

Modelado matemático para la optimización de los recursos de mayor impacto económico ambiental en la vivienda



Fotografía: Isadora Martínez Díaz

GABRIELA DE JESÚS CÓRDOVA LARA
BLANCA ESTHELA SOLÍS RECÉNDEZ
SODEL VÁZQUEZ REYES
ATZIRY MAGALY RAMÍREZ AGUILERA
CLAUDIA REYES RIVAS
icegaby@uaz.edu.mx

Universidad Autónoma de Zacatecas
“Francisco García Salinas”

Resumen

En los últimos años, se ha establecido la necesidad de que las ciencias ambientales en su proceso de construcción actual, replanteen la forma de entender el consumo, que permitan generar estrategias que abonen al cambio climático. Bajo este escenario, el presente trabajo tiene como objetivo diseñar un modelo matemático que permita evaluar los consumos en tres rubros importantes dentro del hogar, que son el agua, el gas y la energía eléctrica, si se instalaran dispositivos tecnológicos que son ofrecidos en el mercado como ahorradores. Este modelo permitirá tener una clara idea de las ventajas que estos dispositivos pueden ofrecer con un análisis de los consumos, así como de los ahorros que se tendrían en los costos mensuales de los servicios.

Palabras Claves: Consumos, Modelo matemático, Optimización de recursos.

Abstract

In the last years, it was established the necessity in which environmental sciences in their construction process have to reevaluate the way for understand consumption, which will allow generate strategies that contribute to reduce climate change. Under this scenario, the present work aims to design a mathematical model, that allows the consumption evaluation in three important areas within the home, which are water, gas and electricity, if efficient technological devices that are offered in the market, were installed. This model will allow to have a clear idea of the advantages that these devices can offer with an analysis of the consumption, as well as savings that would have in monthly cost services.

Key words: Consumptions, Mathematical model, Resources optimization.

Introducción

Los cambios en los modos de vida, los patrones productivos y de consumo, así como la evolución de las tecnologías, han hecho surgir nuevas necesidades de carácter colectivo, que responden a desafíos y problemas como por ejemplo, gestionar mejor la energía que se consume en un hogar, mejorando su aprovechamiento, y por lo tanto, su eficiencia (Moro Vallina, 2011).

Uno de los entornos más importantes para los seres humanos son las viviendas, ya que éstas se han convertido no sólo en lugares de descanso, sino también en oficinas o lugares de trabajo, además de que se ha vuelto cada vez más importante gestionar de manera inteligente los consumos que se tienen principalmente de gas, energía eléctrica y agua, que son los tres principales consumos en una vivienda (Barrea Durango, Londoño Espina, Carvajal & Fonseca, 2012).

Sin embargo, la manera de ir incorporando nuevas tecnologías encaminadas a la gestión eficiente de los recursos, ha sido con la ayuda de personas que tengan conocimiento al respecto, convirtiendo cada diseño en algo personalizado y basando la solución en la experiencia de los diseñadores, además de que muchos usuarios no logran visualizar el costo beneficio de la adquisición de estas nuevas tecnologías dentro de sus viviendas (Wilson, Hargreaves & Hauxwell-Baldwin, 2017).

Ahora bien, según los resultados del INEGI, en el 2019, de los 47 millones de trabajadores en México, el 67% gana entre 1 y 5 salarios mínimos mensuales, de los cuales, un 45% de este ingreso se reparte entre vestido, calzado y servicios básicos de las viviendas (INEGI, 2018).

Por lo anterior, se ha vislumbrado la necesidad de diseñar un modelo matemático, que permita

evaluar los consumos en tres rubros importantes que son el agua, el gas y la energía eléctrica de una vivienda, si se instalarán dispositivos tecnológicos que son ofrecidos en el mercado como ahorradores, permitiendo al usuario tener una idea clara de las ventajas que estos dispositivos pueden ofrecer con un análisis de los consumos, así como de los ahorros que se tendrían en los costos mensuales de los servicios.

Antecedentes

Es hasta inicios de la década de los 90 del siglo XX, con la preparación de la Cumbre de la Tierra en Rio de Janeiro en 1992, que el consumo empieza a emerger como parte de las explicaciones relevantes para entender la problemática ambiental global y en consecuencia, se le empieza a asociar de manera consistente con reflexiones sobre la sostenibilidad (López Pérez & Guerrero Erazo, 2017).

Muchos de los discursos y propuestas de consumo han llevado a nuevos conceptos asociados a éste como las denominaciones verde, responsable, ecológico o sostenible, y así como la inclusión de este concepto en debates dentro del contexto del cambio climático, ya que el comportamiento de los consumidores de estos recursos ocupa una atención especial (López Pérez & Guerrero Erazo, 2017).

El consumo de recursos como el agua y la energía, más allá de los planteamientos tradicionales que lo asocian con conductas individuales y generadoras de problemas ambientales, establecen la necesidad de que las ciencias ambientales en su proceso de construcción actual, replanteen la forma de entender el consumo e incorporen las siguientes perspectivas (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, 2018):

- a) el consumo representa un conjunto de prácticas sociales que requieren ser mejor entendidas,
- b) la consolidación de la sostenibilidad ambiental y su incorporación al desarrollo, necesita entender si determinadas prácticas de consumo pueden o no ser ambientalizadas y en consecuencia, transformarse bajo la presunción de la sostenibilidad.

En los últimos años, las grandes empresas dedicadas de proveer de productos a los hogares han utilizado el término de consumo para ofrecer productos denominados ecológicos o ahorradores, contribuyendo a generar estrategias que permitan abonar a frenar el cambio climático (CEPAL, 2018). Sin embargo, entre las prácticas cotidianas de consumo de agua y energía en los hogares y las idealizaciones del consumo sostenible hay una complejidad que aún es necesario comprender en mayor magnitud, y que hace que la adquisición de los productos para la gestión eficiente de los recursos, no sea un tránsito fácil de realizar.

Por un lado, está la falta de poder adquisitivo de los usuarios, y por otra, la falta de información sobre los beneficios que realmente se pueden lograr con la adquisición de este tipo de productos ahorradores, ya que los usuarios no logran visualizar de manera clara, el costo beneficio de invertir en este tipo de tecnologías (Wilson, Hargreaves & Hauxwell-Baldwin, 2017).

METODOLOGÍA

Definición de la población de estudio

Para este estudio en particular se decidió optimizar el consumo de los recursos en tres rubros importantes que son el agua, el gas y la energía eléctrica,

siendo los tres principales por el gasto económico que generan en las viviendas según resultados del INEGI (INEGI, 2018).

Para cada uno de los rubros establecidos fue necesario realizar un análisis que permitiera determinar los consumos que se tienen actualmente en cada uno de estos. En particular, se decidió realizar el estudio en el Estado de Zacatecas, propiamente en los municipios de Zacatecas y Guadalupe, considerando las viviendas que se engloban en el segundo de los cajones salariales según el INFONAVIT (Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores), es decir, para personas que perciben un salario mensual entre 4 y 10.99 veces el salario mínimo vigente.

Ahora bien, para tener una población homogénea, fue necesario acotar el análisis a viviendas cuyas variables de estudio sean semejantes, es decir, que tienen características similares en las diferentes variables a considerar, como la cantidad de personas que las habitan y, por lo tanto, los consumos en servicios a ser analizados.

El universo a estudiar es el total de créditos otorgados por el INFONAVIT en el año 2018, con un total de 1,578 créditos aprobados y entregados a los trabajadores que se encuentran dentro de ese rango salarial (INEGI, 2018).

Para el estudio se utilizó como instrumento de medición una encuesta exploratoria, en la cual se estableció un nivel máximo de error del orden del 7%, y un mínimo nivel de confianza del 93%, por lo que el tamaño de la muestra resultante fue de 174 encuestas, siendo aplicadas 180 en total. De la encuesta, los datos obtenidos en cuanto a los consumos en agua, gas y energía, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Promedio de consumos en los servicios básicos en la población de estudio.

Promedio de consumos		
Agua	Energía eléctrica	Gas
El 71.3% de la población consultada, consume 3890 litros de agua por día.	El consumo de manera bimestral en promedio es de 345 kw-hr.	El 82.4% menciona que se termina 30L de gas (lo que contiene un cilindro) en aproximadamente un mes y medio.

Análisis de la información

El análisis de los datos obtenidos por la encuesta, permitieron definir que se tiene un consumo aproximado de 972.5 L de agua al día por persona, y que las familias que viven en este tipo de hogares están conformadas, en su mayoría, por cuatro integrantes, por lo que el consumo de agua en total por vivienda es de 3,890 L al día. Con esta información se realizó la selección de los dispositivos que en primer instancia pueden ser incorporados en las viviendas para optimizar este rubro. Los dispositivos seleccionados son el sanitario, la regadera, así como las llaves tanto de fregadero como de lavabo.

La razón es que en estos se ve reflejado el mayor consumo de agua que corresponde a 930 L del total de agua consumida en la vivienda, según información de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Para el caso del consumo de gas, en una vivienda promedio, un cilindro de gas de 30 kg se consume aproximadamente en un mes y medio, lo que corresponde a un gasto de 18 kg mensuales.

Según datos publicados en el reporte de la Eficiencia Energética en México (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018), el 27.5 % del gas se gasta en la cocción de alimentos, mientras que el 47 % se usa en el calentamiento de agua.

En este sentido, como mejor propuesta tecnológica se propone el uso de calentadores solares,

con los cuales se puede tener un ahorro de hasta 80% del consumo actual, sobre todo en países como México, donde la cantidad de luz natural es de hasta 10 horas diarias en verano. Finalmente, para el rubro de energía eléctrica, se tiene que en una casa promedio, se gastan de manera bimestral la cantidad de 345 kw-hr. De este consumo la cantidad usada para la iluminación corresponde a un 27 % del total de los kw-hr, esto según el informe de Eficiencia energética en México (CEPAL), 2018).

Al igual que para los otros rubros, existe una variedad muy amplia de elementos que pueden ser incorporados para el caso del ahorro de energía eléctrica, sin embargo, sólo se considera para el diseño del modelo el uso de tres tipos de celdas solares como alternativas presentados como kits solares 1, 2 y 3 respectivamente, así como el uso de focos ahorradores.

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

- El primero de ellos será el conjunto que representará a los dispositivos.
- El segundo de ellos será el conjunto que representará a los consumos. Dentro de este segundo grupo existen dos subconjuntos, los cuales representan los consumos que se tienen actualmente y los consumos que se

tendrían con los nuevos productos, ambos en los tres rubros establecidos, y que serán representados por y respectivamente.

- Finalmente, el tercero de ellos es el conjunto I, que representa la inversión necesaria para los nuevos dispositivos. Este conjunto permitirá realizar el análisis del retorno de inversión.

Descripción del conjunto de dispositivos

Como se había mencionado anteriormente, los dispositivos considerados para el modelo están divididos en tres rubros que son el agua, el gas y la energía eléctrica, y el total de dispositivos serán los indicados como óptimos de cada rubro para ser implementados en las viviendas. Entonces, el conjunto de dispositivos queda descrito por la siguiente ecuación:

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

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

De acuerdo a la ecuación 1, los dispositivos considerados para el rubro del agua estarán representados como D_1 , y esta a su vez está formada por cada uno de los dispositivos considerados dentro de este rubro. De esta manera, la ecuación 2 representa a todos los dispositivos para el agua, la ecuación 3 representa a todos los dispositivos para el rubro del

gas y la ecuación 4 representa a todos los dispositivos para el rubro de la energía eléctrica.

$$D_1 = \sum_{i=1}^n DA_i \quad (2)$$

$$D_2 = \sum_{i=1}^n DG_i \quad (3)$$

$$D_3 = \sum_{i=1}^n DE_i \quad (4)$$

Descripción del conjunto de consumos

Las viviendas tienen cierto consumo en cada uno de los rubros que se han establecido como los principales a ser optimizados. Estos consumos serán agrupados en un conjunto que ha sido denominado “consumos actuales” representados por CA .

También es necesario considerar las características de consumo de todos los dispositivos que serán propuestos para generar un ahorro en cada uno de los rubros. En este sentido, si son instalados en las viviendas como dispositivos sugeridos, los consumos en las viviendas sufrirán de ciertas variaciones. A estos nuevos consumos se les agrupa en un conjunto que será denominado “nuevos consumos” y representados por CN .

Sin embargo, para poder procesar la información, todos los consumos deberán ser representados con el gasto en dinero que generan, ya que de no ser así, estos elementos no pueden ser manejados algebraicamente debido a que tienen diferentes unidades de medida. Entonces, para poder realizar el análisis completo de los consumos de los dispositivos e inclusive, en algunos casos para realizar el cálculo monetario de los mismos, es necesario realizar el análisis de los consumos tanto en porcentaje como en dinero, además de que es necesario realizar la normalización de los mismos.

De acuerdo con lo anterior, las ecuaciones en cada rubro y considerando que se requiere conocer el ahorro con valores ya normalizados, los consumos actuales quedan representados por la ecuación 5.

$$CA_D = \sum_{i=1}^n CA_{Di} \quad (5)$$

En donde CA_D representa el consumo total que se tiene actualmente de manera monetaria de los tres rubros, n representa la cantidad de rubros a considerar que en este caso son tres, en tanto que CA_{Di} representa el consumo normalizado para cada uno de los rubros.

Asimismo, para el caso de los nuevos consumos representados en dinero y con datos normalizados se tiene la siguiente ecuación:

$$CN_D = \sum_{i=1}^n CN_{Di} \quad (6)$$

Donde CN_D representa el consumo de los nuevos dispositivos de manera monetaria, n representa los rubros en los cuales se establecerán nuevos productos, en tanto que CN_{Di} representa el consumo normalizado que cada uno de los dispositivos tiene respectivamente.

Descripción del conjunto de inversión

Para poder implementar estas nuevas tecnologías, es necesario realizar una inversión inicial en cada uno de los rubros. Esta inversión inicial tiene una relación directa con los costos de los productos, siendo este análisis uno de los más importantes, ya que permitirá proporcionar la información precisa del costo beneficio que se puede obtener, así como el retorno de inversión.

La ecuación que representa la inversión inicial total, es decir, que incluye los dispositivos que de-

ben de ser comprados para optimizar los tres rubros considerados de acuerdo al análisis, es la siguiente:

$$I_D = \sum_{i=1}^n I_{Di} \quad (7)$$

Donde I_D representa la inversión inicial total en los rubros, n representa la cantidad de rubros a ser considerados, en tanto que I_{Di} representa la inversión individual de cada uno de los rubros a ser considerados.

RESULTADOS

Modelo lineal

La ecuación que representa el modelo matemático para la optimización de los recursos, es la combinación lineal del conjunto de dispositivos con el conjunto de los consumos y con el subconjunto de los ahorros generados para cada uno de los rubros. Estas ecuaciones se plantean para cada uno de los rubros propuestos y son las siguientes:

$$f(1) = \sum_{i=1}^n (DA_i)(CN_{(D1)i}) \quad (8)$$

$$f(2) = \sum_{i=1}^n (DG_i)(CN_{(D2)i}) \quad (9)$$

$$f(3) = \sum_{i=1}^n (DE_i)(CN_{(D3)i}) \quad (10)$$

De las ecuaciones anteriores, $f(1)$ es la ecuación que representa los nuevos consumos con la implementación de los dispositivos ahorradores en el rubro del agua, $f(2)$ en el rubro del gas y $f(3)$ para el rubro de la energía eléctrica.

De estas ecuaciones, n representa el número de los diferentes dispositivos contemplados para ser implementados en cada rubro, en tanto que (DA_i) , (DG_i) y (DE_i) representan la cantidad de dispositivos que son necesarios en el rubro del agua, del gas

y de la energía respectivamente, mientras que $(CN_{(D1)_i})$, $(CN_{(D2)_i})$ y $(CN_{(D3)_i})$ representan los nuevos consumos en cada rubro.

Ecuación general

La combinación lineal de las tres funciones anteriores, permite definir la ecuación 11 que representa la función objetivo del modelo de optimización para la implementación de nuevas tecnologías en las viviendas, y es la siguiente:

$$F(M) = \sum_{i=1}^n f(i) \quad (11)$$

$F(M)$ la función objetivo y representa los nuevos consumos generados por todos los dispositivos en los rubros establecidos por el usuario, n representa el número total de rubros a ser considerados, en tanto que $f(i)$ representa el ahorro generado en cada rubro de acuerdo a los dispositivos adquiridos, y que permitirán maximizar el ahorro en el consumo de recursos de manera mensual, reflejados en el gasto de las familias.

Definición de las restricciones

Todo modelo de optimización tiene una serie de restricciones, definidas por las limitaciones del mismo. La ecuación general del modelo (11) tiene las restricciones que se mencionan a continuación, las cuales serán representadas por medio de inecuaciones lineales:

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

$$CN_D < CA_D$$

2. No necesariamente se deben de cambiar todos los dispositivos en los rubros establecidos, y el número de dispositivos a ser cambiados no debe ser menor a cero, por lo tanto:

$$0 \leq D \leq D_P$$

Donde D representa el conjunto de dispositivos en los diferentes rubros, y D_P representa el número de dispositivos que se propone cambiar.

3. El número de dispositivos que se cambien debe ser un valor entero, es decir, no se puede comprar medio sanitario o media regadera, entonces:

$$D_P = \text{Entero positivo}$$

4. Para el caso de la energía eléctrica, se deben de cambiar la totalidad de los focos (DE_1) que son usados en la vivienda, que para el caso de las viviendas evaluadas, según la encuesta aplicada, tienen en promedio 8 focos. Entonces:

$$DE_1 = 8$$

Conclusiones

Es evidente la necesidad cada vez mayor de replantear la manera en la que se consumen los recursos en todos los ámbitos, sobre todo los no renovables, de tal manera que se pueda contribuir a reducir el cambio climático.

Resulta evidente que los hogares son grandes consumidores de recursos sobre todo del agua, del gas y de la energía eléctrica, debido a la demanda creciente de servicios, ya sea por el crecimiento poblacional o por el crecimiento de la población urbana, lo que deriva en buscar estrategias que permitan eficientar el uso de los mismos, beneficiando

no sólo a los usuarios, sino también a la reducción en la huella ecológica.

Sin embargo, y a pesar de que en México se han establecido estrategias como las llamadas hipotecas verdes, los usuarios no tienen una percepción clara de los beneficios que se pueden obtener en sus hogares al invertir en dispositivos de los denominados ahorradores o ecológicos, ya que para muchos, los datos indicados por los proveedores, carecen de sentido al no tener una manera de realizar un comparativo y con este, poder obtener el costo beneficio de la adquisición de los mismos.

Con el análisis de los consumos que se tienen actualmente en las viviendas, así como la definición de las variables y restricciones que se tienen, permitieron el diseño del modelo matemático. Con éste, se puede modelar el comportamiento de los consumos actuales y nuevos consumos en una casa habitación como la descrita anteriormente.

En dicha modelación, el usuario podría establecer la inversión inicial, así como el rubro en el que desea invertir más, con lo cual se podría presentar al usuario final la mejor alternativa tecnológica que puede ser adquirida e implementada en su hogar, que permita tener el mayor beneficio no sólo económico, sino en la reducción de la demanda del recurso.

Al poder modelar dicha situación, los usuarios podrían conocer los ahorros que se podrían lograr con la incorporación en sus viviendas de productos ahorradores. Que el usuario final posea esta información permitirá no sólo disminuir la brecha para lograr las metas propuestas por los diferentes programas establecidos para eficiencia en los consumos, sino también, se tendrá un beneficio social que impactará de manera directa en un aumento de la calidad de vida de los usuarios.

Referencias

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2018). *Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energética de México*. Ciudad de México: Publicación de las Naciones Unidas.
- CONAGUA. (n.d.). *Archivo histórico y biblioteca central del agua*. Retrieved 20 de Junio de 2014 from CONAGUA: <http://www.conagua.gob.mx/catalogoBCA/>
- López Pérez, F., & Guerrero Erazo, J. (2017). Consideraciones ambientales sobre las prácticas de consumo de agua y energía en hogares urbanos. *Espacios*, 38 (59), 28-41.
- Barra Durango, M., Londoño Espina, N., Carvajal, J., & Fonseca, A. (2012). Análisis y diseño de un prototipo de sistema domótico de bajo costo. *Revista Facultad de Ingeniería* (63), 117-128.
- INEGI. (2018). *Senso de población y vivienda 2018*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, dirección General de Estadística. Ciudad de México: Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica.
- Moro Vallina, M. (2011). *Instalaciones domóticas. Electricidad-Electrónica*. (M. J. López Razo, Ed.) Madrid, España: Paraninfo.
- Wilson, C., Hargreaves, T., & Hauxwell-Baldwin, R. (2017). Benefits and risks of smart home technologies. *Energy policy* (103), 72-83.







