



# ¿Cuán efectiva es la eficiencia energética en vivienda?

Evidencia de un experimento de campo en México

Resumen ejecutivo

Lucas Davis  
Sebastián Martínez  
Bibiana Taboada



Copyright © 2018 Inter-American Development Bank. This work is licensed under a Creative Commons IGO 3.0 Attribution-NonCommercial-NoDerivatives (CC-IGO BY-NC-ND 3.0 IGO) license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) and may be reproduced with attribution to the IDB and for any non-commercial purpose. No derivative work is allowed.

Any dispute related to the use of the works of the IDB that cannot be settled amicably shall be submitted to arbitration pursuant to the UNCITRAL rules. The use of the IDB's name for any purpose other than for attribution, and the use of IDB's logo shall be subject to a separate written license agreement between the IDB and the user and is not authorized as part of this CC-IGO license.

Note that link provided above includes additional terms and conditions of the license.

The opinions expressed in this publication are those of the authors and do not necessarily reflect the views of the Inter-American Development Bank, its Board of Directors, or the countries they represent.



This document, led by specialists from the Inter-American Development Bank, is meant to show the design of a case study to request feedback to improve the study.

## ¿Cuán efectiva es la eficiencia energética en vivienda? Evidencia de un experimento de campo en México

Por: Lucas Davis, Sebastian Martinez y Bibiana Taboada<sup>1</sup>

Febrero 2018

### Prefacio

En México, al igual que en otros países, las viviendas y otras edificaciones en el medio urbano están consumiendo cada vez más energía, sobre todo en aplicaciones térmicas como el calentamiento de agua, la cocción de alimentos, el aire acondicionado y la calefacción. Reducir este consumo de energía conlleva beneficios para las familias, para las economías nacionales y para el planeta.

El consumo de energía en las viviendas es particularmente alto en las zonas con climas cálidos debido al uso del aire acondicionado. El vivir fuera del rango de confort es una de las manifestaciones de la pobreza energética y enfrentarla es una necesidad imperiosa, tal como lo atestigua la prioridad que mucha gente da a la adquisición de un equipo de aire acondicionado cuando sus posibilidades económicas la hacen posible. Por otro lado, en estas zonas la población de menores ingresos, que no cuenta con la capacidad económica para comprar un equipo de aire acondicionado ni de pagar la factura eléctrica que éste entraña, con frecuencia experimenta una falta de confort térmico, lo cual afecta su bienestar.

Ambos problemas—el alto consumo de energía destinada a la climatización y la falta de confort—están relacionados entre sí y se pueden reducir e incluso eliminar desde el diseño, por medio de la implementación adecuada de medidas arquitectónicas y constructivas que mejoren el desempeño térmico de las viviendas, tales como materiales con buenas cualidades térmicas, aislamiento térmico, acabados reflejantes, mejor dimensionamiento de las ventanas, orientación adecuada, ventilación cruzada y elementos de sombreado, entre otras soluciones.

---

<sup>1</sup> Título original en Inglés "How Effective is Energy-Efficient Housing? Evidence from a Field Experiment in Mexico". Autores: (Davis) Universidad de California, Berkeley; ldavis@haas.berkeley.edu. (Martinez) Banco Interamericano de Desarrollo; smartinez@iadb.org (Taboada) Banco Interamericano de Desarrollo; bibianat@iadb.org. Este estudio es el resultado de un esfuerzo de colaboración entre el Banco Interamericano de Desarrollo y la Sociedad Hipotecaria Federal en consulta con el Banco de Desarrollo KfW. Agradecemos a SADASI por su colaboración durante todo el estudio. Por sus contribuciones al diseño e implementación del estudio, así como a los valiosos comentarios y aportes durante la preparación de este documento, agradecemos a Claudio Alatorre, Ximena Aristizabal, Gisela Campillo, Claudia Castillo, José Cruz, Emiliano Detta, Carlos Gaitán, Mónica Healy, Ernesto Infante, Paola Méndez, Rocío Montaña, Juan Muñoz, Rubén Pérez Peña, Michelle Pérez, Gmelina Ramírez y Oscar Villagrán. La recopilación de datos fue realizada por SIMO Consulting. Se obtuvo la aprobación del Comité de Ética de la Investigación en el Centro de Investigación Clínica de México. Reconocemos el generoso apoyo del Fondo de Tecnología Limpia en el Banco Interamericano de Desarrollo. Todas las opiniones en este documento son de los autores y no representan necesariamente las opiniones de la Sociedad Hipotecaria Federal, el Banco de Desarrollo KfW o el Banco Interamericano de Desarrollo, sus Directores Ejecutivos o los gobiernos que representan.

El abordar este doble problema permite por lo tanto contribuir al logro de las metas del Acuerdo de París y de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 7 (Energía Asequible y No Contaminante), 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles) y 13 (Acción por el Clima), planteados en la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible en el 2015. Es urgente tomar medidas para resolverlo, pues así podremos evitar inversiones en infraestructura no sostenible con una vida útil de varias décadas, así como enfrentar los impactos del cambio climático, que por cierto están haciendo que muchas zonas cálidas se vuelvan aún más cálidas.

El Programa EcoCasa es ejemplo del esfuerzo encaminado al logro de ambos objetivos. El Programa, ejecutado por la Sociedad Hipotecaria Federal (el banco nacional de desarrollo del sector vivienda en México), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el banco de desarrollo alemán KfW, con recursos concesionales del Clean Technology Fund (CTF), del gobierno alemán, de la Unión Europea y de la NAMA Facility, busca reducir el consumo de energía (ligado a la emisión de gases de efecto invernadero), pero también mejorar el confort térmico. El Programa otorga préstamos puente a desarrolladores de vivienda de interés social (es decir, vivienda destinada a la población de bajos ingresos) que presentan proyectos que reducen al menos 20% las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con una línea de base<sup>2</sup>, al ser evaluados a través de un modelo de simulación energética<sup>3</sup>.

Uno de los retos que ha enfrentado el Programa EcoCasa es cómo diseñar casas que mejoren el confort y reduzcan el consumo eléctrico cuando no se puede predecir con antelación si sus ocupantes adquirirán o no un equipo de aire acondicionado (y si lo van a adquirir, no es posible prever cuándo lo harán). En efecto, muchas viviendas en regiones con clima cálido se entregan sin equipos de aire acondicionado a los compradores, pero los equipos son adquiridos por las familias posteriormente<sup>4</sup>.

Por este motivo, el Programa se ha enfocado en generar el mayor nivel de confort en la vivienda a través de sistemas pasivos (arquitectura bioclimática) que permiten el logro de ambos objetivos, a saber, que contribuyan a mejorar el confort en la vivienda sin la necesidad de incorporar sistemas activos de refrigeración (aire acondicionado) y que, en su caso, reduzcan el consumo de energía en una vivienda en la que se incluyan sistemas de aire acondicionado. El vínculo entre ambos objetivos es complejo, pues en ciertos climas y para ciertos prototipos y orientaciones puede haber medidas que contribuyan a un objetivo, pero no al otro.

---

<sup>2</sup> Como línea de base para la comparación, se utiliza la simulación energética del mismo prototipo incluyendo únicamente las medidas de eficiencia energética requeridas por el programa Hipoteca Verde, implementado por el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT), así como las establecidas en las Reglas de Operación de la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) para el otorgamiento de un subsidio federal. De este modo se asegura que las medidas de Ecocasa sean adicionales a las incorporadas para el cumplimiento de estos dos programas.

<sup>3</sup> Para ello, utiliza la herramienta "Diseño Energéticamente Eficiente de la Vivienda" (DEEVi), que ha sido desarrollada y actualizada con el apoyo del Passivhaus Institut de Alemania y adoptada por el sector vivienda mexicano como el estándar de medición a nivel nacional.

<sup>4</sup> De acuerdo con la información estadística, en el estado de Nuevo León, el 36% de las viviendas con ingresos menores a 6 salarios mínimos cuenta con un equipo de aire acondicionado. Sin embargo, debido al alto costo que representan para las familias su adquisición y operación, estos equipos no se incluyen como parte de las viviendas al ser entregadas a los compradores, sino que son adquiridos por las familias posteriormente. Además de eso, el Programa EcoCasa busca evitar la necesidad de incluir estos sistemas activos de refrigeración, gracias a la incorporación de medidas pasivas (que generen confort sin requerir consumo energético).

Para enfrentar este reto, el diseño del Programa EcoCasa tomó en cuenta la experiencia de programas anteriores<sup>5</sup>, así como de una etapa inicial de proyectos piloto. Este aprendizaje ayudó a concretar una metodología de evaluación y simulación que refleje la realidad de la mejor manera posible: En primer lugar, el Programa aplica a los resultados de ahorro en el uso de aire acondicionado que arroja el modelo de simulación un factor de corrección que es igual al porcentaje de viviendas que tienen esos equipos<sup>6</sup>. En segundo lugar, la metodología modela los cambios en el confort<sup>7</sup> y el Programa ha establecido requisitos mínimos tanto de ahorro de energía (suponiendo la presencia de un equipo de aire acondicionado) como de mejora de confort (suponiendo la ausencia de tal equipo).

El Programa EcoCasa preveía desde su inicio la realización de actividades de evaluación, con recursos de donativo del CTF presupuestados con este fin. Se decidió realizar la evaluación en dos desarrollos de vivienda construidos por SADASI, empresa que generosamente accedió a colaborar en la realización del estudio. La construcción de uno de estos desarrollos fue parcialmente financiada durante la etapa piloto del Programa EcoCasa. En esa época todavía no se había empezado a utilizar el modelo de simulación DEEVi, ni se habían establecido los requisitos en términos de confort térmico<sup>8</sup>, por lo que no se trata de una evaluación del Programa, sino un precedente para iniciativas futuras de evaluación. El presente informe muestra los resultados de esta evaluación realizada en un proyecto piloto, y corrobora las lecciones aprendidas en su momento por EcoCasa y que sirvieron como base para el desarrollo del modelo de simulación que actualmente utiliza el Programa.

Si bien el número de viviendas de la muestra que tienen aire acondicionado es muy pequeño para poder sacar conclusiones estadísticamente significativas, el estudio no detectó un ahorro de energía en las casas con ecotecnologías. Esta falta de ahorro de energía observada podría derivarse de un fenómeno adicional, que requiere de un análisis más profundo en estudios futuros: Los modelos de simulación energética suponen que el equipo de aire acondicionado está encendido durante todo el día, que mantiene la vivienda a una temperatura dentro del rango de confort (20° a 25°)<sup>9</sup>, que las ventanas se mantienen cerradas, que el equipo es del tamaño necesario para el tamaño de la vivienda y que es relativamente ineficiente. En la realidad estas condiciones no siempre se cumplen, pues los usuarios pueden (a) abrir ventanas, (b) controlar el encendido del equipo de manera manual, en vez de con el termostato, (c) instalar un equipo que es muy pequeño para el tamaño de la casa, (d) encenderlo sólo durante ciertas horas del día y (e) instalar un equipo con una eficiencia distinta de la supuesta por el modelo<sup>10</sup>. Debido a una combinación de estos factores, es posible que en

---

<sup>5</sup> A diferencia de los programas anteriores de impulso a la vivienda sustentable en México, que proponían la prescripción de ciertas tecnologías y que estaban enfocados a la demanda, EcoCasa impulsó el mercado por el lado de la oferta y sin ser prescriptivo.

<sup>6</sup> Este porcentaje se basa en información estadística disponible, para la ubicación geográfica y el segmento de ingresos que correspondan a la vivienda.

<sup>7</sup> El indicador para medir la falta de confort es el porcentaje de sobrecalentamiento, es decir, el porcentaje de tiempo en que la casa se encuentra fuera del rango de confort (descrito más adelante).

<sup>8</sup> De hecho, las viviendas con ecotecnologías que fueron objeto de este estudio no cumplen con dichos requisitos.

<sup>9</sup> Cuando hay ventiladores el rango es hasta 27.5°.

<sup>10</sup> El modelo supone que en las casas que cuentan con equipo de aire acondicionado, éste es relativamente ineficiente. Si las familias adquieren un equipo más eficiente, se modifica el ahorro de energía atribuible a las medidas arquitectónicas.

la realidad los habitantes de viviendas con ecotecnologías y con equipos de aire acondicionado experimenten una reducción en sus consumos de energía distinta de la que se esperaría de acuerdo con los modelos de simulación.

Como parte de los objetivos de la evaluación, se buscó también conocer las condiciones de temperatura y humedad de las viviendas, y así determinar en qué grado contribuyen al confort térmico las ecotecnologías utilizadas<sup>11</sup>. La evaluación encontró que no existe una diferencia en el nivel de confort entre las viviendas del grupo de control y las viviendas con ecotecnologías. Estos resultados confirman algunos de los aprendizajes que han guiado el diseño del Programa EcoCasa. Por ejemplo, el Programa no acepta proyectos que incluyen aislamiento térmico en sólo tres de los cuatro muros. Asimismo, el Programa requiere de medidas dirigidas a la mejora de confort, tales como la inclusión de medidas de ventilación<sup>12</sup>.

Los resultados de la evaluación han ofrecido al Programa EcoCasa valiosas lecciones aprendidas. En particular, muestran la necesidad de mejorar los modelos de simulación para considerar de mejor manera el comportamiento de los habitantes. Los factores de comportamiento afectan los resultados tanto en términos de confort como de ahorro de energía. La calidad de la instalación de las ecotecnologías es otro factor que es necesario tomar en cuenta.

Por otro lado, la experiencia obtenida a través de la realización de este estudio de gran escala ha generado para el Programa EcoCasa un aprendizaje sobre las metodologías para el muestreo, para la selección de tecnologías de medición, recolección y transmisión de datos, para el diseño y la aplicación de encuestas, para la obtención de datos de consumo eléctrico de la empresa eléctrica, para la capacitación del personal a cargo de la evaluación, etcétera.

Con base en estas lecciones aprendidas, en el futuro se podrán realizar más estudios para evaluar el impacto del Programa EcoCasa en proyectos de vivienda construidos siguiendo la metodología y parámetros de medición con los que ha operado el Programa. De particular relevancia será medir la efectividad del enfoque del Programa de considerar los dos objetivos de ahorro de energía y de mejora de confort. Asimismo, será necesario evaluar en qué medida se dan ahorros de energía en casas con ecotecnologías bajo las condiciones reales de utilización de los equipos de aire acondicionado.

---

<sup>11</sup> El desempeño de dichas ecotecnologías fue medido en su momento por el modelo de simulación utilizado en la etapa piloto, que únicamente medía la reducción en el consumo de energía.

<sup>12</sup> En el Programa EcoCasa los prototipos se diseñan vigilando la reducción de consumo eléctrico y la mejora en confort, ya que las ecotecnologías que contribuyen al ahorro de energía en una vivienda con aire acondicionado no necesariamente implican una mejora en el confort cuando esa vivienda no tiene tal equipo. Adicionalmente, el Programa puede incluir medidas de calentamiento solar de agua para contribuir a la reducción de emisiones de GEI, y dichas medidas no contribuyen a mejorar el confort de las viviendas.

## Resumen Ejecutivo

Este estudio presenta los resultados de una evaluación de impacto sobre el efecto de la instalación de dos paquetes de eco-tecnologías en el consumo de electricidad y el confort térmico en viviendas de interés social en el municipio de García, Nuevo León, México. La evaluación se basa en un diseño cuasi-experimental que compara viviendas de tratamiento (con paquetes de eco-tecnologías) y control (sin esos paquetes de eco-tecnologías) que son idénticas en todas sus dimensiones, incluyendo tamaño, orientación, materiales de construcción y habitantes. Los resultados de la evaluación muestran que no existen efectos detectables de los paquetes de eco-tecnologías en las variables de resultado. Específicamente, el consumo de electricidad y los niveles de confort térmico al interior de las viviendas de tratamiento y control son estadísticamente equivalentes. Estos resultados sugieren que las inversiones en estos paquetes de eco-tecnologías probablemente no contribuyeron a la reducción en emisiones de gases de invernadero como el CO<sub>2</sub> y sus efectos en el cambio climático. Los resultados de la evaluación resaltan la importancia de adecuar los modelos de eficiencia energética y las propuestas de eco-tecnologías a las condiciones socio-económicas de la población focalizada, y resaltan el potencial rol del comportamiento humano en la mitigación de la efectividad de las eco-tecnologías.

Las viviendas de la muestra de evaluación están ubicadas en un extenso desarrollo en la municipalidad de García, Nuevo León al oeste de Monterrey. La venta de las viviendas se dio de manera secuencial entre 2013 y 2014, bajo un procedimiento en el que los compradores seleccionaron su unidad con base a los modelos de vivienda y su ubicación en mapas. Sin embargo, ni los compradores ni los vendedores fueron informados sobre la presencia de las eco-tecnologías en las viviendas seleccionadas, un requisito clave para mitigar sesgo de selección en la composición de habitantes en las viviendas de tratamiento y control. Todas las viviendas del desarrollo cumplen con lineamientos basales de eficiencia energética de “Hipoteca Verde” en México (en este caso, cuentan con aislante térmico en el muro sur). En un grupo cuasi-aleatorio de viviendas se instalaron dos paquetes de eco-tecnologías adicionales. El paquete 1 consistió en la instalación de aislante térmico en los muros este y oeste y el techo de la vivienda. El paquete 2 consistió en la instalación de aislante térmico en el techo de la vivienda, de un sistema de ventilación pasivo y de sombreado en las ventanas orientadas al sur.

Comenzando en junio de 2016, la evaluación de impacto implementó una medición de consumo de electricidad, temperatura y humedad en una muestra de 464 viviendas de tratamiento y control. La encuesta de hogares incluyó preguntas sobre características socio-demográficas del hogar, consumo de electricidad, penetración y uso de electrodomésticos y percepción de confort al interior de la vivienda, entre otros. Se instalaron sensores en el muro interior de la sala de estar y comedor que registraron la temperatura y humedad cada 30 minutos. La información de los sensores se descargó cada cuatro meses. Los datos de sensor analizados en este informe corresponden al periodo entre junio de 2016 y octubre de 2017.

Los resultados muestran que las características de los hogares en viviendas de tratamiento y control están balanceadas, lo cual presta credibilidad a la interpretación causal de los

estimados de impacto de las eco-tecnologías. Los resultados muestran que el consumo de electricidad (kWh) en viviendas de tratamiento y control es estadísticamente equivalente. De igual manera, los resultados sobre temperatura y humedad muestran que las eco-tecnologías no tuvieron un impacto detectable en el confort térmico al interior de las viviendas. Estos resultados son robustos a diferentes especificaciones estadísticas, incluyendo comparaciones simples de medias y modelos de regresión que controlan por efectos fijos en el tiempo, características del hogar y otras variables. Los resultados se mantienen para comparaciones en diferentes meses del año, horas del día y niveles de temperatura exterior. Estos resultados son consistentes con las medidas auto-reportadas por los habitantes sobre su percepción de confort térmico. En promedio, la temperatura interior del hogar se encuentra por encima de los 25 grados durante 70% de las horas del día<sup>13</sup>, y el 79% de los habitantes declara que las viviendas son “calientes” o “muy calientes” en los meses de verano. Los resultados también muestran que la presencia de acondicionadores de aire, abanicos y otros electro-domésticos es igual entre las viviendas con y sin eco-tecnologías. Los resultados son robustos a variaciones en la definición de los grupos de tratamiento y control (según fuentes administrativas de datos y observaciones de la encuesta), y a la sub-muestra de viviendas con y sin aire acondicionado instalado.

La ausencia de impactos de las eco-tecnologías sobre el consumo de energía y temperatura se explican al menos en parte por la baja penetración de aire acondicionado (13%) en la población del estudio. La refrigeración del ambiente con acondicionadores de aire es una de las fuentes principales de consumo de energía en los modelos de eficiencia energética aplicados a las viviendas de estudio. Dado el número reducido de viviendas con aire acondicionado, la potencia estadística para medir impactos en este sub-grupo de viviendas es limitada. Sin embargo, no hay indicios de mejoras en consumo energético o temperatura ambiental aun limitando el análisis a esta sub-muestra de hogares. Por otro lado, la encuesta detectó que la mayoría de los residentes mantienen abiertas las ventanas de sus viviendas como forma de ventilación pasiva en días calientes, posiblemente atenuando los efectos de las eco-tecnologías. Si los aislantes no mejoran el confort térmico (con o sin acondicionamiento de aire), y si la eficacia de las ecotecnologías es sensible al comportamiento de los residentes, es pertinente analizar eco-tecnologías alternativas que consigan mejorar la temperatura ambiental en la ausencia de acondicionamiento de aire y sean menos vulnerables al comportamiento de los residentes.

El contexto del estudio corresponde a una de las primeras experiencias de instalación de ecotecnologías en el país, y esta evaluación de impacto constituye un primer esfuerzo por cuantificar empíricamente los efectos de eco-tecnologías en vivienda social bajo condiciones reales de construcción y habitabilidad. Cabe destacar que los resultados de este estudio provienen de un solo desarrollo y no son directamente extrapolables a otros contextos climáticos o proyectos con eco-tecnologías alternativas. Sin embargo, los resultados de esta evaluación arrojan aprendizajes para programas de vivienda que buscan impulsar la eficiencia energética y mejorar el confort de las viviendas de interés social. Primero, los modelos de

---

<sup>13</sup> El modelo de eficiencia energética utilizada para evaluar la eficiencia de las viviendas en este estudio toma el techo de 25 grados centígrados como límite de confort térmico por encima del cual se produce sobrecalentamiento.



simulación de eficiencia energética en las viviendas y la selección de eco-tecnologías deben considerar el contexto socio-económico de la población focalizada y el comportamiento de los residentes en el potencial aprovechamiento de las ecotecnologías. Segundo, las actividades de monitoreo y evaluación de los resultados en el terreno son importantes para verificar la efectividad de las eco-tecnologías. El monitoreo debe incluir la verificación empírica de los supuestos de los modelos de simulación, así como la evaluación rigurosa utilizando viviendas de tratamiento y control en diferentes contextos climáticos y utilizando eco-tecnologías alternativas. Las lecciones aprendidas en esta primera evaluación en relación con la medición rigurosa de resultados de temperatura y consumo de energía en el contexto de vivienda social servirán de insumos importantes para ejercicios de medición futuras. Juntos, la mejor adecuación de los modelos de simulación y la medición empírica de los resultados pueden generar un círculo virtuoso de aprendizajes fundamentados en la evidencia, con el objetivo final de identificar políticas de vivienda costo-efectivas para la reducción de CO<sub>2</sub>.