

# Reducción del Consumo Eléctrico y CO<sub>2</sub> mediante Sistemas de Ahorro y de Aislamiento Térmico aplicados a Viviendas en Zonas Áridas de México

Roberto Calderón<sup>(1)</sup>, Jorge A. Arredondo<sup>(1)</sup>, Ricardo Gallegos<sup>(2)</sup>, Fernando Mayagoitia<sup>(3)</sup>

(1) Programa de Doctorado en Planeación y Desarrollo Sustentable, Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California. Blvd. Benito Juárez s/n, Campus Mexicali, México (e-mail: iluarco69@prodigy.net.mx, eoliks@gmail.com).

(2) Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Blvd. Benito Juárez s/n, Campus Mexicali., México

(3) Lean House, Paseo del Roble # 76, Fracc. Los Pinos, Mexicali, B.C., México.

*Recibido May. 04, 2010; Aceptado Jun. 23, 2010; Versión Final recibida Ago. 04, 2010*

---

## Resumen

Se compara los consumos de energía de dos tipos de vivienda, eficiente e ineficiente, determinando su consumo eléctrico y reducción de CO<sub>2</sub>, utilizando aislamiento térmico y sistemas de ahorro de energía. El estudio realizado mediante simulación se aplica a tres ciudades áridas de México: Mexicali, Ciudad Obregón y Hermosillo. De la vivienda ineficiente evaluada en las tres ciudades, Mexicali, registró los índices más altos con 7.014 kWh/año, impactando directamente sobre el ingreso familiar, los rangos de confort y la calidad de vida del usuario, además de aportar una cantidad de 4.88 toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> por vivienda al año. Estos indicadores pueden llegar a reducirse en entre el 40 y 50% si la vivienda es eficiente.

*Palabras clave: consumo eléctrico, eficiencia energética, simulación térmica de vivienda, emisiones de CO<sub>2</sub>*

## Electrical Consumption and CO<sub>2</sub> Reduction using Saving Systems and Thermal Insulation applied to Dwellings in Arid Lands of Mexico

### Abstract

The energy consumption of two types of dwellings, efficient and inefficient, are analyzed and compared, determining the electrical consumption and CO<sub>2</sub> reduction, utilizing thermal insulation and saving-energy options. The study done by simulation was applied in three arid areas in Mexico: Mexicali, Baja Obregón and Hermosillo. The results indicate that Mexicali presented the highest consumptions rates with 7.104 kWh/year, affecting directly the family household income, thermal comfort and life quality, besides providing 4.88 tons of CO<sub>2</sub> emission per house per year. These indexes can be reduced by 40 and 50% if the house is efficient.

*Keywords: electrical consumption, energy efficiency, thermal simulation, CO<sub>2</sub> emissions*

## INTRODUCCIÓN

La construcción y el uso de los edificios tienen un impacto importante en el medio ambiente: consumen alrededor del 50% de los recursos naturales, el 40% de la energía y el 16% del agua (Gauzzin, 2001). La energía como recurso, es la base del desarrollo económico y la dinámica social de cualquier ciudad o región, por ello, los códigos de vivienda sustentable están empezando a cobrar gran fuerza en Europa, Norteamérica y Latinoamérica. Estudios como los realizados por Codoban (2008) y Sahely (2003) muestran que el uso de la energía en forma eficiente, desde un barrio hasta un conjunto de ciudades, tiene implicaciones energéticas que afectan a las diferentes escalas urbanas y a las comunidades. Organismos como Communities (2010) trabajan en la regulación de los códigos de vivienda en el Reino Unido; en México recientemente la Comisión Nacional de Vivienda, CONAVI (2008) ha trabajado una guía sobre criterios e indicadores para desarrollos habitacionales sustentables; de igual manera, la Comisión Nacional para Fomento a la Vivienda CONAFOVI (organismo privado no lucrativo, creado para promover acciones que induzcan y fomenten el ahorro y uso racional de la energía eléctrica), elaboró en 2008 una guía sobre el uso eficiente de la energía en la vivienda, considerando sistemas pasivos de diseño bioclimático (masa térmica, asoleamiento, control solar, vientos entre otros); sin embargo, una perspectiva de investigación aplicada en las zonas desérticas de México, ha basado su principio en la creación de tecnologías y sistemas ahorradores de energía incorporando: sistemas eficientes de aire acondicionado, aislamiento térmico, focos ahorradores y electrodomésticos de alta eficiencia, factores determinantes para resolver la problemática ambiental y energética de dicha región, llevando hacia una mejor práctica y responsabilidad en el uso de la energía. Ravetz (2001), define que una energía sustentable técnicamente es viable si existe una sinergia entre economía, sociedad y tecnología.

Así, el consumo energético en las zonas áridas del mundo representa un reto para el desarrollo y la adecuación ambiental de la vivienda. El desierto de Sonora en México, el de Arizona en Estados Unidos, así como el de Atacama en Chile y otros países árabes como Israel y Kuwait, comparten clasificaciones climáticas semejantes. Según Koeppen et al (1953) para Latinoamérica se tiene una clasificación desértica definida como: cálido árido desértico (Bwh) y árido frío desértico (Bwk). El desierto de Altar, que abarca los estados de Sonora y Baja California, en México y parte de Arizona en Estados Unidos, registra temperaturas promedio durante el verano de 40°C, alcanzando hasta 43°C durante 90 días consecutivos en el periodo de verano (Shreve y Wiggins, 1964).

El trabajo de Codoban et al (2008) sobre metabolismo de los barrios, establece que actualmente el 50% de la población mundial vive en ciudades, además de esperarse, según la (ONU, 2003), que esta cifra aumente el año 2030 a un 60% (ONU, 2003); lo que representa que dentro del metabolismo urbano de las ciudades, la demanda de flujos de energía, agua y materiales, así como sus residuos y desechos se hayan incrementado dramáticamente en las últimas décadas (Kennedy, 2007). En México se han desarrollado tres grandes ciudades que constituyen el progreso y crecimiento económico de la región noroeste del país; en ellas los desarrolladores de vivienda han creado conjuntos habitacionales desde 600 hasta 2,200 casas, representando una alta densidad por distrito entre 55 y 84 viviendas por hectárea. Dicha demanda de vivienda y dinámica de las ciudades, obliga a buscar acciones que reduzcan la intensidad energética (relación entre la producción de energía y PIB real), directamente vinculada con el consumo eléctrico, las emisiones de CO<sub>2</sub>, el uso de los energéticos fósiles y con ello el calentamiento global.

Dicha interrelación de variables guarda una liga directa con la forma urbana de las ciudades y la eficiencia energética del sector residencial y los edificios, fenómeno que ha llevado a realizar estudios sobre metabolismo urbano en Norteamérica, como el de VandegueWegue (2007) donde se hace un análisis espacial de las emisiones de gases efecto invernadero sobre la zona metropolitana de Toronto; algunos otros como el de Cuddihy (2005) son más complejos y han involucrado el uso e intensidad energética, el impacto sobre el ambiente y los sistemas de infraestructura.

Esta preocupación sobre el uso y consumo de la energía, ha reducido la intensidad energética en la mayoría de los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) de la cual forma parte México, sin embargo, junto con Estados Unidos son los únicos países que no han reducido su intensidad energética ni sus emisiones de CO<sub>2</sub>. Desde 1980, la economía danesa ha crecido en un 78%, con un consumo energético constante y una reducción de CO<sub>2</sub> del 12% hasta el 2007 (DEA, 2008), experiencia que demuestra que las políticas energéticas deben centrarse en la mejora de la eficiencia energética, el crecimiento económico, la reducción en la dependencia de los combustibles fósiles y la protección del medio ambiente.

Este trabajo se centra en el análisis del consumo eléctrico y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de la vivienda económica en las zonas desérticas de México, evaluándose el sistema constructivo tradicional, contra un sistema ahorrador (basado en focos ahorradores, sistemas de aire acondicionado y aislamiento térmico). La investigación consideró un factor de 0.570 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada MW de energía eléctrica producida en la región de Baja California, de acuerdo con Molina (2007).

Este fenómeno ambiental y energético en el cual se involucra el sector residencial de nivel económico, llevó al gobierno de México a través de su organismo federal Fideicomiso para el Ahorro de Energía (FIDE), a partir del 2004, a crear un programa piloto de vivienda ahorradora, en donde la vivienda económica fue evaluada para tres ciudades de zonas desérticas del noroeste de México: Mexicali, Baja California; Cd. Obregón y Hermosillo, Sonora. Los resultados de esta investigación muestran la evaluación y el análisis del consumo eléctrico y reducción de emisiones de la vivienda en la que se aplicaron tecnologías de eficiencia energética y aislamiento térmico; la evaluación se realiza por medio de simulaciones dinámicas en el simulador de cargas térmicas DOE-2.1, validado para estudios en evaluación y simulación térmica de edificios (Sullivan, 2008). Esta metodología es una herramienta utilizada en las últimas décadas por diferentes expertos Vreenegoor et al (2008) y Garrison (2008).

## **DESARROLLO**

Esta investigación está relacionada con el Programa de Financiamiento para la Incorporación de Medidas de Ahorro de Energía Eléctrica en Nuevas Viviendas del (FIDE). El proyecto se llevó a cabo del 2004 al 2006, como programa piloto de vivienda ahorradora por los investigadores de este artículo; grupo Urbi, desarrollador de vivienda y Cemex. Los escenarios y sistemas constructivos de la vivienda se describen en la tabla 1, además de las diferentes tecnologías aplicadas y los escenarios de simulación.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La metodología utilizada en esta investigación fue la denominada (AFM), basada en el principio del análisis de flujo de materiales; internacionalmente ha sido utilizada para determinar los flujos de materia y energía en estudios de metabolismo urbano realizados por primera vez por Wolman (1965), y retomada en estudios de ecología industrial desde principios de los noventa por (Baccini y Brunner, 1991; Baccini, 1997; Brunner y Rechberger, 2003). Para la aplicación de la metodología (AFM), se consideró dentro del balance de energía el consumo eléctrico de la vivienda, su uso y transformación, los desechos de CO<sub>2</sub> y el consumo energético sobre la fuente nacional en barriles de petróleo. Se seleccionaron 3 diferentes ciudades dentro de las regiones desérticas del noroeste de México, para conocer: a) el comportamiento térmico de la vivienda con el sistema constructivo tradicional y eficiente, según la ciudad y bioclima; b) la estimación del consumo eléctrico de la vivienda; c) el comportamiento y el consumo eléctrico de la misma vivienda tradicional, pero con la aplicación de tecnologías ahorradoras propuestas en el programa FIDE (2004); d) reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a partir de su consumo eléctrico; e) reducción en el consumo de barriles de petróleo y f) indicadores de huella ecológica per cápita, por m<sup>2</sup>, por hectárea, por distrito y región.

Tabla 1. Simulaciones realizadas para la vivienda económica

Estrategia de simulación	Descripción del sistema constructivo	Descripción de la simulación
CB (Caso Base) Temperatura de Diseño 26°C	Vivienda tradicional (bloc de concreto de 15 cms. y losa de vigueta bovedilla), sin tecnologías de ahorro.	Se realiza una simulación para la vivienda caso base de cada ciudad, bajo una temperatura de diseño y confort de 26°C.
AT (Aislante en losa)	Aislamiento térmico con placas de poliestireno en diferentes espesores. Se realiza únicamente para la ciudad de Mexicali.	Se coloca un sistema de aislamiento de diferentes espesores en la vivienda ahorradora, aplicados a losa y muro según las Normas de Eficiencia Energética en México.
AE (Aparatos de aire acondicionado EER 10.78 y EER 8.00)	Vivienda tradicional con sistemas de aire acondicionado eficiente vs ineficiente.	Se compara un sistema de aire acondicionado de alta eficiencia contra uno de baja eficiencia.
FA (focos ahorradores contra incandescentes) 5 focos por vivienda.	Vivienda tradicional con focos ahorradores e incandescentes.	Se compara una vivienda con focos ahorradores contra incandescentes.
IEER 1	Vivienda tradicional con medidas: AE, FA.	Se evaluó AE y FA, siendo este el escenario del programa piloto, se realizan 3 simulaciones, una para cada ciudad.
IEER 2	Vivienda tradicional con sistema de aislamiento de poliestireno en 6 diferentes espesores. Solo aplica a Mexicali.	Se conjuntan las medidas AT, para losa y muros, se realizan 6 simulaciones correspondientes a 6 espesores de aislante, únicamente para la ciudad de Mexicali.

El desarrollo habitacional caso de estudio fue “Ángeles de Puebla”, ubicado en Mexicali, B.C. con 2,200 viviendas de tipo económico de 38 m<sup>2</sup> (fig. 1). Las tecnologías consideradas y simuladas en la tabla 1, se complementaron con una evaluación termoeconómica, que consistió en el análisis de los diferentes espesores de aislamiento térmico según las Normas de Eficiencia Energética Mexicana, CONAE (2006), CONAFOVI (2007) y ONCCE (2008) mostrándose el consumo eléctrico, emisiones, ahorro económico y el retorno de inversión según el salario real del trabajador.

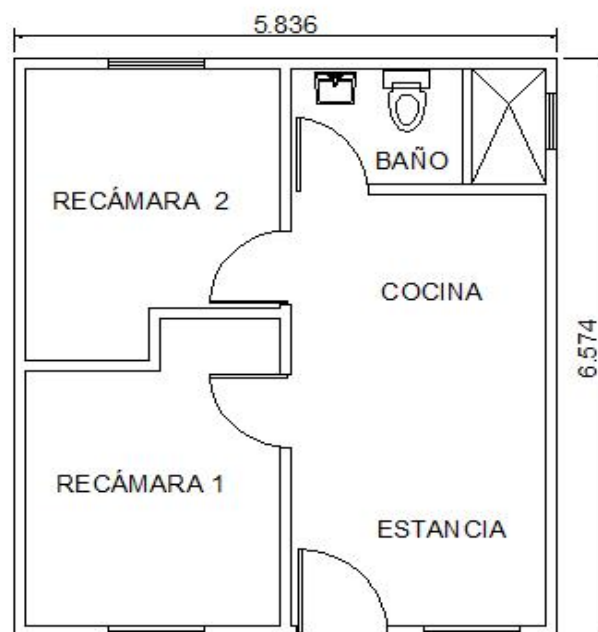


Fig. 1: Planta Arquitectónica de la vivienda económica 38 m<sup>2</sup>.

El análisis y evaluación termoeconómica fue complementada con los resultado del Proyecto del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), que en conjunto con la CONAFOVI (2004) asignó al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), Campus Monterrey el desarrollo del proyecto: "Monitoreo de Viviendas con Criterios de Ahorro de Energía" (CONAFOVI-2004-C01-23). Aunque los sistemas de adecuación bioclimática como: la orientación heliotérmica, sistemas de sombreado, control solar y enfriamiento evaporativo entre otros, impactan de forma significativa en la carga térmica de una edificación en las zonas áridas, no fueron considerados en la investigación ya que únicamente los sistemas activos serían financiados por el programa FIDE e INFONAVIT.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 2 muestra, en forma decreciente, el consumo eléctrico y su reducción por ciudad; asimismo se determina que el índice de ahorro anual por el uso de tecnologías ahorradoras es del 40%, porcentaje que se incrementa en los sistemas de aire acondicionado, mostrando un rango de ahorro del 40 al 50%. En los sistemas de iluminación, los ahorros alcanzan hasta el 80%, no obstante que el consumo total por sistema de iluminación en estas regiones áridas sólo representa el 18% del consumo total para sistema ineficiente y 5% para el sistema de vivienda eficiente.

Tabla 2: Consumo eléctrico anual por vivienda simulada en kWh.

Medidas evaluadas	Mexicali	Hermosillo	Cd. Obregón
Iluminación ineficiente kWh/año	1,195	1,195	1,195
Iluminación eficiente kWh/año	240	240	240
A/A ineficiente kWh/año	3,778	3,648	3,628
A/A eficiente kWh/año	1,945	1,850	1,776
Consumo eléctrico total ineficiente kWh	7,014	6,883	6,863
Consumo eléctrico total eficiente kWh	4,226	4,130	4,056
Ahorro anual por sistemas eficientes (%)	40	40	40

Por otra parte, se observa que aunque los sistemas de iluminación presentan rangos de consumo menores a los sistemas de aire acondicionado, estos durante el invierno tienen una mayor relevancia, debido a que en estas regiones áridas de México, el gobierno federal ha subsidiado la tarifa durante los meses de mayor consumo eléctrico (mayo a octubre), y al dejar de ser subsidiada, el consumo eléctrico por iluminación tiene un grave impacto.

En la tabla 3, se muestra la facturación para la vivienda económica durante el invierno por sistema de iluminación, con el sentido de ver únicamente el efecto que tiene en el pago del recibo eléctrico el uso de un sistema de iluminación eficiente contra el ineficiente; los datos del escalón tarifario son tomados de CFE (Comisión Federal de Electricidad, 2010), los escalones tarifarios son: el básico comprende el rango de 0 a 75 kWh, el intermedio de 76 a 200 kWh y el excedente es cada kWh arriba de 201.

Tabla 3: Facturación del consumo eléctrico por iluminación en invierno (noviembre-abril)

Desglose de consumo	Básico	Intermedio	Excedente	Subtotal Facturado
Iluminación ineficiente kWh	75	125	397	597
Precio tarifa 1F kWh	0.685	1.133	2.40	
Subtotal en pesos mexicanos	51.37	141.62	952.8	1,145.79
Iluminación eficiente kWh	75	45	No aplica	120
Precio tarifa 1F kWh	0.685	1.133	2.40	
Subtotal en pesos mexicanos	51.37	50.98		102.36
Ahorro en pesos con sistema eficiente				1,043.43

Se observa que el ahorro económico es del 89% en el consumo eléctrico con un sistema eficiente, fenómeno de significancia en la época de invierno, ya que esto llega a representar entre el 17 y el

23% del salario del propietario de la vivienda. Con este análisis podemos ver que los sistemas de iluminación de alta eficiencia tienen un impacto directo de suma importancia en las zonas áridas durante los meses de invierno, como consecuencia de la tarifa eléctrica no subsidiada.

Como complemento a la investigación basada en el análisis del consumo eléctrico y la reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub>, se realizó un análisis complementario con la cuantificación en las diferentes escalas urbanas de la ciudad de Mexicali: sitio, distrito y región, expresado en indicadores de huella ecológica en kWh/cápita, CO<sub>2</sub>/cápita, kWh/m<sup>2</sup>/año, CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/año, entre otros. En los siguientes resultados se muestra el consumo eléctrico global, tanto para el modelo de vivienda eficiente como el ineficiente.

La tabla 4 resume los resultados del consumo eléctrico global, observando que un 40% del consumo eléctrico es por sistema de aire acondicionado ineficiente y 31% por eficiente, además de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 30% y 26% respectivamente.

Tabla 4: Desglose del consumo eléctrico anual para la vivienda económica de Mexicali

Iluminación ineficiente kWh/año	1,195
Iluminación eficiente kWh/año	240
*Se consideran electrodomésticos para ambas viviendas	2,039
A/A ineficiente kWh/año	3,778
A/A eficiente kWh/año	1,945
Consumo eléctrico total ineficiente kWh/año	9,053
Consumo eléctrico total eficiente kWh/año	6,265
Toneladas de CO <sub>2</sub> /año ineficiente	4.88
Toneladas de CO <sub>2</sub> /año eficiente	3.57

En la tabla 5 se dan indicadores de huella ecológica (demanda de consumo y emisiones por m<sup>2</sup> de superficie construida); la vivienda eficiente tiene un consumo eléctrico anual de 30% menos por cada m<sup>2</sup> de superficie construida, y 31% menos en toneladas de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/año.

Tabla 5: Indicadores de huella ecológica

Iluminación ineficiente kWh/m <sup>2</sup> /año	31.447
Iluminación eficiente kWh/m <sup>2</sup> /año	6.315
Aire acondicionado ineficiente kWh/m <sup>2</sup> /año	99.421
Aire acondicionado eficiente kWh/m <sup>2</sup> /año	51.184
Total ineficiente kWh/m <sup>2</sup> /año	238.236
Total eficiente kWh/m <sup>2</sup> /año	164.868
Toneladas de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /año ineficiente	0.1356
Toneladas de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /año eficiente	0.0934

Los resultados determinaron el consumo eléctrico per cápita, así como el indicador correspondiente a las toneladas de CO<sub>2</sub>. De acuerdo con el censo nacional de población realizado por INEGI (2005), se consideró un número de 5 habitantes por vivienda. En la tabla 6 se resumen los resultados obtenidos para consumo eléctrico y emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita, encontrándose que una persona en una vivienda ineficiente consume un 31% más de energía eléctrica y genera 0.31 toneladas más de CO<sub>2</sub>.

Tabla 6: Indicadores per cápita

Total ineficiente kWh/cápita/año	1,810.6
Total eficiente kWh/cápita/año	1,253
Toneladas de CO <sub>2</sub> /cápita/año ineficiente	1.03
Toneladas de CO <sub>2</sub> /cápita/año eficiente	0.714

En la tabla 7 se observa el impacto sobre el capital ambiental y los energéticos fósiles que tuvo el consumo eléctrico de la vivienda en barriles de petróleo. Los indicadores en barriles/m<sup>2</sup>/año fueron

mayores para la vivienda ineficiente en 32% por cada m<sup>2</sup> de superficie construida, mientras que la vivienda ineficiente registró 1.57 barriles más y un 31% más en el consumo de petróleo per cápita.

Tabla 7: Impacto en el capital ambiental (barriles de petróleo)

Petróleo barriles/año/vivienda eficiente	3.53
Petróleo barriles/m <sup>2</sup> /año eficiente	0.092
Petróleo barriles/cápita eficiente	0.706
Petróleo barriles/año/vivienda ineficiente	5.10
Petróleo barriles/m <sup>2</sup> /año ineficiente	0.134
Petróleo barriles/cápita ineficiente	1.02

Como complemento al análisis del impacto sobre las reservas de petróleo, la tabla 8 muestra los consumos en las diferentes escalas urbanas para ambos modelos de vivienda, resultando la vivienda ineficiente con un consumo de 3,454 más barriles de petróleo/distrito/año y un 31% más, tanto en el consumo por ciudad como por hectárea al año.

Tabla 8: barriles de petróleo por densidad y escala urbana

Barriles de petróleo/distrito/año (2,200 distrito de viviendas) eficiente	7,766
Barriles de petróleo/ciudad/año (165,000 viviendas) eficiente	582,450
Barriles de petróleo/año/ha eficiente	194.15
Barriles de petróleo/distrito/año (2,200 distrito de viviendas) ineficiente	11,220
Barriles de petróleo/ciudad/año (165,000 viviendas) ineficiente	841,500
Barriles de petróleo/año/ha ineficiente	280.5

En la tabla 9, se muestran los resultados de las simulaciones realizadas, donde sólo se consideró el efecto de la carga térmica de la envolvente, no se considera iluminación, electrodomésticos, ni gente; y se realizan únicamente para el caso base de vivienda, es decir, el sistema constructivo sin ninguna medida de eficiencia energética.

Tabla 9: Reducción del consumo eléctrico y CO<sub>2</sub> en función de espesor de aislante

Espesores de aislantes, en milímetros de poliestireno para muro y techo	Equivalencia en pulgadas	Valor de "R-N" (Nominal) aislantes de poliestireno	Resistencia térmica valores reales (m <sup>2</sup> C/w)	Reducción en carga térmica (%)	Toneladas de emisiones de CO <sub>2</sub>	Consumo eléctrico periodo verano (mayo a octubre) kWh
Caso base		N/A	0.30	0	2.15	3,778.60
25	1	4	0.704	20.68	1.70	2,997.68
38.1	1.5	6	1.056	32.40	1.45	2,554.05
50.8	2	8	1.408	39.28	1.30	2,294.21
63.5	2.5	10	1.766	43.81	1.21	2,123.09
76.2	3	12	2.113	47.16	1.13	1,996.34
88.9	3.5	14	2.465	49.34	1.090	1,913.95

Los resultados obtenidos resumen que una vivienda con un sistema de aislamiento de 1", es capaz de reducir al 20% el consumo eléctrico y 0.45 toneladas de CO<sub>2</sub>; estas reducciones en consumo eléctrico y emisiones nos muestran un escenario que puede llegar a alcanzar una reducción en el consumo del 49.34% y 1.06 toneladas de CO<sub>2</sub> por vivienda, si se aplica un aislamiento en muros y techos de 3.5". En la tabla 10 se presenta la amortización para los diferentes sistemas de aislamiento, de acuerdo con el consumo y espesor del aislante; además del análisis de costo beneficio en donde se relaciona la inversión requerida para el suministro y colocación del aislamiento, y el tiempo de recuperación de dicha inversión expresado en número de veranos, dado que es cuando los sistemas de aire acondicionado tienen su mayor uso.

Tabla 10: Amortización, según espesor de aislante y el consumo eléctrico

Tipo	Facturación por consumo	Consumo kWh	Ahorro kWh	Ahorro pesos	Costo del sistema de aislamiento	Tiempo Amortización (Veranos)
Sin Aislamiento	\$4,473.29	3,778.60				
Aislamiento R-4 (1")	\$1,797.96	2,997.67	781	\$2,675.04	\$ 23,058.99	8.6
Aislamiento R-6 (1 1/2")	\$1,500.65	2,554.06	1,224.60	\$2,972.64	\$ 24,693.74	8.31
Aislamiento R-8 (2")	\$1,332.11	2,294.20	1,484.40	\$3,141.18	\$ 26,328.52	8.38
Aislamiento R-10 (2 1/2")	\$1,222.11	2,123.09	1,655.51	\$3,251.18	\$ 30,304.28	9.32
Aislamiento R-12 (3")	\$1,141.00	1,996.34	1,782.26	\$3,332.29	\$ 31,939.05	9.58
Aislamiento R-14 (3 1/2")	\$1,088.13	1,913.95	1,864.65	\$3,385.16	\$ 33,675.89	9.95

En los resultados sobre la amortización y el financiamiento del sistema de aislamiento, podemos determinar que el problema es de tipo financiero, ya que es posible reducir el consumo eléctrico por medio de esta estrategia, y el costo del sistema de aislamiento puede ser financiado y pagado por los ahorros en el consumo eléctrico presentados cada mes, amortizándose en un mediano plazo de 4.3 a 5 años. Es necesario hacer hincapié que un trabajador de este tipo de vivienda, de acuerdo con la Comisión Nacional de los Salarios Mínimos (CONASAMI, 2010), llega a percibir mensualmente \$ 6,500 pesos, equivalente a \$ 507 dólares. El análisis de consumo eléctrico de una vivienda sin medidas de aislamiento térmico demuestra que será necesario destinar el 68% del salario del trabajador para el pago de electricidad en la época de verano.

Los valores de la tabla 11, demuestran que el espesor de aislante mínimo en la comunidad Europea sigue siendo más favorable aun comparado con el más eficiente propuesto en México por la NOM-020, en términos de coeficiente global de transferencia de calor "U". Esto significa que para México la eficiencia de la vivienda es un problema más de tipo financiero que de normalización; ya que como se vio en el análisis de amortización la colocación de aislamiento en la vivienda rebasa la capacidad de inversión del trabajador.

Tabla 11. Coeficiente "U" w/m<sup>2</sup>°C para México y la comunidad Europea

Valor "U"	Código de vivienda México	NMX-C-460 (México)	NOM-020 (México)	Comunidad Europea	Suiza
Techos	0.40	0.351	0.370	0.15	0.20
Muros	0.47	0.620	0.521	0.25	0.20

## CONCLUSIONES

El consumo eléctrico anualizado de la vivienda económica en México, demuestra que las ciudades de zonas áridas evaluadas presentan niveles por encima del consumo medio nacional, siendo Mexicali la ciudad que tiene el mayor consumo eléctrico por vivienda; dicho consumo, en gran medida, es afectado por los sistemas de aire acondicionado durante la época de verano y por el sistema de iluminación durante el invierno, fenómeno que obedece a la falta de subsidio de la tarifa eléctrica, los patrones de uso y la mala adecuación ambiental de la vivienda.

La investigación demostró que aplicar a la vivienda sistemas ahorradores, eficientes y aislamientos térmicos según las normas de eficiencia energética mexicana, tiene reducciones importantes en la carga térmica de la vivienda, el consumo eléctrico de aire acondicionado y la iluminación, impactando también en forma positiva sobre el salario del trabajador, además de reducir emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y barriles de petróleo, equivalentes a la reducción de la intensidad energética demandada. Si se aplica esta regulación técnica y energética en la vivienda económica de México, se impactará en el metabolismo energético de las ciudades en sus diferentes escalas urbanas, así como el consumo per cápita, por m<sup>2</sup> construido, en la huella ecológica del usuario y la densidad de vivienda por hectárea.



Finalmente, se demuestra que la utilización de los sistemas ahorradores y de aislamiento térmico evaluados son un tema de carácter financiero, donde los organismos gubernamentales, desarrolladores de vivienda y actores principales, tendrán que proponer estrategias para la financiación de dichos sistemas, resolviendo con ello políticas energéticas, planes sectoriales y agendas que atiendan las necesidades económicas, ambientales y sociales de la vivienda mexicana de zonas áridas.

## AGRADECIMIENTOS

A grupo Urbi y Cemex de México, por el acceso a la información; al FIDE, por permitirnos participar en el programa de vivienda ahorradora en México, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca para estudios de Doctorado.

## REFERENCIAS

- Baccini, P. A., City's metabolism: towards the sustainable development of urban systems, *J. Urban Technology*: 4 (2), 27-39. (1997).
- Baccini, P. A., y Brunner, P.H. (1991). *Metabolism of the anthroposphere*, springer, Berlin.
- Brunner, P.H. y Rechberger, H. *Practical handbook of material flow analysis*, 2a Edición. 43-68. CRC, Boca Raton, Fla. (2003).
- Codoban, N. y Kennedy, C.A., *Metabolism of Neighborhoods*, *J. Urban Plann. And Development*: 134 (1) 21-29 (2008).
- CONAVI. *Criterios e indicadores para desarrollos habitacionales sustentables en México*, 1a Edición, por Comisión Nacional de Vivienda, pp. 17- 45 México, D.F. México (2008).
- CONAFOVI. *Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda*, 1a Edición, por Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda, pp. 24- 29 México, D.F. México (2006a).
- CONAFOVI y CONACYT. *Monitoreo de Viviendas con Criterios de Ahorro de Energía en El Norte de México*, por Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda, con registro-2004-C01-23. pp. 3-43 México, D.F, México (2004).
- CONASAMI, Comisión Nacional de Salarios Mínimos de la República Mexicana (2010), <http://asalariados-america-latina.blogspot.com/2009/12/salario-minimo-en-mexico-en-2010.html> Acceso 10 de enero (2010).
- Communities, Department for communities and local government. *Code for Sustainable Homes a step-change in sustainable home building practice*, [www.Communities.gov.uk](http://www.Communities.gov.uk). Acceso 20 enero (2010).
- Cuddihy, J.; Kennedy, C.A.; Byer, P.; *Energy use in Canada: environmental impacts and opportunities in relationship to infrastructure systems*, *Can. J. Civ. Eng.* 32: 1–15 (2005).
- FIDE, *Reporte de modelación y simulación en "Programa piloto de vivienda ahorradora, (2004)". Reporte técnico*, FIDE, México, D.F, México (2004).
- Garrison, M., *The 2007 Solar D House, Actas del Congreso regeneración urbana y sustentabilidad*. pp. 355-357, Grecia, (2008).
- Gauzin-Müller, D. *Arquitectura Ecológica*, 2ª edición, pp.20-69. Ed. GG, Madrid, España (2001).
- Kennedy, C.A., Cuddihy, J., Engel-Yan, J.B. *The changing metabolism of cities*, *J. Ind. Ecol.*, 11 (2), 43-59 (2007).

- Koppen V., Geiger, Pohl, Clasificación climática de Koppen, (1953), <http://club.telepolis.com/geografo/clima/koppen.htm>, Acceso 10 de enero del (2010).
- NOM-020-ENER, Eficiencia energética en edificios.- Envoltente de edificios residenciales, 4-18, México, D.F. México (2004).
- NMX-C- 460-ONNCCE, Aislamiento térmico – Valor “R” para las envolventes en vivienda por zona térmica para la República Mexicana pp. 4-70, México, D.F. (2009).
- Molina, M., (2007) “Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del Estado de Baja California, 2005” Centro Mario Molina, (2007).
- Ravetz, J. *City Region 2020: integrated planning for a sustainable environment*, 2ª edición, pp. 144-146. Earthscan, Londres, Inglaterra (2001).
- Sahely, H.R., Dudding, S., y Kennedy, C.A. *Estimating the urban metabolism of Canadian cities: Greater Toronto Area case study*, Can. J. Civ. Eng., 30 (2), pp. 468-483, (2003).
- Shreve, F., Wiggins, L., *Physical Features en Vegetation and Flora of the Sonoran Desert*, 1ª Edición, vol. 1, ISBN 0-8047-0163-6, pp. 19-23, Stanford University press USA (1964).
- Sullivan, R. *Validation Studies of the DOE-2 Building, Energy Simulation Program*. Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California Berkeley (1998).
- Vreenegoor R. de Vries y B. Hensen, *Energy saving renovation: analysis of critical factors at the building level*, Actas del 5º Congreso sobre ciudad sustentable, regeneración urbana y sustentabilidad, ISSN: 1743-3541, ISBN: 978-1-84564-128-3, pp 653-662, Skiathos, Grecia (2008).