  
Fuente: Passive House Institute

#### g) Determinación del costo de inversión adicional.

Se calcularon los costos de inversión adicionales y los costos totales durante la vida útil de los diferentes casos de eficiencia energética, tanto conforme a la situación actual del mercado, como para el escenario de costos a futuro.

#### 4. Condiciones límite

Para los balances de energía que se llevaron a cabo dentro de este estudio, se definieron algunas condiciones límite que sirvieron como guía para todos los cálculos.

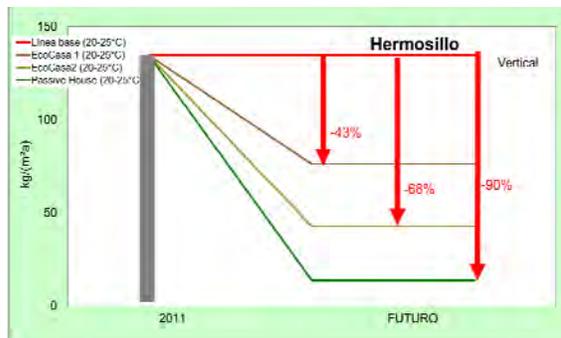
Como primera condición límite se tuvo que elegir un rango de temperatura. El rango de temperatura es importante ya que, en los cálculos, se asume que cuando las temperaturas dentro de la casa exceden el límite

<sup>2</sup> En el documento principal de NAMA, al cual se adhiere este anexo, la EcoCasaMax se basa en el Estándar Passivhaus ó Casa Pasiva.

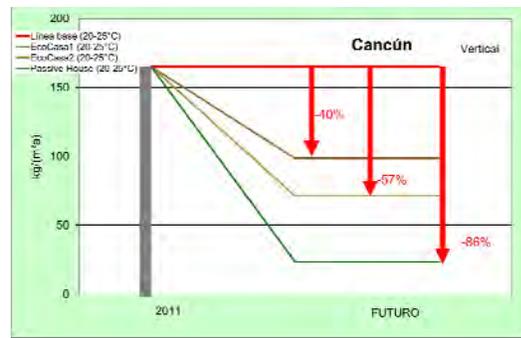
superior, la casa se enfría activamente, lo cual tiene un impacto sobre la demanda de energía de la edificación. Por otra parte, cuando las temperaturas de la casa están por debajo del umbral, entonces se asume que los usuarios van a calentar la casa activamente, lo cual, también tendrá un impacto en la demanda de energía.

Para la NAMA, se fijó un rango de confort de temperatura de los 20°C a los 25°C. Este rango de temperaturas se basa en la norma ISO7730, donde se establece el rango ideal para el confort humano. Este confort óptimo frecuentemente no se logra en casas con estándares de energía deficientes, debidos a razones técnicas o económicas. No obstante, la experiencia demuestra que tan pronto los ocupantes son capaces de elevar su confort en interiores, a través del uso de refrigeración y/o calefacción activas, lo hacen con el propósito de lograr un rango óptimo de confort de 20-25°C, aumentando su uso de energía para calefacción y/o refrigeración.

Las figuras 6a y 6b, muestran la diferencia en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> para los diferentes casos de eficiencia, para el tipo de construcción Vertical en los climas extremos de Hermosillo y Cancún.

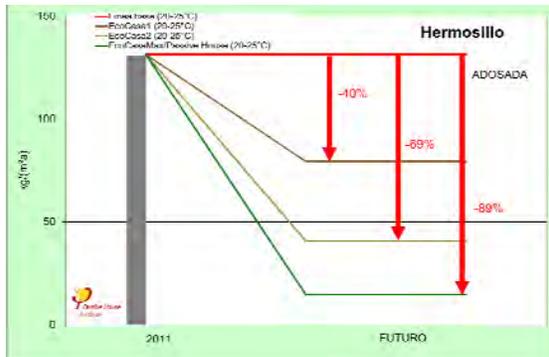


**Figura 6a:** estimación de la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, para el tipo de construcción Vertical en Hermosillo. Fuente: Passive House Institute

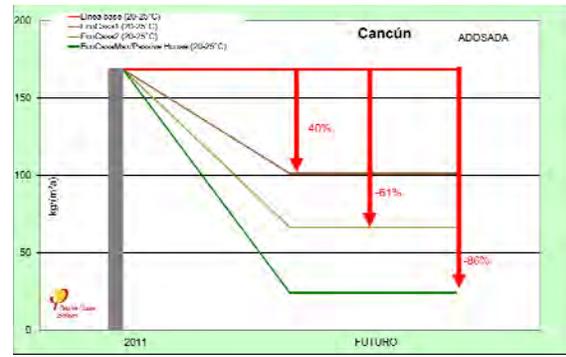


**Figura 6b:** estimación de la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, para el tipo de construcción Vertical en Cancún. Fuente: Passive House Institute

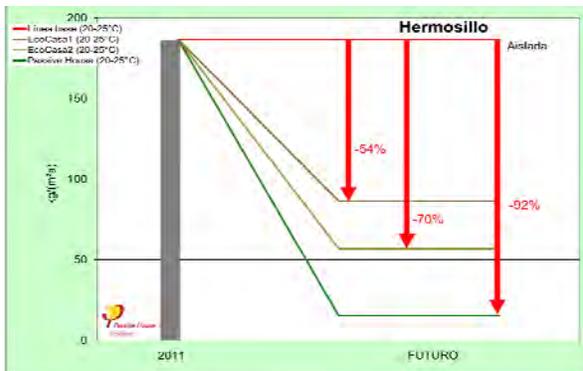
En los tres diagramas, la línea negra continua representa la línea base de bajo confort. Se muestran las reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub> para los diferentes casos de eficiencia energética, por debajo de la línea base, utilizando el rango de confort de 20-25°C. La línea punteada superior representa el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> que la línea base produciría dentro del rango de confort de 20-25°C. Las figuras 7a y 8b muestran el mismo diagrama para los tipos de construcción Adosada y Aislada.



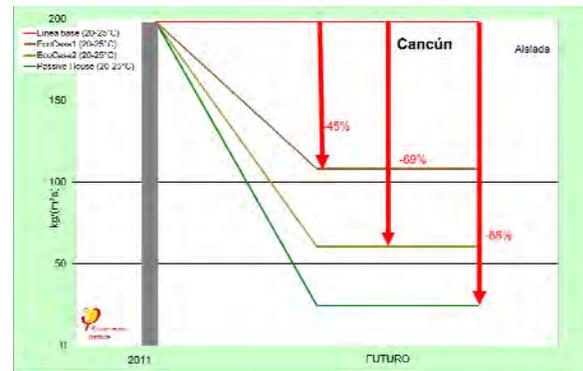
**Figura 7a:** Estimación de la reducción de emisiones de CO2 para el tipo de construcción Adosada en Hermosillo.  
Fuente: Passive House Institute



**Figura 7b:** Estimación de la reducción de emisiones de CO2 en el tipo de construcción Adosada en Cancún.  
Fuente: Passive House Institute



**Figura 8a:** Estimación de la reducción de emisiones de CO2 para el tipo de construcción Aislada en Hermosillo.  
Fuente: Passive House Institute



**Figura 8b:** Estimación de la reducción de emisiones de CO2 para el tipo de construcción Aislada en Cancún.  
Fuente: Passive House Institute

Otra condición límite importante fue, que aunque todos los tipos de construcción se diseñaron para cuatro habitantes, la ocupación se estimó en dos personas por vivienda. Esta definición se consideró, bajo el supuesto conservador de que dos personas serían la ocupación promedio, durante un ciclo de vida de 30 años para la unidad habitacional (período bajo observación).

Los costos se calcularon bajo una estimación de los precios de las medidas constructivas adicionales desde la EcoCasa 1 a las EcoCasaMax, usando el caso de línea base como punto de inicio. Una primera estimación llamada “costos de inversión actuales”, refleja los precios que se hubieran tenido que pagar si es que los estándares de construcción fueran a llevarse a cabo ahora. Esto incluye el hecho de que los componentes para la Casa Pasiva, tales como ventanas eficientes y unidades de ventilación con recuperación de calor todavía no se encuentran disponibles en el mercado mexicano y que, por lo tanto, son muy costosos. Sin embargo, la experiencia en el mercado de Europa Central, nos muestra que la introducción de estándares de construcción con eficiencia energética desafía a los fabricantes para elaborar mejores productos con un alto grado de desempeño y mayor eficiencia. Otra estimación llamada “costos de inversión a futuro”, se elabora bajo el supuesto de que una

vez que la construcción con eficiencia energética se convierta en una práctica común en México, por medio de la NAMA, los costos de los componentes de la Casa Pasiva serán significativamente más bajos, debido a la producción local de componentes para la construcción, bajo una situación de mercado competitivo estándar. En la tabla 5, se resumen las condiciones límite que se tomaron en cuenta para los cálculos de costos.

**Tabla 5: Condiciones límite para los cálculos de costo.**

Fuente: Passive House Institute

<b>Tasa de interés real</b>	2.00%	p.a.
<b>Ciclo de vida</b>	30	años
<b>Precio del gas*</b>	0.075	US\$/kWh
<b>Aumento en el precio del gas</b>	2.1%	p.a.
<b>Precio de la electricidad</b>	0.083	US\$/kWh
<b>Aumento en el precio de la electricidad</b>	4.0%	p.a.
<b>Subsidio al precio de la electricidad</b>	0.14	US\$/kWh
<b>Aumento del subsidio</b>	6.0%	p.a.

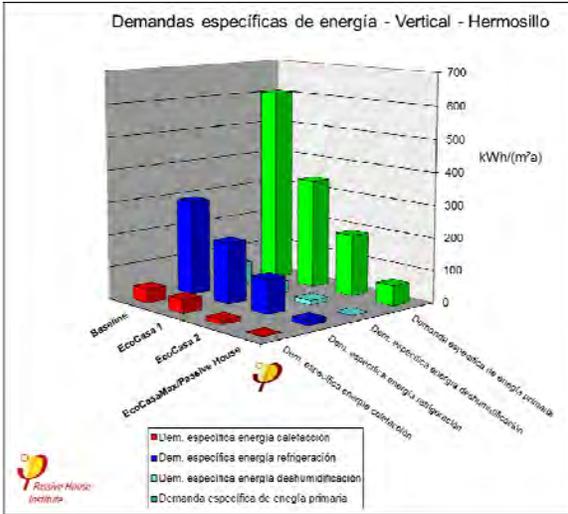
\*Aun cuando los costos del gas LP en México están subsidiados, para la NAMA no se consideró subsidio alguno. Este supuesto conservador se realizó así para poder calcular los costos en el lado seguro, por una parte, ya que los costos del gas natural (usado en algunos proyectos) no están subsidiados, y por la otra, puesto que el consumo de gas no es tan alto en comparación con el consumo de electricidad.

## 5. Panorama general de medidas y resultados

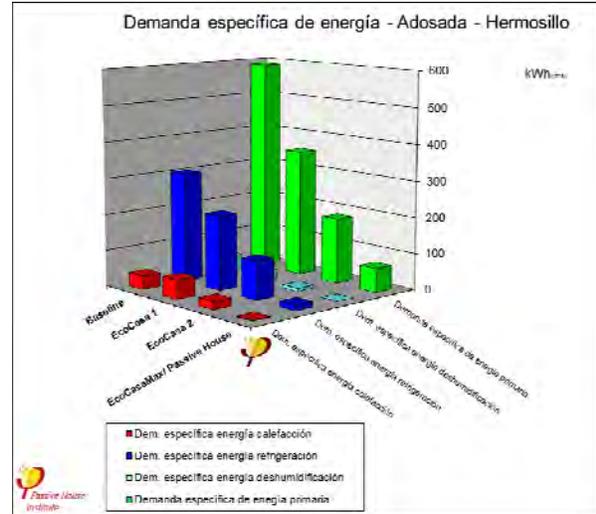
Con el objetivo de tener una visión más clara de los resultados del balance de energía, esta sección proporciona un panorama general de las medidas aplicadas a los diferentes tipos de construcción analizados en los diferentes sitios (para una descripción exhaustiva de los tres tipos de casos de construcción y su eficiencia energética, ver anexo I).

### 5.1. Cálido seco extremo (Hermosillo)

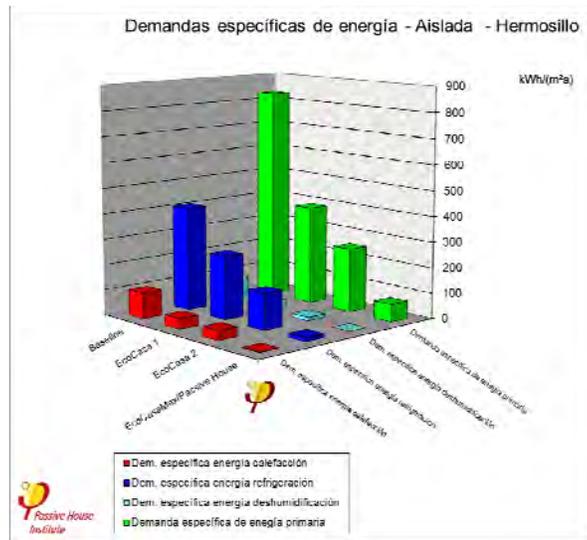
Para el extremadamente cálido y seco clima de Hermosillo en el nor-oeste de México, las medidas que se aplicaron para optimizar la eficiencia energética de las construcciones incluyen el aislamiento de los muros exteriores (de 10 a 30 cm dependiendo del tipo de construcción). Además los techos fueron altamente aislados (aproximadamente 30 cm) así como las losas del piso (cerca de 10 cm). Así mismo se mejoraron las ventanas ya que se demostró que el triple vidrio con protección solar, era un elemento clave para la reducción de la demanda de refrigeración en este clima cálido seco extremo. Algunas otras medidas que probaron tener una gran relevancia en la reducción de la demanda energética, así como para cumplir con el Estándar Casa Pasiva/EcoCasaMax son: ventilación con recuperación de energía, enfriamiento con recirculación de aire por separado, sombreado exterior móvil, mejora de la masa térmica y la aplicación de "Cool colours", o de pintura altamente reflejante en muros y techos. Las figuras 9a a 9c resumen las demandas específicas de refrigeración y calefacción, así como las demandas de energía primaria y de deshumidificación para todos los tipos de construcción analizados.



**Figura 9a: Demandas específicas de energía para el tipo de construcción Vertical en Hermosillo.**  
Fuente: Passive House Institute



**Figura 9b: Demandas específicas de energía para el tipo de construcción Adosada en Hermosillo.**  
Fuente: Passive House Institute



**Figura 9c: Demandas específicas de energía para el tipo de construcción Aislada en Hermosillo.**  
Fuente: Passive House Institute

Como se puede apreciar en la serie de las figuras 9, las demandas de energía bajan dramáticamente desde la línea base hasta el Estándar Casa Pasiva/EcoCasaMax. Es más, las figuras 10a, 11a y 12a presentan los costos de inversión y de energía de los diferentes casos de eficiencia, desde la línea base hasta la EcoCasaMax. Las figuras 10b, 11b y 12b presentan el escenario del costo de inversión a futuro.

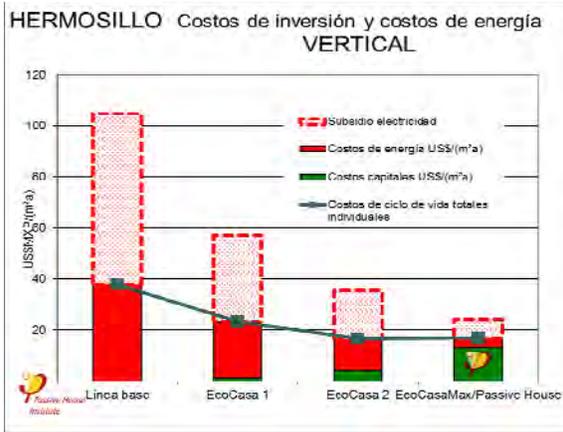


Figura 10a: Costos de inversión y de energía actuales para el tipo de construcción Vertical, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Hermosillo. Fuente: Passive House Institute

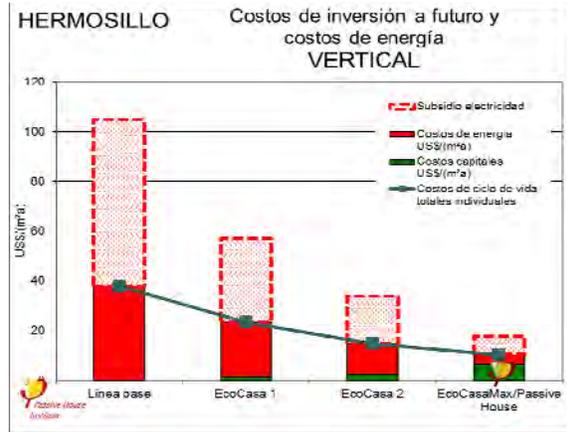


Figura 10b: Costos de inversión y de energía a futuro para el tipo de construcción Vertical, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Hermosillo. Fuente: Passive House Institute

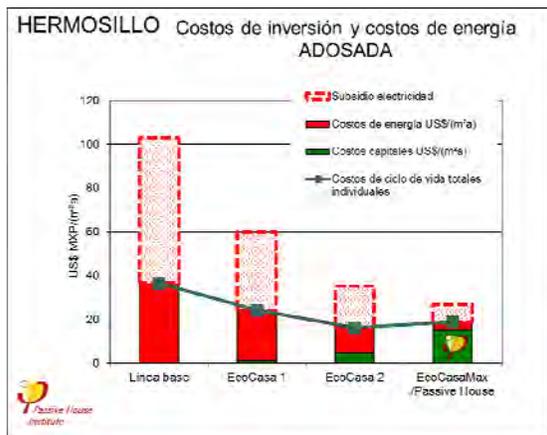


Figura 11a: Costos de inversión y de energía actuales para el tipo de construcción Adosada, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Hermosillo. Fuente: Passive House Institute

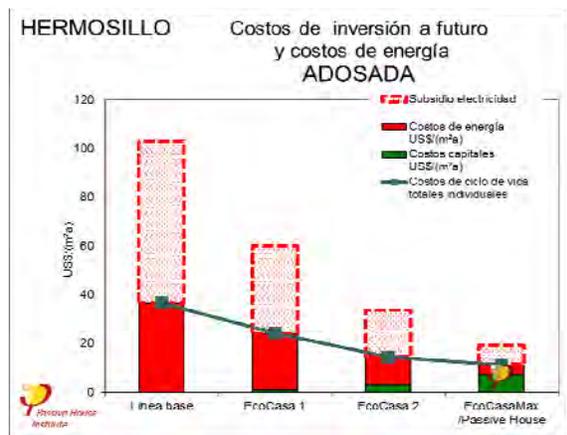


Figura 11b: Costos de inversión y de energía a futuro del tipo de construcción Adosada, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Hermosillo. Fuente: Passive House Institute

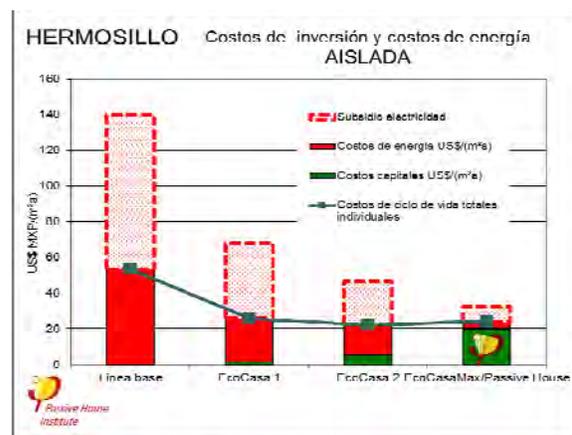


Figura 12a: Costos de inversión y de energía para el tipo de construcción Aislada, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Hermosillo. Fuente: Passive House Institute

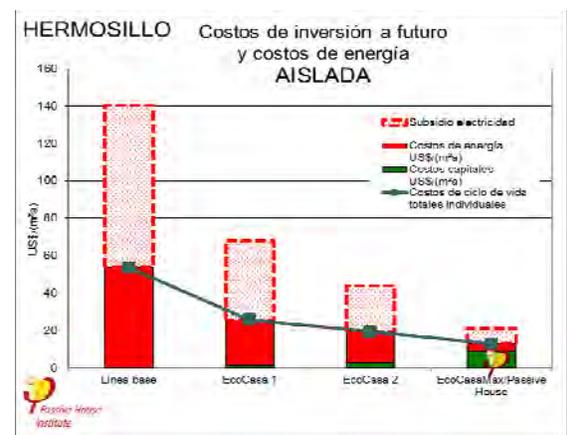


Figura 12b: Costos de inversión y de energía a futuro para el tipo de construcción Aislada, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Hermosillo. Fuente: Passive House Institute

#### Institute

Como se puede deducir a partir de las gráficas de comparación de costos, en las figuras 10a y 10b, aun suponiendo los costos actuales de los componentes eficientes de energía y sin tomar en cuenta los subsidios a la energía, el Estándar Casa Pasiva/EcoCasaMax es una solución económicamente viable. No obstante, mientras que las viviendas verticales representan el óptimo económico aun en la actualidad (precios actuales), queda claro que las casas unifamiliares (figuras 11a y 12a) están en desventaja con respecto a la eficiencia energética. Sin embargo, una vez que los componentes con eficiencia energética con precios competitivos estén disponibles en el mercado mexicano, se aplicaría el escenario de 'costos a futuro' donde se aprecia que el Estándar Casa Pasiva/EcoCasaMax es la opción más económica (figuras 11b y 12b). En términos de costos totales, incluyendo la participación de subsidios en los costos de suministro de energía, es evidente que el Estándar Casa Pasiva/EcoCasaMax es el óptimo económico, en todos los casos.

### 5.2. Templado (Guadalajara)

El clima templado de la ciudad de Guadalajara, ubicada en el centro-occidente del país, es un ejemplo perfecto del tal llamado 'happy climate' (clima feliz), implicando que el Estándar Casa Pasiva/EcoCasaMax puede lograrse con, relativamente, un mínimo de esfuerzo. Las medidas adoptadas para este sitio incluyen el aislamiento de todos los muros exteriores (alrededor de 5 cm dependiendo del tipo de construcción). Las losas del piso y el techo no requieren de altos niveles de aislamiento, aun cuando se detectó que, especialmente en el techo, el aislamiento sí aporta un mayor ahorro de energía. También se mejoraron las ventanas, pero para estos climas templados, el vidrio doble low-e resultó ser suficiente. Para minimizar la demanda de energía y para lograr el Estándar de Casa Pasiva/EcoCasaMax en este clima, basta con un sistema de extracción de aire, combinado con ventilación natural nocturna y la mejora de la masa térmica, en vez de una ventilación con recuperación de energía. En las figuras 13a a 13c, se pueden observar los diferentes valores de eficiencia energética para cada uno de los casos.

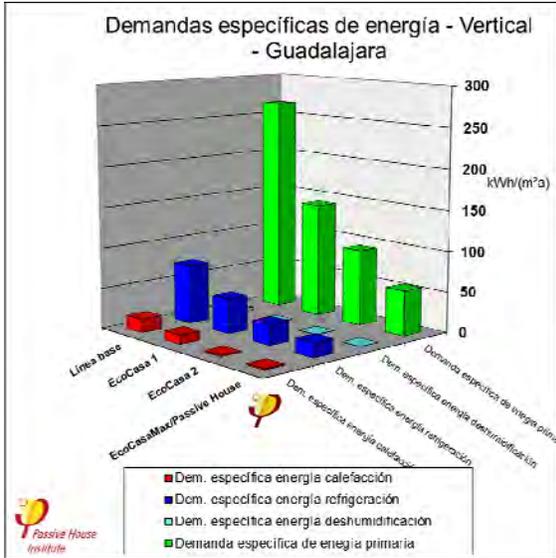


Figura 13a: Demandas específicas de energía para la construcción tipo Vertical en Guadalajara.  
Fuente: Passive House Institute

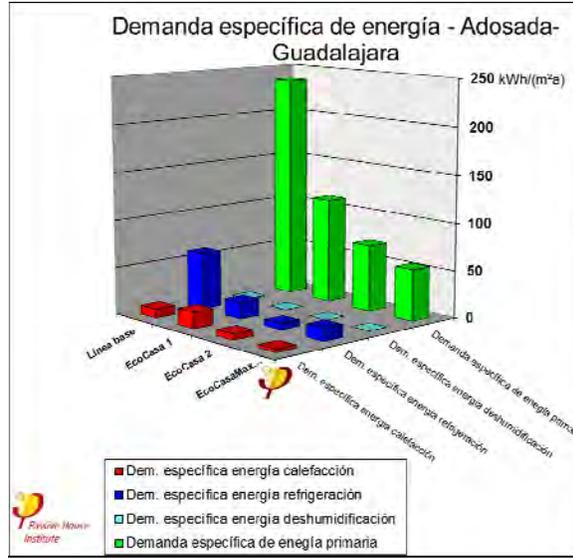


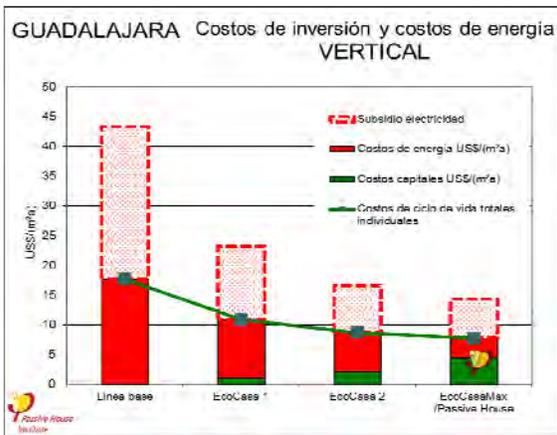
Figura 13b: Demandas específicas de energía para el tipo de construcción Adosada en Guadalajara.  
Fuente: Passive House Institute



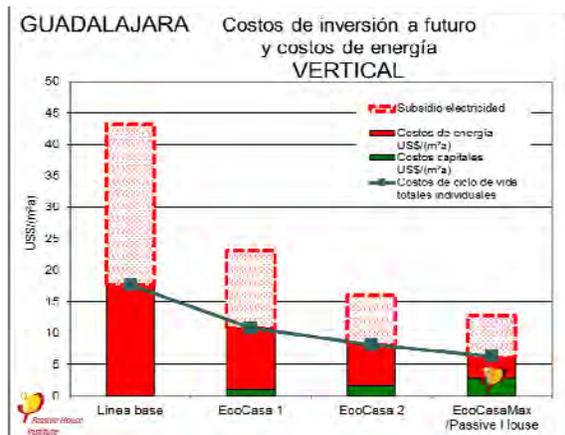
Figura 13c: Demandas específicas de energía para la construcción tipo Aislada en Guadalajara.  
Fuente: Passive House Institute

Como puede observarse en las figuras 13a a 13c, en el clima de Guadalajara, la deshumidificación no es necesaria. Es más, en las figuras 14a a 16b, a la extrema derecha de los diagramas, se puede observar una barra adicional bajo la designación "Passive House Plus" (Casa Pasiva Plus). En Guadalajara, se llevó a cabo una optimización mayor de la edificación, debido a la situación especial de su clima (donde el Estándar Casa Pasiva es relativamente fácil de lograr). En este caso, se aplicaron aislamiento adicional y una mejora ulterior de las ventanas para poder lograr una demanda de energía nula para

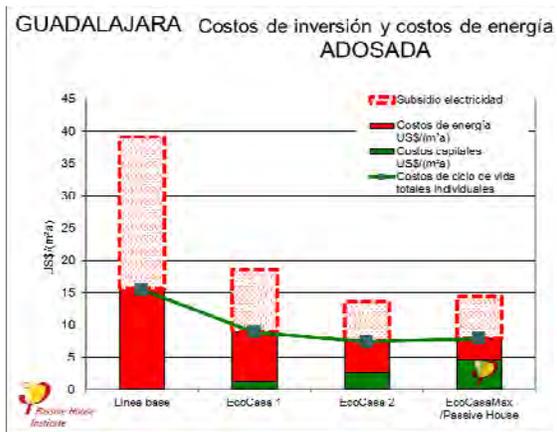
refrigeración y calefacción. Aun cuando el caso de la Casa Pasiva Plus, no forma parte del programa de financiamiento de la NAMA, de todas formas es un ejemplo interesante del potencial con el que cuentan algunas de la afortunadas regiones climáticas de México: alcanzar niveles de eficiencia energética sobresalientes no sólo es posible sino que es costo-efectivo (tal y como se observa en las gráficas). Otro ejemplo de un “happy climate”, donde se puede aplicar el concepto de la Casa Pasiva Plus es en la ciudad de México. Debido a la magnitud y la importancia de la ciudad capital de México, los beneficios de este estándar son múltiples.



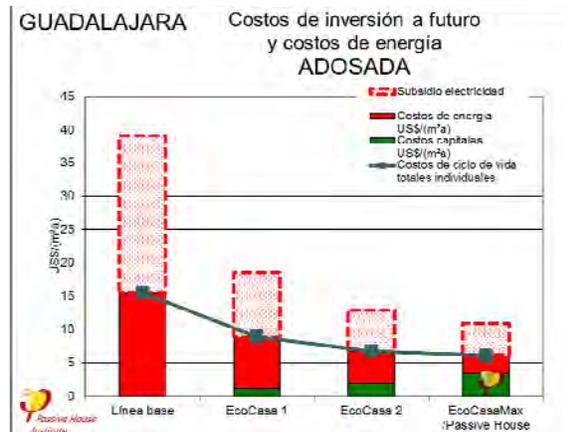
**Figura 14a:** Costos de inversión y de energía actuales para la construcción tipo Vertical, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Guadalajara.  
Fuente: Passive House Institute



**Figura 14b:** Costos de inversión y de energía a futuro para la construcción tipo Vertical, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Guadalajara.  
Fuente: Passive House Institute



**Figura 15a:** Costos de inversión y de energía actuales para la construcción tipo Adosada, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Guadalajara.  
Fuente: Passive House Institute



**Figura 15b:** Costos de inversión y de energía a futuro para la construcción tipo Adosada, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Guadalajara.  
Fuente: Passive House Institute

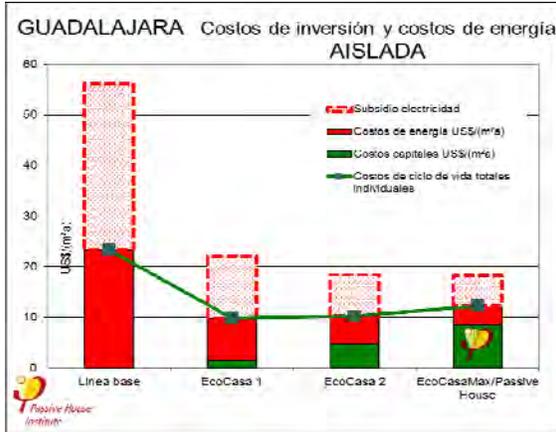


Figura 16a: Costos de inversión y de energía actuales para el tipo de construcción Aislada, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Guadalajara. Fuente: Passive House Institute

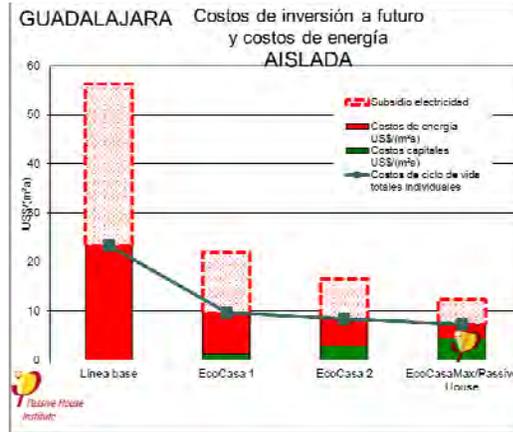
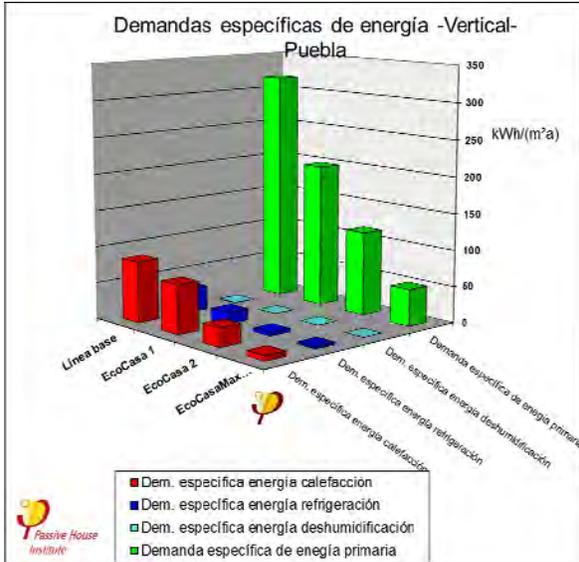


Figura 16b: Costos de inversión y de energía a futuro para el tipo de construcción Aislada, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Guadalajara. Fuente: Passive House Institute

En cuanto al escenario de “costos a futuro” y como puede apreciarse en las figuras 14b, 15b y 16b, la EcoCasaMax es el óptimo económico para el tipo de construcción vertical, así como para la vivienda unifamiliar. El caso de la Casa Pasiva Plus, a pesar de tener costos de inversión más altos que el caso de EcoCasaMax es la opción más económica, al tomar en cuenta los subsidios (figuras 14a, 15a y 16a).

### 5.3. Semi-frío (Puebla)

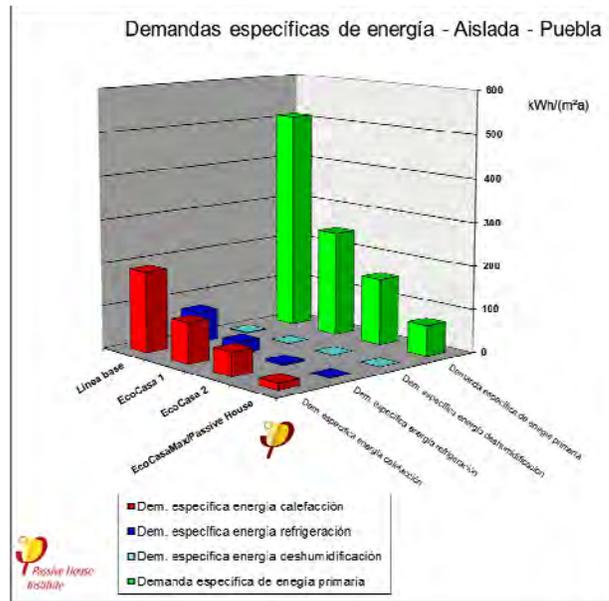
Para la ciudad de Puebla, ubicada en la parte central de la República Mexicana, con un clima ligeramente más frío que el de Guadalajara, las principales medidas de eficiencia energética incluyen 5 cm de aislamiento en muros y 2.5 cm en la losa del piso y en el techo, así como ventanas dobles. Basta con un sistema de extracción de aire, combinado con ventilación natural adicional, para asegurar la calidad del aire dentro de la edificación. Las figuras 17a a 17c, muestran la ventaja energética del Estándar de la Casa Pasiva/EcoCasaMax, en comparación con los otros casos de eficiencia energética.



**Figura 17a: Demandas específicas de energía para la construcción tipo Vertical en Puebla.**  
Fuente: Passive House Institute



**Figura 17b: Demandas específicas de energía para la construcción tipo Adosada en Puebla.**  
Fuente: Passive House Institute



**Figura 17c: Demandas específicas de energía para el tipo de construcción Aislada en Puebla.**  
Fuente: Passive House Institute

Como puede observarse en las figuras 17a a la 17c, las demandas de energía primaria y de calefacción de la línea base, son significativamente más altas que las del resto de los estándares de eficiencia energética, siendo el Estándar Casa Pasiva/EcoCasaMax, el de menor demanda de energía.

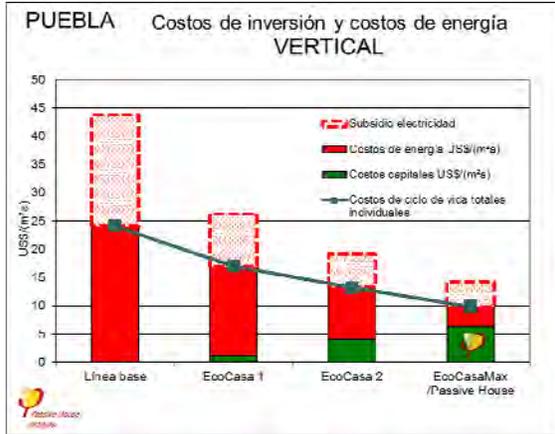


Figura 18a: Costos de inversión y de energía actuales para el tipo de construcción Vertical, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Puebla.  
Fuente: Passive House Institute

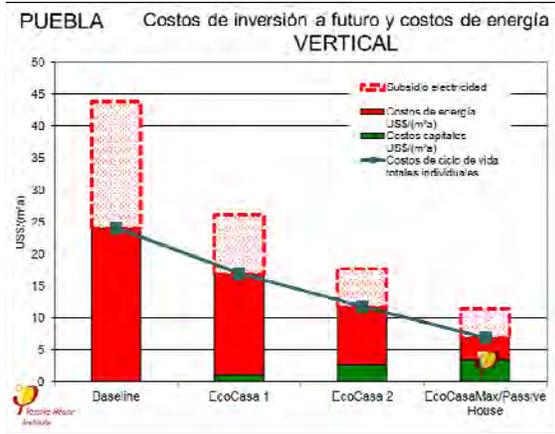


Figura 18b: Costos de inversión y de energía a futuro para el tipo de construcción Vertical, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Puebla.  
Fuente: Passive House Institute

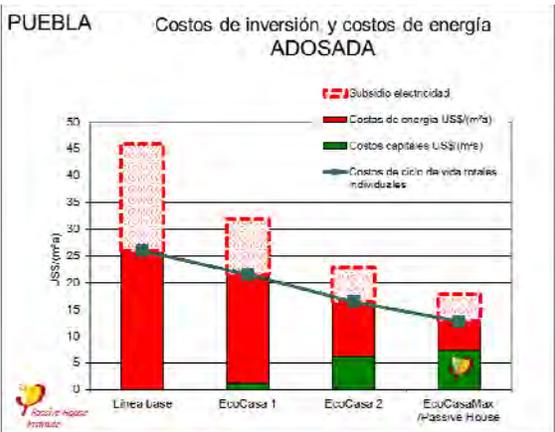


Figura 19a: Costos de inversión y de energía actuales para el tipo de construcción Adosada, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Puebla.  
Fuente: Passive House Institute

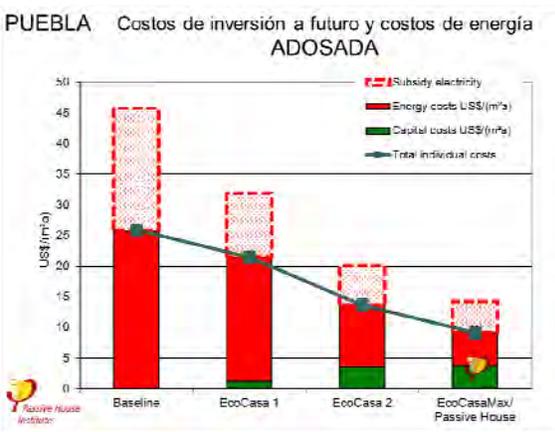


Figura 19b: Costos de inversión y de energía a futuro para el tipo de construcción Adosada, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Puebla.  
Fuente: Passive House Institute

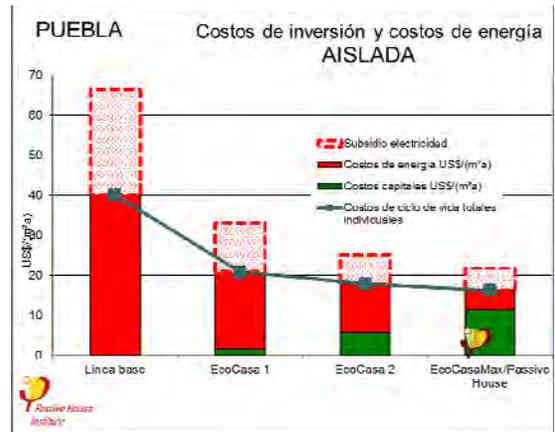


Figura 20a: Costos de inversión y de energía actuales para el tipo de construcción Aislada, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Puebla.

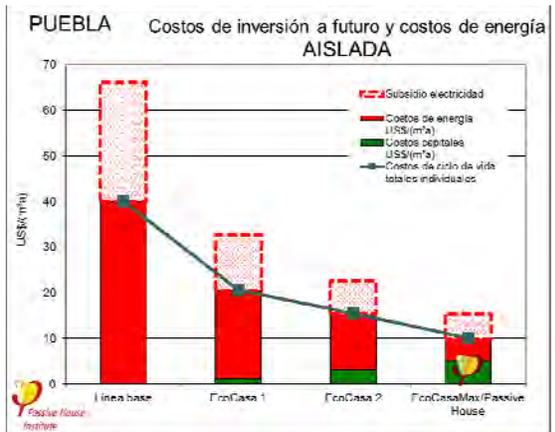


Figura 20b: Costos de inversión y de energía a futuro para el tipo de construcción Aislada, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Puebla.

Fuente: Passive House Institute

Fuente: Passive House Institute

En las figuras 18a y 18b, se demuestra claramente la superioridad económica del caso Casa Pasiva/EcoCasaMax y las mejoras económicas de EcoCasa 1 y EcoCasa 2, ya sea en precios actuales como futuros.

#### 5.4. Cálido húmedo extremo (Cancún)

Para el clima extremadamente cálido y húmedo de la ciudad de Cancún, situada en el sureste de la República Mexicana, en la costa del Caribe, las medidas que se aplican para poder optimizar la eficiencia energética de las construcciones deben tomar en cuenta la humedad. Al igual a como con el resto de las construcciones en los otros sitios, el aislamiento de los elementos opacos de la edificación, fue el primer paso a darse, con un mínimo de 7.5 cm en todos los muros y piso, dependiendo del tipo de construcción, y de alrededor de 10 cm en el techo, para lograr el estándar Casa Pasiva/Eco Casa Max. Se utilizaron vidrios triples con protección solar. Otras medidas adicionales para lograr el Estándar Casa Pasiva/EcoCasaMax, incluyeron ventilación con recuperación de energía con control de humedad, refrigeración con recirculación por separado con deshumidificación adicional, sombreado exterior móvil, mejora de la masa térmica y la aplicación de "Cool Colours" en muros y techo.

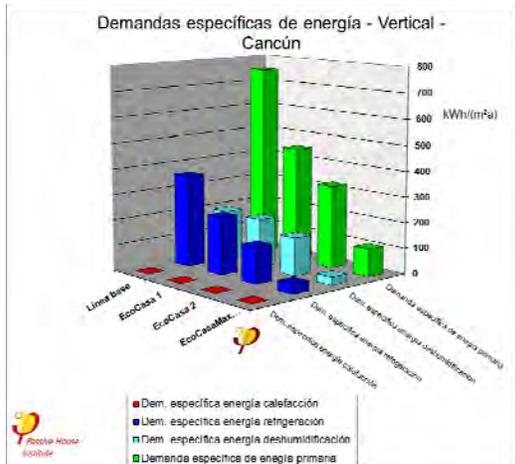


Figura 21a: Demandas específicas de energía para el tipo de construcción Vertical en Cancún.  
Fuente: Passive House Institute

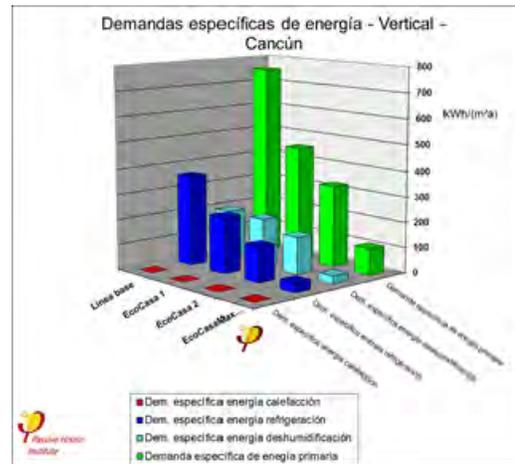
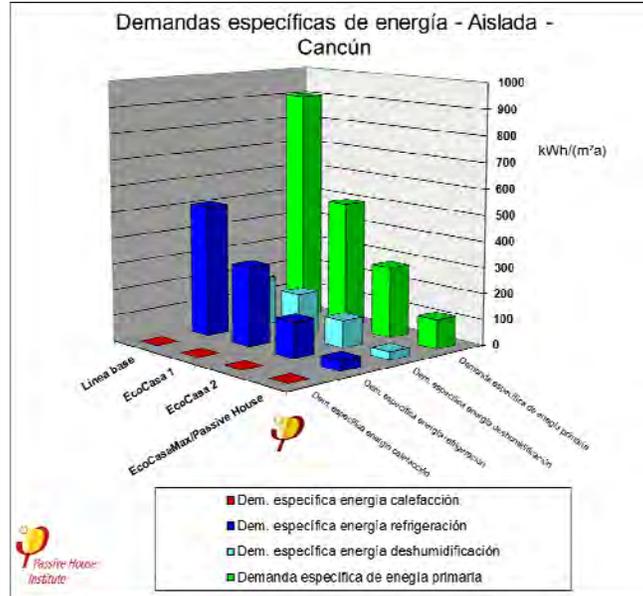
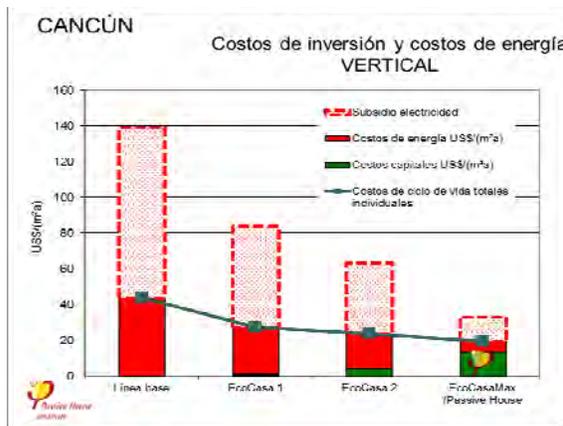


Figura 21b: Demandas específicas de energía para el tipo de construcción Adosada en Cancún.  
Fuente: Passive House Institute

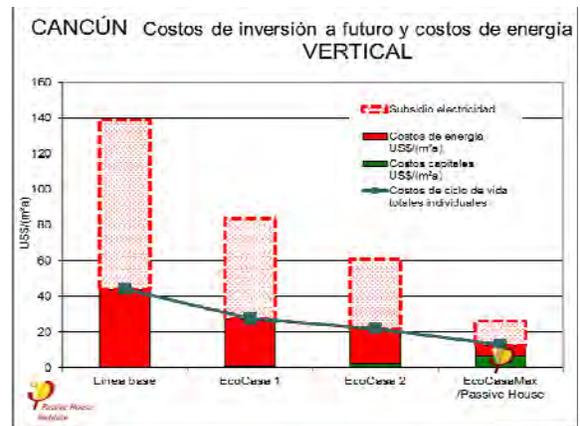


**Figura 21c: Demandas específicas de energía para el tipo de construcción Aislada en Cancún.**  
Fuente: Passive House Institute

En las figuras 21a a 21c, se presentan los resultados en términos de eficiencia energética de los diferentes casos de construcción, desde la línea base hasta la Casa Pasiva/EcoCasaMax, para todos los tipos de construcción analizados. Nótese que en este clima tropical, las temperaturas promedio anuales, son tan altas, que, para poder mantener una temperatura máxima interior de 25°C, es necesario enfriar activamente, lo cual tiene una influencia directa sobre la demanda de energía de refrigeración de la edificación. El criterio de Certificación como Casa Pasiva, establece que una edificación no debe exceder un máximo de demanda de energía para refrigeración de 15 kWh/(m²a), o que la construcción tenga una carga de refrigeración de 10 W/m² o menos. Además, estudios recientes llevados a cabo por el Passive House Institute, establecen que, aún en el último de los casos, la demanda de energía para la deshumidificación, debe limitarse a un valor dependiente del clima para que pueda seguir siendo económica (ver [Schnieders et al. 2012]). Esto se puede observar en el caso de la Casa Pasiva.



**Figura 22a: Costos de inversión y de energía actuales del tipo**



**Figura 22b: Costos de inversión y de energía a futuro de la**

de construcción Vertical, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Cancún.  
Fuente: Passive House Institute

construcción tipo Vertical, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Cancún.  
Fuente: Passive House Institute

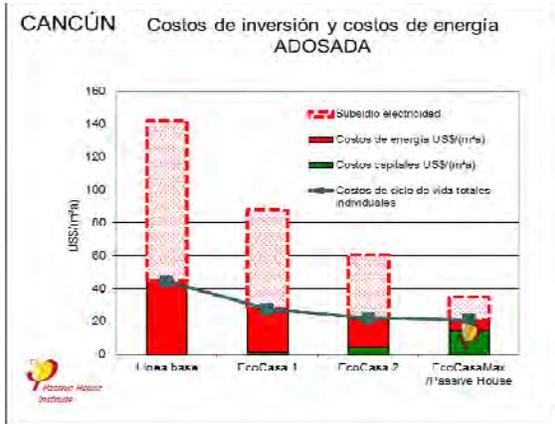


Figura 23a: Costos de inversión y de energía actuales para el tipo de construcción Adosada, comparados desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Cancún.  
Fuente: Passive House Institute

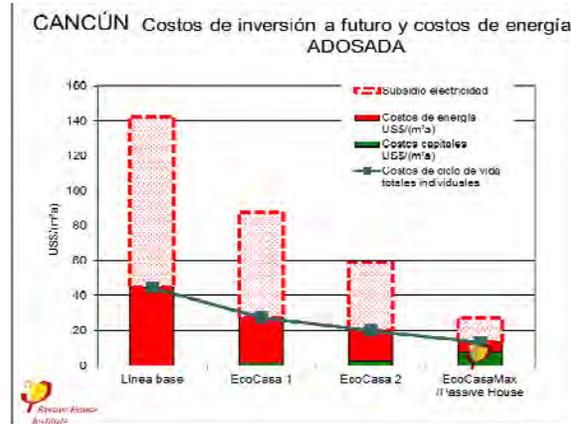


Figura 23b: Costos de inversión y de energía a futuro para el tipo de construcción Adosada, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Cancún.  
Fuente: Passive House Institute

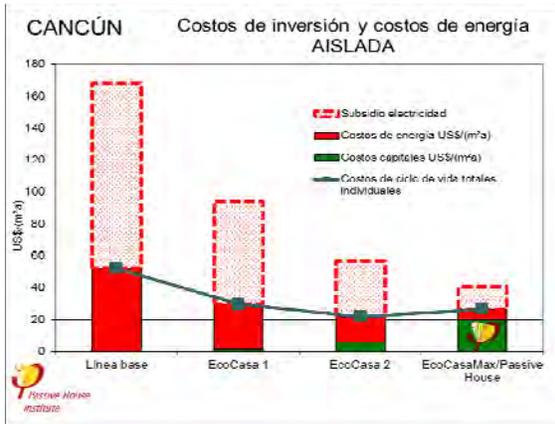


Figura 24a: Costos de inversión y de energía actuales para la construcción tipo Aislada, comparados desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Cancún. Fuente: Passive House Institute

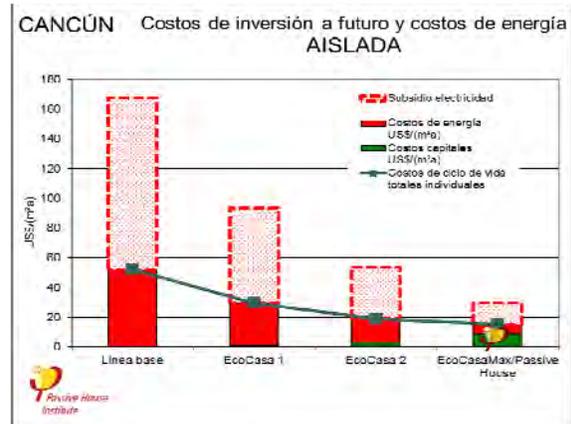
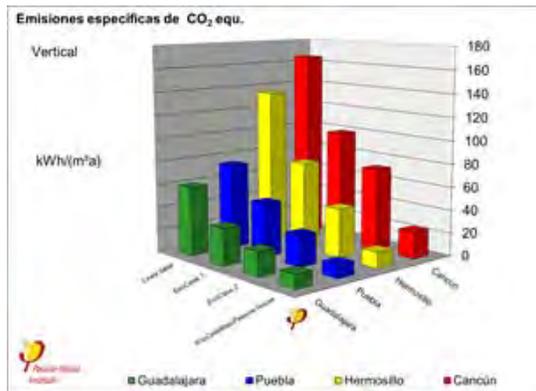


Figura 24b: Costos de inversión y de energía a futuro para el tipo de construcción Aislada, comparados, desde la línea base hasta la Casa Pasiva en Cancún. Fuente: Passive House Institute

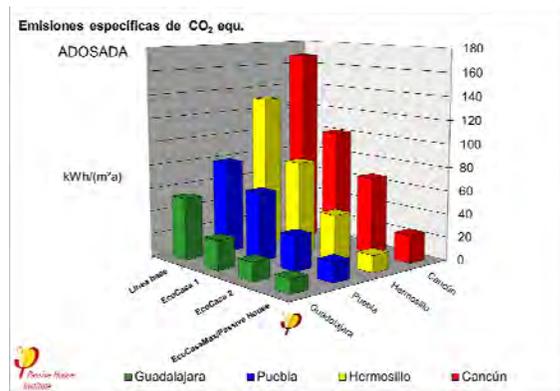
Las figuras 22a a la 24b, muestran el análisis de los costos actuales y futuros para los diferentes casos de eficiencia energética, basados en un lapso de vida de 30 años. Como ya se ha observado en otros sitios, especialmente en los más cálidos, el caso de la Casa Pasiva/EcoCasaMax, ya es la solución más costo-efectiva, durante un lapso de vida de 30 años, tomando en cuenta los precios de mercado actuales. Un aumento en los costos de inversión, que implicaría un aumento en la inversión inicial de medidas de eficiencia energética, permite una dramática reducción en los costos de energía. Además, al convertir a la edificación en menos dependiente de las fluctuaciones de los precios de la energía, Casa Pasiva también proporciona el mejor concepto en términos de los costos generales del ciclo de vida.

**5.5. Resumen: La eficiencia energética, la reducción de CO<sub>2</sub> y los costos del ciclo de vida para todos los tipos de construcción y climas**

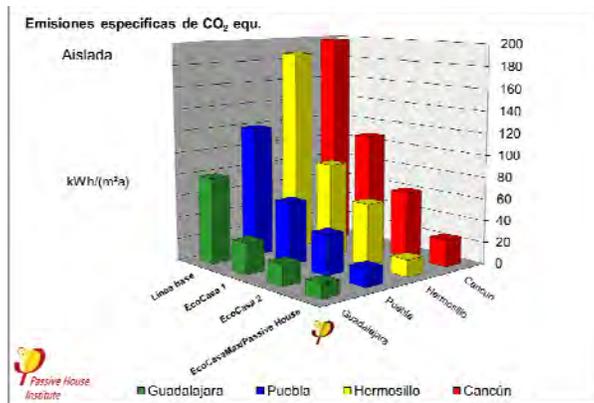
La meta de la NAMA, en cuanto a la Vivienda Sustentable en México, es la de promover conceptos de construcción costo-efectivos y eficientes en cuanto a energía, a través del sector de vivienda, con un enfoque, en particular, sobre la vivienda para bajos ingresos, aplicado a través del ‘enfoque global de la vivienda’, que involucra la asignación y el monitoreo de los valores para la demanda de energía primaria total de una edificación, en vez de enfocarse en el desempeño de tecnologías, o soluciones, energía-eficientes individuales. Por consiguiente, el objetivo final es la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> que provengan de nuevas edificaciones residenciales. Las figuras 25a a 25c ilustran los diferentes niveles de eficiencia energética, así como sus correspondientes emisiones específicas para los tipos de construcción analizados en cuatro diferentes zonas climáticas de este estudio.



**Figura 25a:** emisiones específicas de CO<sub>2</sub> para los diferentes niveles de eficiencia de NAMA en los diferentes sitios, tipo de construcción Vertical.  
Fuente: Passive House Institute



**Figura 25b:** emisiones específicas de CO<sub>2</sub> para los diferentes niveles de eficiencia de NAMA en los diferentes sitios, tipo de construcción Adosada.  
Fuente: Passive House Institute



**Figura 25c:** emisiones específicas de CO<sub>2</sub> para los diferentes niveles de eficiencia de NAMA en los diferentes sitios, tipo de construcción Aislada.

Fuente: Passive House Institute

Las siguientes gráficas proporcionan una comparación de los aspectos económicos de la NAMA. Las figuras 26a a 26c, comparan los costos de inversión adicionales, tanto para el costo actual como para el futuro, para todos los niveles de eficiencia energética de las construcciones analizadas. Como puede observarse, los costos de inversión adicional para el caso Casa Pasiva/EcoCasaMax, siempre son marcadamente más altos, especialmente en sitios cálidos. No obstante, los ahorros estimados en costos de energía (figuras 27a a 27c) y costos de ciclo de vida (figuras 28a a 28c) demuestran que una alta eficiencia energética en un proyecto de vivienda, a la larga, trae consigo mayores ahorros, haciendo que Casa Pasiva/EcoCasaMax, sea la mejor inversión desde el punto de vista económico. Los casos de EcoCasa 1 y EcoCasa 2 también establecen que, mayores costos de inversión en medidas de eficiencia energética, se traducen en menores costos de energía y de ciclo de vida.

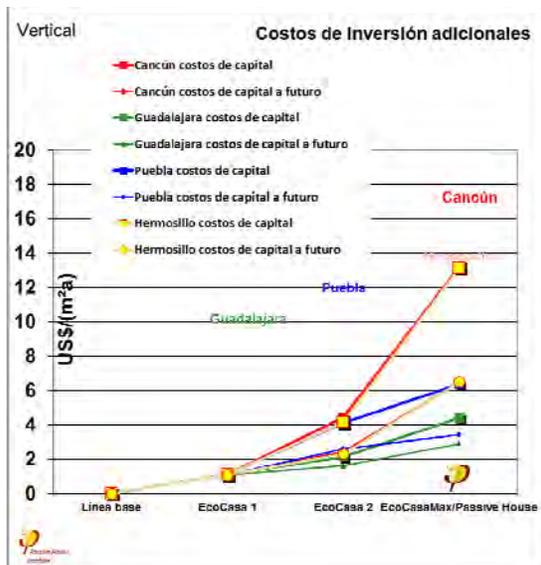


Figura 26a: Costos estimados de inversión adicional, tanto actuales como a futuro, para todos los niveles de eficiencia energética, para el tipo de construcción Vertical. Fuente: Passive House Institute

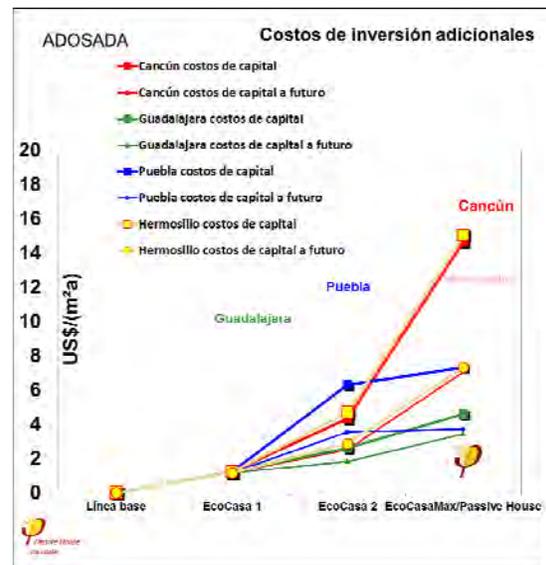


Figura 26b: Costos estimados de inversión adicional, tanto actuales como a futuro, para todos los niveles de eficiencia energética, para el tipo de construcción Adosada. Fuente: Passive House Institute

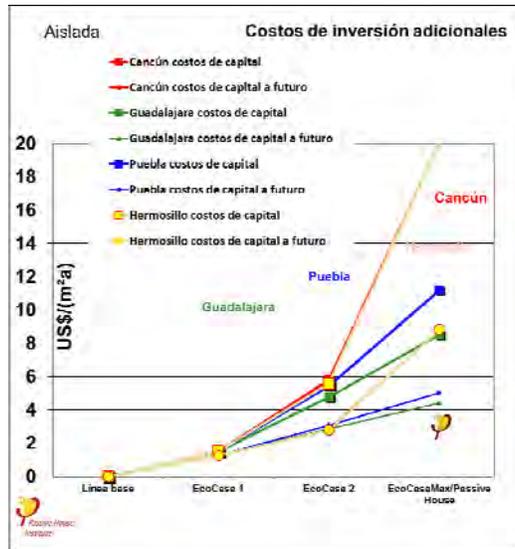


Figura 26c: Costos estimados de inversión adicional, tanto actuales como a futuro, para todos los niveles de eficiencia energética, para el tipo de construcción Aislada. Fuente: Passive House Institute

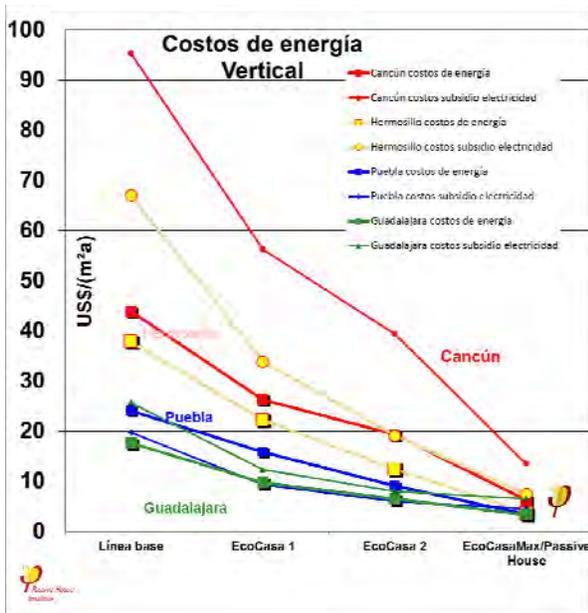


Figura 27a: Costos estimados de energía para todos los niveles de eficiencia energética para el tipo de construcción Vertical. Fuente: Passive House Institute

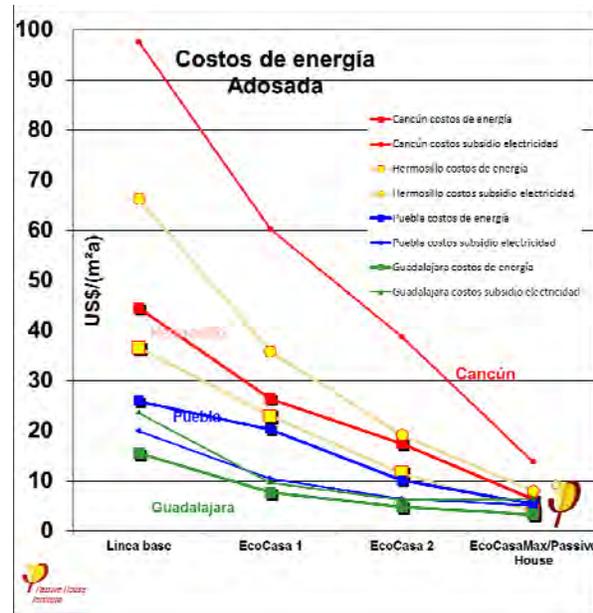


Figura 27b: Costos estimados de energía para todos los niveles de eficiencia energética, para el tipo de construcción Adosada. Fuente: Passive House Institute

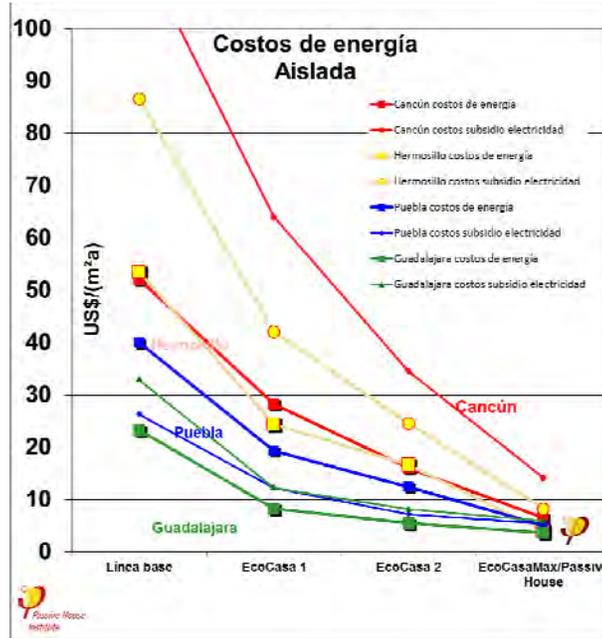


Figura 27c: Costos estimados de energía para todos los niveles de eficiencia energética para el tipo de construcción Aislada. Fuente: Passive House Institute

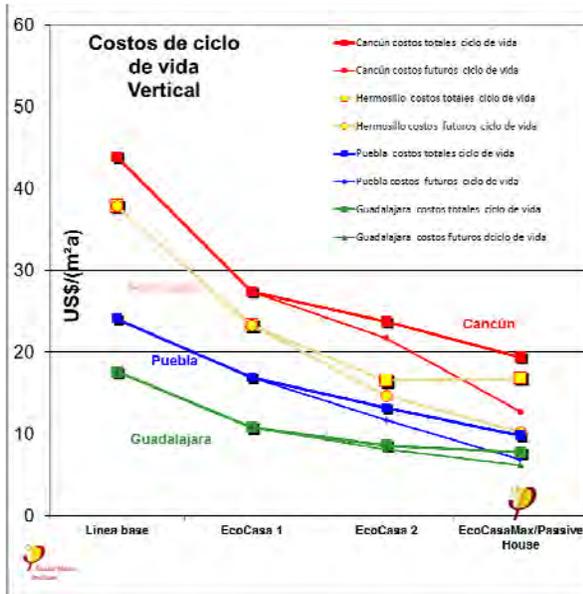


Figura 28a: Costos estimados de ciclo de vida para todos los niveles de eficiencia energética para el tipo de construcción Vertical. Fuente: Passive House Institute

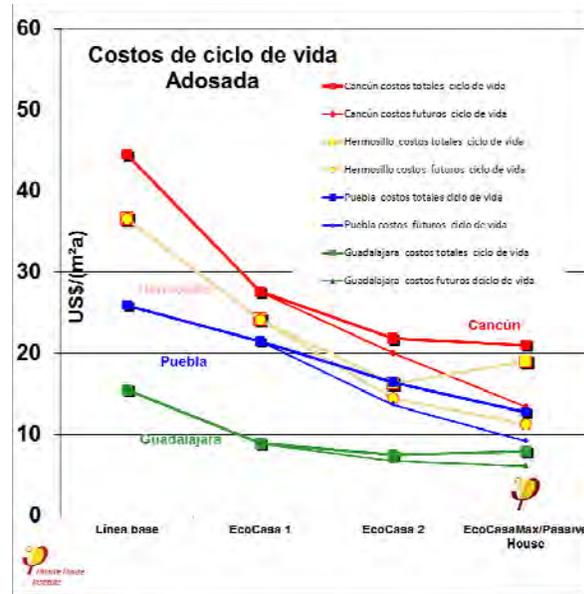


Figura 28b: Costos estimados de ciclo de vida para todos los niveles de eficiencia energética para el tipo de construcción Adosada. Fuente: Passive House Institute

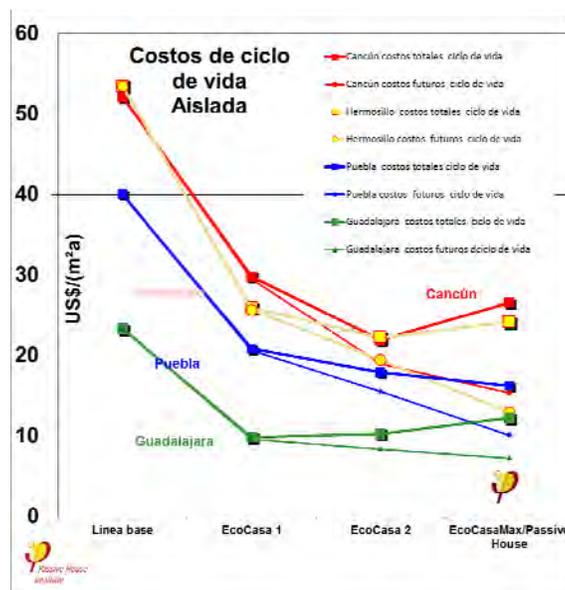


Figura 28c: Costos estimados de ciclo de vida para todos los niveles de eficiencia energética para el tipo de construcción Aislada. Fuente: Passive House Institute

### 5.6 Costos de abatimiento de CO<sub>2</sub>

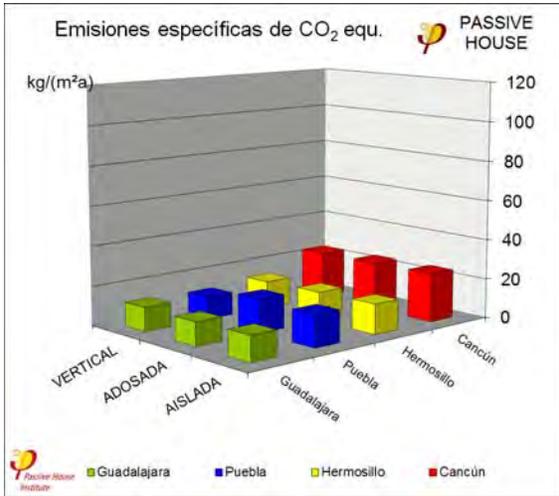
La tabla 6, muestra los ahorros de CO<sub>2</sub>, para todos los tipos de construcción, por unidad.

Tabla 6: Panorama general de los ahorros anuales de CO<sub>2</sub>

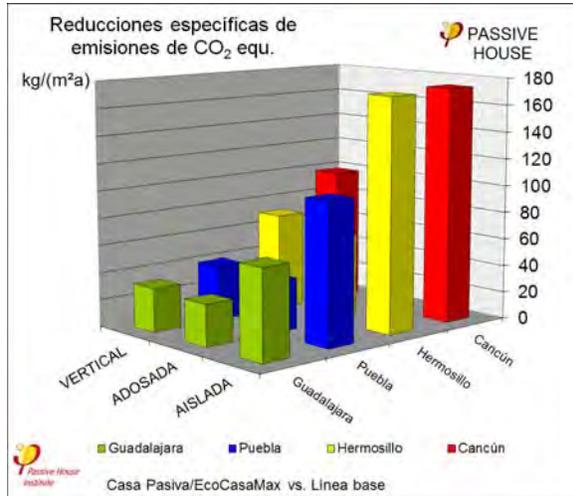
Aislada	Hermosillo	Cancún	Guadalajara	Puebla
<i>Ahorros por unidad</i>	<i>t/a</i>	<i>t/a</i>	<i>t/a</i>	<i>t/a</i>
Línea base	0.0	0.0	0.0	0.0
EcoCasa 1	0.5	0.7	0.9	-0.2
EcoCasa 2	1.6	2.5	1.3	0.6
Casa Pasiva/EcoCasaMax	3.2	3.9	1.5	1.4
<b>Adosada</b>	<b>Hermosillo</b>	<b>Cancún</b>	<b>Guadalajara</b>	<b>Puebla</b>
<i>Ahorros por unidad</i>	<i>t/a</i>	<i>t/a</i>	<i>t/a</i>	<i>t/a</i>
Línea base	0.0	0.0	0.0	0.0
EcoCasa 1	-0.1	0.7	0.7	-0.2
EcoCasa 2	1.5	2.1	1.1	1.0
Casa Pasiva/EcoCasaMax	2.5	3.8	1.3	1.5
<b>Vertical</b>	<b>Hermosillo</b>	<b>Cancún</b>	<b>Guadalajara</b>	<b>Puebla</b>
<i>Ahorros por unidad</i>	<i>t/a</i>	<i>t/a</i>	<i>t/a</i>	<i>t/a</i>
Línea base	0.0	0.0	0.0	0.0
EcoCasa 1	0.4	0.9	0.5	0.2
EcoCasa 2	1.7	2.1	0.9	1.0

<b>Casa Pasiva/EcoCasaMax</b>	<b>2.9</b>	<b>4.0</b>	<b>1.3</b>	<b>1.6</b>
-------------------------------	------------	------------	------------	------------

Resumen para Casas Pasivas:

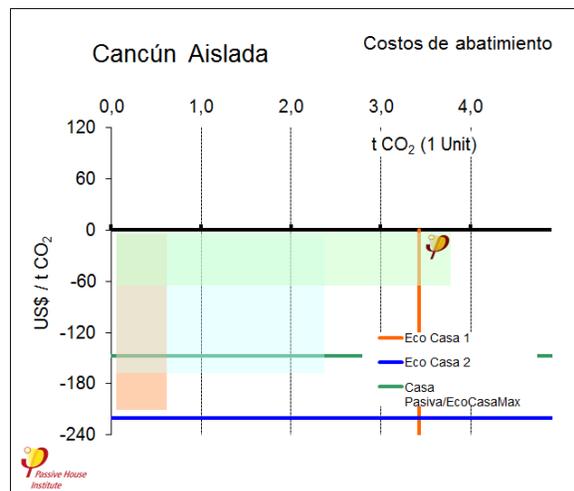
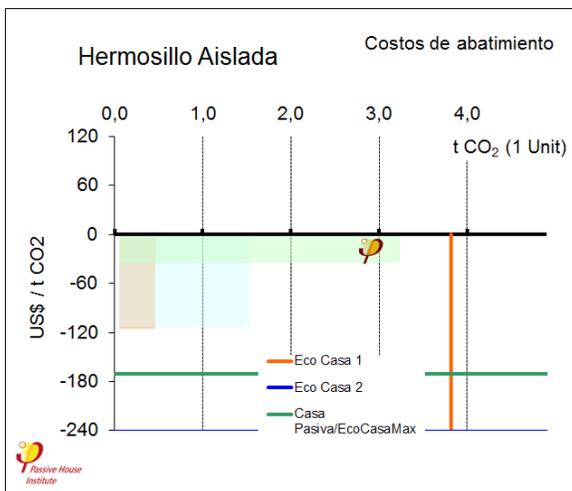


**Figura 29a: Casa Pasiva/EcoCasaMax en diferentes zonas climáticas: Ahorros de emisiones de CO<sub>2</sub> vs. Línea base.**  
Fuente: Passive House Institute

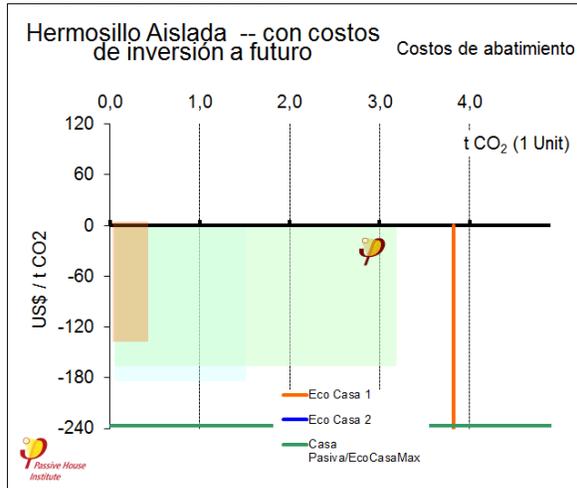


**Figura 29b: Casa Pasiva/EcoCasaMax en diferentes zonas climáticas: emisiones específicas de CO<sub>2</sub>.**  
Fuente: Passive House Institute

Los costos de abatimiento de CO<sub>2</sub>, para construcciones individuales, se calcularon a partir de estos datos. Como ya se mostró anteriormente, normalmente los costos de ciclo de vida, en todos los casos, son más bajos que en la línea base. De aquí que, los costos de abatimiento sean negativos. Las figuras 30a a 31b, muestran ejemplos de 2 climas, con costos de inversión actuales y costos de inversión a futuro, después de la implementación de los diferentes casos de eficiencia energética en el mercado mexicano. El cálculo se basa en los costos individuales, sin considerar los subsidios a la energía.

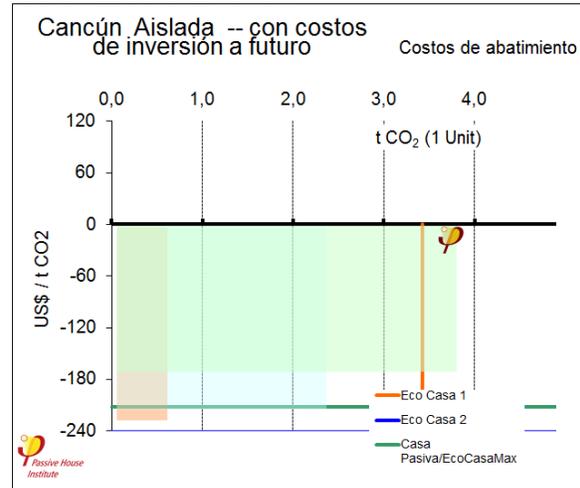


**Figura 30a: Costos de abatimiento de CO<sub>2</sub> (únicamente costos individuales) en Hermosillo, vs. Línea base.**  
**Fuente: Passive House Institute**



**Figura 31a : Costos futuros de abatimiento de CO<sub>2</sub> en Hermosillo, vs. Línea base.**  
**Fuente: Passive House Institute**

**Figura 30b: Costos de abatimiento de CO<sub>2</sub> (únicamente costos individuales) en Cancún, vs. Línea base.**  
**Fuente: Passive House Institute**

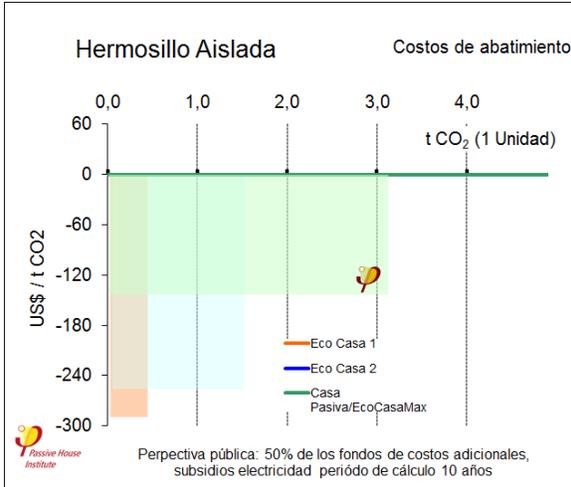


**Figura 31b: Costos futuros de abatimiento de CO<sub>2</sub> en Cancún, vs. Línea base.**  
**Fuente: Passive House Institute**

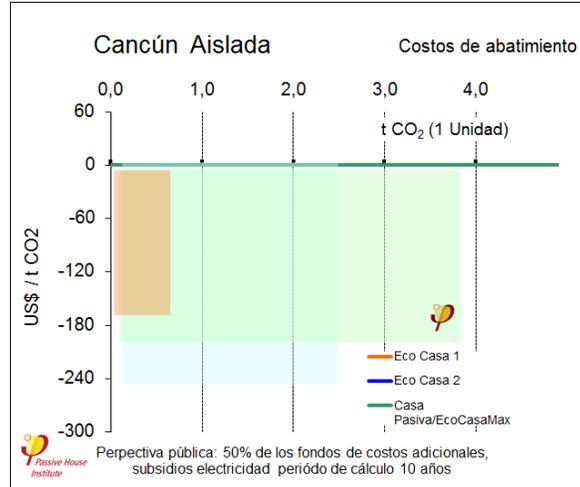
En las figuras 30a a 31b, sólo se muestra la perspectiva individual: en forma especial, no se consideran los subsidios a la energía.

**Costos de abatimiento: perspectiva pública**

Desde el punto de vista del estado, los subsidios se pagan a sí mismos como una consecuencia de los subsidios de la energía ahorrada. Los supuestos para las siguientes figuras (32a y 32b) son: condiciones limites, al igual que antes, con un período de cálculo de 10 años. Se asume que el 50% de los costos de inversión adicional (precios actuales) es otorgado como un subsidio del estado. El ingreso del estado es el subsidio ahorrado. No se consideraron ni el retorno adicional ocasionado por los efectos sobre el mercado laboral, ni los gastos sociales ahorrados, ni los impuestos sobre la renta ahorrados, ya que no había disponibilidad de datos.



**Figura 32a Costos de abatimiento de CO<sub>2</sub> (perspectiva pública) en Hermosillo, vs. Línea base.**  
Fuente: Passive House Institute



**Figura 32b: Costos de abatimiento de CO<sub>2</sub> (perspectiva pública) en Cancún, vs. Línea base.**  
Fuente: Passive House Institute

En general, los costos de abatimiento para la implementación del escenario del tipo de construcción Vertical, son más favorable que los de los otros dos tipos de construcción, siendo el de la construcción Aislada, el menos favorable.

## 6. Consideraciones arquitectónicas y urbanas adicionales

El objetivo de la optimización energética de los proyectos de vivienda en México, no sólo requiere de un análisis del balance energético de los tipos de construcción típicos, sino también de un análisis ulterior de las consideraciones de diseño urbanas y arquitectónicas. Una perspectiva holística, donde se combine la eficiencia energética de las construcciones, con las consideraciones de planificación urbana, conlleva a una situación de ganar-ganar, en términos de reducciones de costo y ahorros de CO<sub>2</sub>. Los siguientes aspectos arquitectónicos y urbanos son altamente recomendados para poder optimizar, aún más, los resultados de la NAMA.

### 6.1. Optimización de los tipos de construcción

Para las viviendas de la NAMA (aproximadamente 40 m<sup>2</sup> por unidad), se analizaron la casa tipo “Aislada” (unidad de vivienda aislada), la “Adosada” (unidad de viviendas en fila), junto con la “Vertical” (vivienda de pisos múltiples, consistiendo de seis pisos, cada uno de ellos con dos departamentos de 40 m<sup>2</sup>). Los resultados muestran que la mejora de la eficiencia energética de unidades uni-familiares, tales como los actuales diseños para la Aislada y la Adosada, requiere de niveles muy altos de aislamiento (30 cm más en climas extremadamente altos como el de Hermosillo y Cancún), para compensar cargas solares excesivas a través de las ventanas y el diseño significativamente menos compacto.

El diseño de construcción compacta es una medida clave que puede expresarse en la relación área-volumen

(A/V): la relación A/V de las construcciones actuales Aislada y Adosada es de 0.9-1.2, cuando las construcciones Verticales son, aproximadamente, tres veces más compactas, con una relación A/V de 0.3. Esto explica el por qué la unidad de construcción Vertical logra el mismo rendimiento de alta energía, con un marcado menor aislamiento que el de los tipos de construcción Aislada y Adosada.

De aquí que se pueda concluir que un diseño de construcción compacta prueba ser un factor altamente significativo en términos del desempeño energético de la edificación y que debe optimizarse primero, antes de aplicar medidas de eficiencia energéticas, tales como el aislamiento. Si se combina una relación A/V favorable con una orientación y tamaño de las ventanas optimizados, se pueden lograr, más fácilmente, beneficios, tanto financieros como energéticos. Además, un menor aislamiento también significa ahorros de energía en términos de la producción de los materiales y de su instalación. Con la mira de tomar ventaja de los potenciales de la optimización de la eficiencia energética en el mercado mexicano, debería analizarse el diseño de tipos de construcción de unidades en "L", así como de dos y cuatro pisos.

## **6.2. Consideraciones de planificación urbana**

Los siguientes dos puntos representan las consideraciones de desarrollo urbano y de diseño arquitectónico que tienen un impacto directo en la eficiencia energética de una construcción.

### **a) Reducciones de emisiones y una alta calidad de vida en asentamientos compactos**

Las unidades de vivienda Vertical no sólo prueban ser más eficientes en términos del rendimiento de la construcción misma, sino que también permiten asentamientos urbanos cerca del centro de las ciudades, evitando así la expansión de la mancha urbana. Esto se deriva del supuesto de que, una construcción compacta de pisos múltiples, utiliza menos terreno para proporcionar vivienda a un mayor número de familias, mientras que un asentamiento con unidades habitacionales aisladas o adosadas ocupan más terreno. La expansión de la mancha urbana tiene muchos impactos negativos, tales como la pérdida y/o degradación de las áreas verdes, así como mayores emisiones de gases de efecto invernadero debido a las mayores necesidades de transporte de los habitantes.

Además, se aumenta la eficiencia de la infraestructura, tal como la del servicio postal, las ambulancias, la policía, el manejo de residuos y las conexiones al agua, la electricidad, suministro de energía y caminos, ya que se puede proporcionar dicha infraestructura más fácil y rápidamente a menores costos para el gobierno. Todo esto tiene un impacto directo en la mejora de la calidad de vida de los habitantes, reduciendo la necesidad de transporte individual. Estos efectos, consecuentemente reducen las emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que el acceso y el uso de

transporte alternativo, como caminar y el uso de bicicletas, es más viable.

#### **b) Reducción del sellado de los suelos por medio de asentamientos compactos**

Si se tienen que construir caminos asfaltados para proporcionar acceso a cada una de las casas aisladas en un fraccionamiento y no se instalan techos verdes, la lluvia tiene menos posibilidades de filtrarse dentro del suelo. Esto, a su vez, puede tener un impacto negativo sobre el manto freático y aumentar el riesgo de daños por agua/inundaciones. Los asentamientos compactos evitan estos problemas, permitiendo mayores oportunidades para el desarrollo de áreas verdes. Dichas áreas pueden contribuir al secuestro de carbono, pudiendo también mejorar la calidad de vida proporcionando oportunidades recreativas. Es más, tanto la reducción de pérdida de tierras y/o su degradación, así como las menores demandas de bombeo de agua, se traducen, directamente, en ahorros de energía.

También existen claros beneficios para los asentamientos ubicados en áreas sujetas a inundaciones, mientras que las casas aisladas o adosadas tienen un mayor riesgo. Además, la planificación urbana compacta reduce el efecto de la isla de calor, lo cual también tiene un impacto en el desempeño energético, ya que aumenta la demanda de refrigeración de la construcción.

### **6.3. Consideraciones normativas**

Para poder determinar la viabilidad de compactación de los asentamientos urbanos, deben investigarse, aún más, las medidas de planificación urbana y la normatividad apropiada a aplicarse en México. Así mismo, se requiere de mayor investigación en cuanto a las relaciones entre la compactación de la edificación, la densidad de vivienda, el sombreado potencial, los tipos de construcción y la eficiencia energética de las construcciones.

La validez de este estudio se refiere a los diseños de construcción típicos para los asentamientos de INFONAVIT. Sin embargo, la realidad del sector de construcción mexicano es mucho más amplia e incluye la construcción informal que muchas veces ignora las regulaciones urbanas y de construcción. Los ahorros de energía que se logran a través del concepto presentado en la NAMA sólo abordan una parte del sector de la vivienda en México. Es aconsejable que se lleve a cabo investigación ulterior, en paralelo con la NAMA, con el propósito de desarrollar planes para influenciar la eficiencia energética de las construcciones informales.

## **7. Conclusiones**

La evaluación llevada a cabo para el documento de la NAMA proporciona varios escenarios de eficiencia energética que pueden dar soporte a la realización de proyectos de vivienda social eficientes, a corto, mediano y largo plazo en México. Adaptados a las condiciones de clima locales y a las prácticas de construcción, los resultados que aquí se presentan muestran que sí es posible lograr diferentes estándares de eficiencia,

incluyendo el Estándar de la Casa Pasiva, con la ayuda de PHPP como una herramienta de cálculo en una variedad de climas mexicanos.

No obstante, todos los tipos de construcción de este estudio fueron tomados tal y como estaban en el proyecto original, sin cambio alguno en cuanto a su diseño más que la aplicación de medidas de energía (aislamiento, hermeticidad al aire, valores-U mejorados para las ventanas y puertas, la adición de un sistema de ventilación etc.). Esto se realizó con el fin de simplificar la comparación de los diferentes niveles de eficiencia energética. Para acompañar la implementación de la NAMA, sería altamente recomendable contar con un diseño urbano, así como un diseño de construcción, adaptados a las condiciones climáticas. No se efectuaron cambios ni a la orientación, ni al tamaño de las ventanas y no se utilizó sombreado adicional vía toldos en el techo, o doseles. Esto dio como resultado altos niveles de aislamiento para compensar los actuales diseños de construcción. La optimización de los diseños de edificación dará, como resultado, reducciones de costo, simplificando, al mismo tiempo, las medidas necesarias para lograr estándares de una más alta eficiencia.

También debería notarse que, para el análisis económico de este estudio, sólo se tomaron en cuenta los costos de energía individuales, a pesar de los bajos niveles de los precios de energía, consecuencia de los altos subsidios. Casa Pasiva es el estándar de costo óptimo con respecto a los costos de ciclo de vida. Así mismo y desde el punto de vista macro-económico, Casa Pasiva reduce los costos de los subsidios de energía. Los incentivos para Casa Pasiva se pagan fácilmente a sí mismos, gracias a los subsidios que se ahorran.

Otro hallazgo importante del análisis de costos es que los costos de abatimiento del CO<sub>2</sub>, casi siempre son negativos. Esto significa que, los costos de inversión adicionales para mejorar la construcción de línea base, para alcanzar los diferentes casos de eficiencia energética (EcoCasa 1, EcoCasa 2, Casa Pasiva/EcoCasaMax), son más bajos que el costo de las emisiones de CO<sub>2</sub> en sí mismas. De hecho, el caso de la Casa Pasiva/EcoCasaMax, presenta las mayores reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub>, con costos de abatimiento negativos. Esto fue de una relevancia particular para las metas de la NAMA, que están directamente relacionadas con las reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub>.

En cuanto a las medidas directas, enlistadas en la NAMA, en la primera etapa se espera que la construcción de los proyectos guía de Casa Pasiva, ayuden a analizar la aplicación de las mejores prácticas de eficiencia energética en edificaciones; los casos intermedios, EcoCasa 1 y EcoCasa 2 pueden implementarse para fijar metas mínimas de energía, mejorar el balance de CO<sub>2</sub> y pavimentar el camino para la introducción en el mercado de componentes altamente eficientes así como el Estándar de Casa Pasiva.

## 8. Bibliografía

- [Campos 2011] Campos, Liliana *Optimización de la Eficiencia Energética en Viviendas de Interés Social* GIZ-INFONAVIT 2011
- [CONAVI 2008] CONAVI *Criterios e indicadores para desarrollos habitacionales sustentables. CONAVI 1ª Edición México, D.F. 2008 P.21*
- [CONAVI, SEMARNAT 2011] CONAVI, SEMARNAT. *NAMA for Sustainable Housing in Mexico - Mitigation Actions and Financing Packages*. Mexico City 2011  
*(NAMA Apoyada para la Vivienda Sustentable en México – Acciones de Mitigación y Paquetes de Financiamiento, Ciudad de México 2011)*
- [Enerdata et al. 2011] Enerdata and the Economist Intelligence Unit *Trends in global energy efficiency. Country reports. Mexico. January 2011/2012*  
*(Enerdata y la Unidad de Inteligencia Economista. Tendencias dentro de la eficiencia energética global. Reportes por país, México. Enero 2011/2012)*
- [Feist 2011] Feist, W. (ed.): *Proceedings of the 15th International Passive HouseConference in Innsbruck/Austria 2011*. University of Innsbruck/Passive House Institute, Darmstadt/ Innsbruck 2011  
*([Feist, W. (ed.): Memorias de la 15ava Conferencia Internacional sobre Casa Pasiva en Innsbruck/Austria 2011. Universidad de Innsbruck/Passive House Institute Darmstadt/Innsbruck 2011)*
- [Infonavit 2011a] INFONAVIT *Evaluación y Mediciones del Impacto de las Ecotecnologías en la Vivienda*. INFONAVIT México, D.F. 2011 (p.36)
- [Infonavit 2011b] Infonavit *Manual Explicativo de la Hipoteca Verde*. INFONAVIT Julio 2011 P.12
- [Luz y fuerza, n.d.] Luz y fuerza *Valores promedio de consumo en electrodomésticos*



---

(n.d.)

[NOM 020] Secretaría de Energía: *Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011 Eficiencia energética en edificaciones. – Envoltante de edificios para uso habitacional*. Diario Oficial México 2011

[PHPP] The Passive House Planning Package, Version 2007, Version 6.1. (2012) Passive House Institute, Darmstadt /Germany, 1998 – 2012

(El Paquete de Planificación Passivhaus, Versión 2007, Versión 6.1 (2012) Passive House Institute, Darmstadt/Alemania, 1998-2012)

[Schnieders et al. 2012] Schnieders, Feist, Schulz, Rongen, Wirtz, et al., *Passive House for different climate zones*, Passive House Institute, Darmstadt, Germany, 2012

(Schnieders, Feist, Schulz, Rongen, Wirts et al. *Casa Pasiva para diferentes zonas climáticas*, Passive House Institute, Darmstadt, Alemania, 2012)

[SENER 2011] SENER *Indicadores de Eficiencia Energética* SENER México, D.F. 2011 p.95

Anexo I. Tablas de resultados detallados

VERTICAL

Occupation: 2 persons/unit**		13,3 \$MXP/\$US																	
<b>Vertical</b>		EXTREME HOT DRY				TEMPERATE				TEMPERATE COLD				EXTREME HOT HUMID					
Climate data		Vertical BaseLine Hemosillo	Vertical EcoCasa 1 Hemosillo	Vertical EcoCasa 2 Hemosillo	Vertical Passive House Hemosillo	Vertical BaseLine Guadalajara	Vertical EcoCasa 1 Guadalajara	Vertical EcoCasa 2 Guadalajara	Vertical Passive House Guadalajara	Vertical Passive House Plus Guadalajara	Vertical BaseLine Puebla	Vertical EcoCasa 1 Puebla	Vertical EcoCasa 2 Puebla	Vertical Passive House Puebla	Vertical Passive House Plus Puebla	Vertical BaseLine Cancun	Vertical EcoCasa 1 Cancun	Vertical EcoCasa 2 Cancun	Vertical Passive House Cancun
Multistory building. 6 floors, 2 apartments per floor. 489,96 TFA																			
Specific Space Heating Demand	kWh/(m²a)	43	41	12	1	17	11	2	2	0	84	67	26	7	1	0	0	0	0
Specific Useful Cooling Energy Demand:	kWh/(m²a)	291	188	105	15	73	43	25	18	4	33	16	5	3	1	359	224	141	38
Specific Dehumidification Demand:	kWh/(m²a)	70	36	13	0	4	1	1	0	0	1	0	0	0	0	192	189	148	31
Cooling load	W/m²	131	99	54	15	16	8	6	4	0	0	0	0	0	62	43	24	7	
Specific Primary Energy Demand (Indoor temp. 20°C-25°C)	kWh/(m²a)	606	339	190	62	266	141	94	55	39	318	198	116	50	40	755	450	324	106
Specific Emissions CO2-Equivalent (Indoor temp. 20°C-25°C)	kg/(m²a)	134	76	43	14	60	32	21	12	9	74	47	27	11	9	165	98	71	23
Additional Investment costs (entire building)	\$ US	\$ -	\$ 12.126	\$ 45.605	\$ 144.088	\$ -	\$ 12.126	\$ 23.531	\$ 48.392	\$ 69.163	\$ -	\$ 12.126	\$ 45.234	\$ 70.084	\$ 102.678	\$ -	\$ 12.126	\$ 48.718	\$ 144.899
Future additional Investment costs (entire building)	\$ US	\$ -	\$ 11.862	\$ 25.344	\$ 71.416	\$ -	\$ 11.862	\$ 17.823	\$ 31.832	\$ 37.114	\$ -	\$ 11.862	\$ 28.674	\$ 37.689	\$ 48.506	\$ -	\$ 11.862	\$ 26.841	\$ 71.686
Additional costs per dwelling unit (current costs)	\$ US	\$ -	\$ 1.011	\$ 3.800	\$ 12.007	\$ -	\$ 1.011	\$ 1.961	\$ 4.033	\$ 5.764	\$ -	\$ 1.011	\$ 3.769	\$ 5.840	\$ 8.556	\$ -	\$ 1.011	\$ 4.060	\$ 12.075
Additional costs per dwelling unit (future costs)	\$ US	\$ -	\$ 988	\$ 2.112	\$ 5.951	\$ -	\$ 988	\$ 1.485	\$ 2.653	\$ 3.093	\$ -	\$ 988	\$ 2.390	\$ 3.141	\$ 4.042	\$ -	\$ 988	\$ 2.237	\$ 5.974
Life Cycle Costs (energy&additional capital costs)	\$ US/(m²a)	\$ 38	\$ 23	\$ 17	\$ 17	\$ 18	\$ 11	\$ 9	\$ 8	\$ 9	\$ 24	\$ 17	\$ 13	\$ 10	\$ 12	\$ 44	\$ 27	\$ 24	\$ 19
Life Cycle Costs (Basis future investment costs)	\$ US/(m²a)	\$ 38	\$ 23	\$ 15	\$ 10	\$ 18	\$ 11	\$ 8	\$ 6	\$ 6	\$ 24	\$ 17	\$ 12	\$ 7	\$ 7	\$ 44	\$ 27	\$ 22	\$ 13
Wall /Roof insulation	mm	0 / 0	0 / 0	25 / 25	100 / 50	0 / 0	0 / 0	25 / 25	25 / 25	50 / 25	0 / 0	0 / 0	25 / 25	50 / 25	175 / 125	0 / 0	0 / 0	50 / 50	100 / 100
Floor slab insulation	mm	0	0	25	75	0	0	0	0	0	0	0	0	25	125	0	0	50	100
Exterior surface absorption coefficient (exterior walls)	-	Colour paint	White paint	White paint	Cool colours	Colour paint	Colour paint	Colour paint	Colour paint	White paint	Colour paint	Colour paint	Colour paint	Colour paint	White paint	Colour paint	White paint	White paint	Cool colours
<b>WINDOWS</b>																			
Window frame: Uf-value	W/(m²K)	5,5	5,5	1,8	0,72	5,5	5,5	5,5	5,5	1,8	5,5	5,5	5,5	1,8	0,72	5,5	5,5	1,8	0,72
Window glazing: g-value	-	0,87	0,87	0,78	0,33	0,87	0,87	0,87	0,87	0,78	0,87	0,87	0,87	0,78	0,64	0,87	0,87	0,78	0,33
Window glazing: Ug-value	W/(m²K)	5,6	5,6	3	0,6	5,6	5,6	5,6	5,6	3	5,6	5,6	5,6	1,05	0,6	5,6	5,6	3	0,6
Window description		Single glazing, aluminium frame	Single glazing, aluminium frame	Double glazing insulated, pvc frame	Triple glazing sun protection, PVC insulated frame	Single glazing, aluminium frame	Single glazing, aluminium frame	Single glazing, aluminium frame	Single glazing, aluminium frame	Double glazing insulated, pvc frame	Single glazing, aluminium frame	Single glazing, aluminium frame	Single glazing, aluminium frame	Double glazing sun protection	Triple glazing sun protection, PVC insulated frame	Single glazing, aluminium frame	Single glazing, aluminium frame	Double glazing insulated, pvc frame	Triple glazing sun protection, PVC insulated frame
<b>VENTILATION</b>																			
Heat recovery rate	%	0%	0%	0%	90%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	90%
Ventilation type - Pure Extract Air	-	0	0	0	0	0	0	0	x	x	0	0	x	x	x	0	0	0	0
Ventilation type - Balanced PH Ventilation	-	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x
<b>SHADING</b>																			
Reduction factor z for temporary sun protection	%	No additional shading	No additional shading	No additional shading	Additional moveable shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	Additional moveable shading
<b>ELECTRICITY &amp; AUX ELECTRICITY</b>																			
Percentage of CFLs	%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Household appliances (refrigerator, washing machine, microwave oven, consumer electronics and small appliances)		Regular /bad efficiency appliances	Efficient appliances	Highly efficient appliances	Highly efficient appliances	Regular /bad efficiency appliances	Efficient appliances	Highly efficient appliances	Highly efficient appliances	Highly efficient appliances	Regular /bad efficiency appliances	Efficient appliances	Highly efficient appliances	Highly efficient appliances	Highly efficient appliances	Regular /bad efficiency appliances	Efficient appliances	Highly efficient appliances	Highly efficient appliances
Miscellaneous Auxiliary Electricity (ceiling fan)		Ceiling fan				Ceiling fan					Ceiling fan				Ceiling fan				
<b>SUMMER VENTILATION &amp; COOLING UNITS</b>																			
Corresponding air rate for night ventilation (source SummVer)	1/h	0,5	0,5	0,5	2	0,5	0,5	0,5	0,5	2	0,5	0,5	0,5	0	0	0,5	0,5	0	0
Humidity recovery	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	65%
Annual cooling COP		2,5	3,08	3,08	3,08	2,5	3,08	3,08	3,08	0	2,5	3,08	3,08	0	0	2,5	3,08	3,08	3,08
<b>DHW &amp; SOLAR DHW</b>																			
Solar Collector Area	m²	0	10	10	Fully solar	0	10	10	Fully solar	Fully solar	0	10	10	Fully solar	Fully solar	0	10	10	Fully solar

\* This calculation is made with an indoor temperature assumption of between 18°C - 28°C only to calculate CO2 emissions. The rest of the results use a comfort range between 20°C - 25°C.  
 \*\* Although each dwelling unit is thought to be occupied by 4 persons, the value of 2 is taken as an average value, under the assumption that the dwelling unit will not be occupied to its 100% percent capacity all the time, considering a life cycle of 30



**AISLADA**

Occupation: 2 persons/unit**		13,3 \$MXP/\$US																	
<b>Aislada</b>		EXTREME HOT DRY				TEMPERATE				TEMPERATE COLD				EXTREME HOT HUMID					
Isolated housing unit. Smallest building type. 38m² TFA																			
Climate data		Aislada Baseline Hermosillo	Aislada EcoClass 1 Hermosillo	Aislada EcoClass 2 Hermosillo	Aislada Passive House Hermosillo	Aislada Baseline Guadalajara	Aislada EcoClass 1 Guadalajara	Aislada EcoClass 2 Guadalajara	Aislada Passive House Guadalajara	Aislada Baseline Plus Guadalajara	Aislada Baseline Puebla	Aislada EcoClass 1 Puebla	Aislada EcoClass 2 Puebla	Aislada Passive House Puebla	Aislada Baseline Plus Puebla	Aislada Baseline Cancun	Aislada EcoClass 1 Cancun	Aislada EcoClass 2 Cancun	Aislada Passive House Cancun
Specific Space Heating Demand	kWh/(m²a)	102	41	37	2	38	11	2	4	2	187	95	55	15	15	0	0	0	0
Specific Useful Cooling Energy Demand	kWh/(m²a)	408	250	142	15	124	35	18	6	2	72	28	5	1	0	506	306	137	39
Specific Dehumidification Demand	kWh/(m²a)	83	34	14	0	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	189	165	105	30
Cooling load	W/m²	210	131	80	16	23	1	1	0	0	0	0	0	0	95	58	29	8	
Specific Primary Energy Demand (Indoor temp. 20°C-25°C)	kWh/(m²a)	832	387	252	69	348	126	83	58	45	509	244	155	70	70	902	494	275	112
Specific Emissions CO2-Equivalent (Indoor temp. 20°C-25°C)	kg/(m²a)	187	86	57	15	79	28	19	13	10	120	57	37	16	16	198	108	61	25
Additional Investment costs (entire building)	\$ US	\$ -	\$ 1.290	\$ 4.760	\$ 17.110	\$ -	\$ 1.290	\$ 4.065	\$ 7.283	\$ 8.026	\$ -	\$ 1.290	\$ 4.638	\$ 9.547	\$ 12.060	\$ -	\$ 1.290	\$ 4.949	\$ 17.110
Future additional Investment costs (entire building)	\$ US	\$ -	\$ 1.082	\$ 2.377	\$ 7.532	\$ -	\$ 1.082	\$ 2.427	\$ 3.675	\$ 3.772	\$ -	\$ 1.082	\$ 2.618	\$ 4.279	\$ 5.117	\$ -	\$ 1.082	\$ 2.440	\$ 7.532
Additional costs per dwelling unit (current costs)	\$ US	\$ -	\$ 108	\$ 397	\$ 1.426	\$ -	\$ 108	\$ 339	\$ 607	\$ 669	\$ -	\$ 108	\$ 386	\$ 796	\$ 1.005	\$ -	\$ 108	\$ 412	\$ 1.426
Additional costs per dwelling unit (future costs)	\$ US	\$ -	\$ 90	\$ 198	\$ 628	\$ -	\$ 90	\$ 202	\$ 306	\$ 314	\$ -	\$ 90	\$ 218	\$ 357	\$ 426	\$ -	\$ 90	\$ 203	\$ 628
Life Cycle Costs (energy&additional capital costs)	\$ US/(m²a)	\$ 54	\$ 26	\$ 22	\$ 24	\$ 23	\$ 10	\$ 10	\$ 12	\$ 12	\$ 40	\$ 21	\$ 18	\$ 16	\$ 19	\$ 52	\$ 30	\$ 22	\$ 27
Life Cycle Costs (Basis future investment costs)	\$ US/(m²a)	\$ 54	\$ 26	\$ 19	\$ 13	\$ 23	\$ 10	\$ 8	\$ 8	\$ 7	\$ 40	\$ 21	\$ 16	\$ 10	\$ 11	\$ 52	\$ 30	\$ 19	\$ 15
Wall /Roof insulation	mm	0 / 0	0 / 25	25 / 25	250 / 300	0 / 0	0 / 25	25 / 25	50 / 100	100 / 175	0 / 0	0 / 25	50 / 50	150 / 275	300 / 300	0 / 0	0 / 25	25 / 25	250 / 200
Floor slab insulation	mm	0	0	25	125	0	0	0	25	50	0	0	25	125	225	0	0	50	225
Exterior surface absorption coefficient (exterior walls)	-	Colour paint	White paint	White paint	Cool colours	Colour paint	White paint	White paint	White paint	White paint	Colour paint	Colour paint	Colour paint	Colour paint	White paint	Colour paint	White paint	White paint	Cool colours
<b>WINDOWS</b>																			
Window frame: Uf-value	W/(m²K)	5,5	5,5	1,8	0,72	5,5	5,5	5,5	1,8	1,8	5,5	5,5	5,5	1,8	1,8	5,5	5,5	1,8	0,72
Window glazing: g-value	-	0,87	0,87	0,78	0,33	0,87	0,87	0,87	0,78	0,78	0,87	0,87	0,87	0,78	0,78	0,87	0,87	0,33	0,33
Window glazing: Ug-value	W/(m²K)	5,6	5,6	3	0,6	5,6	5,6	5,6	3	3	5,6	5,6	5,6	3	3	5,6	5,6	1,05	0,6
Window description		Single glazing, aluminium frame	Single glazing, aluminium frame	Double glazing, insulated, pvc frame	Triple glazing sun protection, PVC	Single glazing, aluminium frame	Single glazing, aluminium frame	Single glazing, aluminium frame	Double glazing, insulated, pvc frame	Double glazing, insulated, pvc frame	Single glazing, aluminium frame	Single glazing, aluminium frame	Single glazing, aluminium frame	Double glazing, insulated, pvc frame	Double glazing, insulated, pvc frame	Single glazing, aluminium frame	Single glazing, aluminium frame	Double glazing sun protection	Triple glazing sun protection, PVC
<b>VENTILATION</b>																			
Heat recovery rate	%	0%	0%	0%	90%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	92%
Ventilation type - Pure Extract Air	-							x	x	x			x	x	x				
Ventilation type - Balanced PH Ventilation	-				x														x
<b>SHADING</b>																			
Reduction factor z for temporary sun protection	%	No additional shading	No additional shading	No additional shading	Additional moveable shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	No additional shading	Additional moveable shading
<b>ELECTRICITY &amp; AUX ELECTRICITY</b>																			
Percentage of CFLs	v.e. %	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Household appliances (refrigerator, washing machine, microwave oven, consumer electronics and small appliances)		Regular /bad efficiency appliances	Efficient appliances	Highly efficient appliances	Highly efficient appliances	Regular /bad efficiency appliances	Efficient appliances	Highly efficient appliances	Highly efficient appliances	Highly efficient appliances	Highly efficient appliances	Regular /bad efficiency appliances	Efficient appliances	Highly efficient appliances	Highly efficient appliances	Regular /bad efficiency appliances	Efficient appliances	Highly efficient appliances	Highly efficient appliances
Miscellaneous Auxiliary Electricity (ceiling fan)		Ceiling fan				Ceiling fan					Ceiling fan				Ceiling fan				
<b>SUMMER VENTILATION &amp; COOLING UNITS</b>																			
Corresponding air rate for night ventilation (source SummVer)	1/h	0,5	0,5	0,5	2,8	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5	0
Humidity recovery	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	65%
Annual cooling COP		2,5	3,08	3,08	3,08	2,5	3,08	3,08	3,08	0	2,5	3,08	3,08	0	0	2,5	3,08	3,08	3,08
<b>DHW &amp; SOLAR DHW</b>																			
Solar Collector Area	m²	0	1,5	1,5	Fully solar	0	1,5	1,5	Fully solar	Fully solar	0	1,5	1,5	Fully solar	Fully solar	0	1,5	1,5	Fully solar

\* This calculation is made with an indoor temperature assumption of between 18°C - 28°C only to calculate CO2 emissions. The rest of the results use a comfort range between 20°C - 25°C.  
 \*\* Although each dwelling unit is thought to be occupied by 4 persons, the value of 2 is taken as an average value, under the assumption that the dwelling unit will not be occupied to its 100% percent capacity all the time, considering a life cycle of 30

**Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH**

Friedrich-Ebert-Allee 36 + 40  
53113 Bonn/ Alemania  
Telefon: +49 228 44 60-0  
Fax: +49 228 4460-17 66

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5  
65760 Eschborn/ Alemania  
Telefon: +49 6196 79-0  
Fax: +49 6196 79-11 15  
E [info@giz.de](mailto:info@giz.de)  
I [www.giz.de](http://www.giz.de)

**Agencia de la GIZ en México**  
Torre Hemicor, PH  
Av. Insurgentes Sur No. 826  
Col. Del Valle  
C.P. 03100, México D.F.  
T +52 55 55 36 23 44  
E [giz-mexiko@giz.de](mailto:giz-mexiko@giz.de)  
I [www.giz.de/mexico](http://www.giz.de/mexico)

---

---