

# VALORACIÓN AMBIENTAL DE VIVIENDA RURAL TIPO CON EL MÉTODO DE LA eMERGÍA

—

J. Alejandro Ruiz Sibaja<sup>1</sup>  
asibaja@unach.mx

Hugo A. Guillén Trujillo<sup>1</sup>  
hguillen@hotmail.com

Daisy Escobar Castillejos<sup>1</sup>  
daisyec@hotmail.com

José Alonso Figueroa Gallegos  
jalonsofg@gmail.com

FACULTAD DE INGENIERÍA, CAMPUS I,  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

1 GRUPO UNIVERSITARIO INTERDISCIPLINARIO AMBIENTAL (GUIA)

Para citar este artículo:

Escobar, D., Figueroa, J., Guillén, H. y Ruiz, J. (2018) Valoración ambiental de vivienda rural tipo con el método de la eMergía. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 7 (16) 75-99. doi: 10.31644/IMASD.16.2018.a04

## RESUMEN

En este trabajo se presentan las principales características de tres tipos de vivienda rural (considerando sus materiales y su tipología estructural), del municipio de Yajalón (Chiapas), y se realiza su valoración ambiental, por medio de un análisis emergético por insumos. Se hicieron 30 visitas de campo, a fin de recabar la información necesaria para llevar a cabo este estudio. Además de esta información, se utilizaron el catálogo de conceptos de obra, y los gastos de mantenimiento y operación para obtener, mediante la eMergía, los índices emergéticos correspondientes y de esta manera determinar la sostenibilidad de estas viviendas.

### Palabras clave

*Evaluación ambiental; recursos renovables; recursos no renovables; forma de energía; transformidad.*

## ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF RURAL HOUSING WITH THE eMERGY METHOD

— *Abstract* —

This paper presents the main characteristics of three types of rural housing (considering its materials and its structural typology), from municipality of Yajalón (Chiapas), and its environmental assessment is carried out, through an energetic analysis of inputs. A total of 30 field visits were carried out in order to gather the necessary information to carry out this study. In addition to this information, the catalog of construction concepts and maintenance and operation costs were used to obtain, through the eMergy, corresponding energetic indices and in this way the sustainability of these houses was determined.

### Keywords

*Environmental assessment; renewable resources; non-renewable resources; energy form; transformity.*

**E**l constante deterioro actual del medio ambiente obliga a tomar en cuenta el aspecto ambiental en casi todas las actividades que se realizan. Y es en el área de construcción donde debe prestarse mayor atención, debido a que esta actividad es la que provoca más cambios radicales en el medio original.

Uno de los productos de la industria de la construcción es la vivienda, que constituye la célula básica de los asentamientos humanos. La vivienda permite la agrupación de las personas, usualmente familias, con fines especializados relacionados con el reposo, la alimentación y la vida en común. La vivienda compone una representación del individuo, en ella se reflejan las estructuras sociales y con ella las jerarquías y los sistemas de privilegio que resaltan a unos individuos sobre otros.

La vivienda puede erigirse en el campo de forma aislada o integrada a pequeños asentamientos de base; también puede construirse en núcleos poblacionales significativos. En el primer caso se le denomina vivienda rural, en el segundo, vivienda urbana.

Las viviendas rurales suelen ser construcciones independientes, inconexas, o sólo débilmente enlazadas por caminos, con un rudimentario ordenamiento de agrupación que no impide un equilibrio individual con el entorno. En su mayoría carecen de suministro de agua, sistemas de eliminación de residuos sólidos y líquidos, energía eléctrica y telefonía.

Las viviendas rurales presentan insumos de energía que pueden ser renovables, no renovables y flujos adquiridos o importados. Estos insumos, a su vez, afectan al medio ambiente. En consecuencia, es preciso estudiar la sostenibilidad de estas viviendas, a través de una metodología capaz de integrar indicadores ambientales, económicos y sociales. Tal metodología de evaluación ambiental es la *eMergía*.

La *eMergía* es la suma de todos los insumos energéticos, directa o indirectamente, necesarios para que un proceso pueda proporcionar un producto o servicio determinado, cuando los insumos se expresan en la misma forma o tipo de energía, habitualmente la energía solar.

En los últimos 30 años, esta técnica ha mostrado una gran capacidad para evaluar la sostenibilidad de viviendas rurales y urbanas. Consiste, básicamente, en medir la calidad de las diferentes formas de energía que se han usado, directa o indirectamente, en las transformaciones necesarias para generar un producto o servicio.

Técnicamente, se define la eEmergía como la cantidad de energía solar para realizar un producto, su unidad es el *joule* solar (seJ). Aunque la energía se conserva según la primera ley de la termodinámica, de acuerdo con la segunda ley, la capacidad de la energía para realizar un trabajo se agota y no puede reutilizarse. Por definición, la eEmergía solar solo se conserva en una cadena de transformaciones hasta que se agota la capacidad de realizar trabajo de la energía final restante (generalmente en realimentaciones interactivas). Esta serie de transformaciones hacen necesario acudir al concepto de *Transformidad*, que es la cantidad de energía directa o indirecta requerida para producir por unidad de energía útil (10,000 seJ/J madera, por ejemplo). Dicho de otro modo, es la medida de energía que se requiere para transformar un tipo de energía en otro. Establece la jerarquía ecológica en un análisis de energía.

En los análisis emergéticos se incluyen variables ambientales, sociales y económicas y se calculan índices como herramientas de comparación para diferentes sistemas.

Debido a que la eEmergía es capaz de evaluar los flujos de energía de los sistemas, de forma tal que se pueden comparar los aspectos ambientales y financieros de estos, en este trabajo se realiza una valoración ambiental de tres tipos de vivienda rural, mediante un análisis emergético por insumos. Se calculan las cantidades de los recursos naturales, de los no naturales, de los materiales (o fuentes externas) y de los servicios. Estos factores se multiplican por la transformidad de cada insumo, para obtener la eEmergía total o transformidad de las viviendas en estudio, finalmente se obtienen los índices emergéticos de las viviendas.

## ANTECEDENTES

Las áreas rurales de los países en vías de desarrollo están económicamente deprimidas con relación a los centros urbanos. Ello se traduce en una tendencia a la migración. Los patrones de crecimiento, de la expectativa de vida y del índice de nacimientos, no pueden ser asumidos por la economía del minifundio. La causa principal se encuentra en factores económicos. El desarrollo industrial y con ello la demanda de fuerza de trabajo, ha originado la migración de la población rural como alternativa a la precariedad de la economía agraria.

En el ámbito rural, las distancias entre suministradores y consumidores son grandes, por lo que la transportación consume mayor tiempo. Las bajas

densidades de población, a su vez, hacen menos eficientes la conducción de negocios para el consumo minorista. Los precios de los bienes y la tierra (excepto en áreas agrícolas ricas) tienden a ser más bajos, pero el costo de la construcción y la transportación es mayor.

Con frecuencia, el medio rural depende de las fluctuaciones de precios de sus productos. La economía tiende a ser estacional. La infraestructura es relativamente pobre debido a que la inversión es menos productiva en asentamientos poco densos. Además, las sociedades rurales tienden a ser conservadoras y tradicionales, pese a que, el desarrollo de las comunicaciones ha reducido el aislamiento.

En el medio rural estudiado (Yajalón, Chiapas) la mayoría de las viviendas se edifican mediante la autoconstrucción, con materiales inadecuados o poco resistentes, sin atender a una normativa y sin asesoría técnica. Normalmente, estas viviendas carecen de redes de agua potable, de drenaje sanitario y de energía eléctrica. Su piso es de tierra y es común el hacinamiento.

Estas viviendas se ubican en un espacio conocido como solar cuyas dimensiones varían entre 1000 y 1500 m<sup>2</sup>. Con frecuencia, este terreno dispone una amplia variedad de plantas frutales, ornamentales y aromáticas, que además de proveer frutos y productos diversos para la familia, proporcionan sombra a los habitantes de la vivienda. Es habitual la crianza de aves de corral y de cerdos domésticos. Se acostumbra tenerlos sueltos en el solar, e incluso, dentro de la vivienda.

Es usual que la edificación no tenga ventanas, o bien, que las ventanas estén clausuradas con madera o tela. Las primeras viviendas estaban hechas con materiales de la región (techos de palma, madera y bajareque). Sin embargo los techos de palma acumulaban muchos animales y plagas que afectan la salud de la familia y tenían escasa duración. Se sustituyeron por techos de lámina galvanizada para mayor duración y protección de la lluvia. Poco a poco se fueron cambiando las paredes de tierra por madera, por ser un material más accesible y fácil de trabajar (ver Figura 1).

**Figura 1.** Vivienda rural típica de Yajalón (Chiapas), con paredes de madera y techo de lámina.



Con el ingreso de programas de apoyo para mejoramiento de las viviendas, por parte del gobierno, se inició el uso indiscriminado del bloque de concreto, sin generar a la par un modelo adecuado de vivienda. Surgió así el prototipo modelo llamado modelo nuevo milenio, cuyas paredes y techos son todas de lámina galvanizada, y son producto generalmente de los excedentes de las donaciones de láminas que llegan con frecuencia a las comunidades (ver Figura 2).

**Figura 2.** Vivienda rural típica de Yajalón (Chiapas), con paredes de bloque de concreto y techo de lámina.



En muchos casos la vivienda consiste en un espacio único de 30 a 40 m<sup>2</sup>, en los que se ubican 1 ó 2 camas para toda la familia, de 7 a 10 personas. En otros casos existe una división en medio, para formar 2 habitaciones, con el fin de separar las recámaras de padres e hijos.

Esta vivienda rural, presenta condiciones desfavorables de habitabilidad. Los dormitorios carecen de divisiones internas y muebles para acomodar

la ropa y pertenencias, existe insalubridad por exceso de humedad y plagas de insectos y animales. Además no existe privacidad ni intimidad al interior, se mezclan los espacios de padres e hijos.

Por lo general la cocina es un espacio apartado de la habitación, en muchas ocasiones es una construcción pequeña, improvisada, y que no cuenta con espacios apropiados para sus utensilios. El piso es de tierra y puesto que no hay ventanas, no dispone de iluminación ni ventilación.

Dentro de la cocina, el fogón es una pieza importante. Usualmente tiene una base de madera, está abierto y solo usa un tripie de metal sobre el que se ponen las ollas. Es un utensilio que gasta demasiada leña, y además genera mucho calor y contaminación por humo (ver Figura 3).

**Figura 3.** Fogón representativo de vivienda rural típica de Yajalón (Chiapas).



**Figura 4.** Letrina representativa de vivienda rural típica de Yajalón (Chiapas).



La letrina constituye un punto crítico en la vivienda rural (ver Figura 4). Con frecuencia carece de un pozo adecuado para los desechos, y es fuente de enfermedades, de proliferación de mosquitos y roedores, de malos olores y de suciedad. En el peor de los casos, las comunidades realizan sus necesidades físicas al aire libre, lo cual constituye un foco de contaminación y propagación de enfermedades.

Estas condiciones causan grandes impactos sobre la diversidad y potencial natural de la zona, dando lugar a su explotación y degradación. Se insiste por ello en la necesidad de un desarrollo rural que haga frente a dichos problemas, que no solo afectan a sus habitantes sino al conjunto del entorno. Es vital, por lo tanto, mejorar el desempeño ambiental y energético de las viviendas rurales si se quiere lograr un desarrollo sostenible.

La protección ambiental tiene significados diversos en las áreas rurales. Si ella favorece las ventajas de sus habitantes será acogida favorablemente. Si se percibe como una amenaza a la comunidad con el cambio de las prácticas agrícolas, sustracción de los recursos de su empleo económico o interferencia con la construcción o el desarrollo de infraestructura, no será favorecida.

No obstante, como ya se mencionó, muchos de los asentamientos rurales carecen de sistemas de infraestructura, de servicios y de equipamientos que les proporcionen una adecuada calidad de vida. En este sentido, se necesita medir y valorar la calidad de vida o calidad ambiental de los asentamientos rurales, para mejorar las condiciones físicas del medio construido y de sus habitantes.

## METODOLOGÍA

En este trabajo se utiliza la metodología de contabilidad ambiental llamada eMergía, para evaluar la sostenibilidad de tres tipos de vivienda rural de Chiapas. Este es un método biofísico, desarrollado por Odum (1996), y se basa en el análisis de la energía con memoria, para llevar de una manera correcta la contabilidad de los servicios que proveen los ecosistemas de forma gratuita. EMergía es pues, la suma de toda la energía de una forma, necesaria para desarrollar un flujo de energía de otra forma, en un período de tiempo dado. Esta herramienta es utilizada para comparar la obra de la naturaleza con la de los humanos sobre una base justa y equitativa. Tiene la capacidad de representar, al mismo tiempo, las contribuciones de la naturaleza y la economía en una única unidad y criterio, proporcionando un diagnóstico de evaluación comparativa, entre los diferentes resultados del desempeño ambiental en el tiempo (Guarnetti *et al*, 2006).

El análisis de eEmergía está diseñado para evaluar los flujos de energía y materiales de los sistemas en unidades comunes (joule solar, seJ) que permitan al analista comparar aspectos ambientales y financieros de los sistemas (Guillén Trujillo, 1998).

Se reconocen tres insumos energéticos distintos: locales renovables, locales no renovables y flujos adquiridos o importados. Gracias a la división de los insumos energéticos de la comunidad en estos términos, es posible realizar varios cálculos muy esclarecedores: la tasa de carga medioambiental de la población, su tasa de rendimiento energético y, lo que es más importante, su índice de sostenibilidad. En los análisis emergéticos, se incluyen variables ambientales, sociales y económicas y se calculan índices como herramientas de comparación para diferentes sistemas. En este trabajo, se calculan índices emergéticos y financieros para determinar la sostenibilidad en la construcción de las viviendas propuestas.

1. Definición de los límites espacio-temporales del sistema investigado.
2. Reunión de datos en campo, para cada vivienda, con el propósito de determinar las cantidades físicas de recursos renovables, no renovables, materiales y servicios que son parte del sistema estudiado.
3. Modelación del sistema, mediante diagramas de flujo de materia y energía, utilizando la simbología energética (Odum, 1994), de la interacción entre las fuentes externas e internas del sistema, y los sistemas productivos naturales y antrópicos, así como los flujos de salida del sistema y la retroalimentación del mismo.
4. Simplificación de los modelos para capturar las principales entradas y salidas al sistema, así como otros flujos que explican el funcionamiento interno del mismo. Se consideraron los principales flujos del sistema: R (flujo de eEmergía renovable), N (flujo de eEmergía no renovable local), M (materiales y herramientas), S (servicios y mano de obra) e Y (eEmergía utilizada por el sistema).
5. Construcción de una tabla con los principales flujos de eEmergía.
6. Cálculo de índices emergéticos.

Puesto que este estudio analiza la sostenibilidad de tres viviendas, con características comunes, se evaluaron tres fases por separado: construcción, mantenimiento y operación. Para la fase de construcción se calcularon los volúmenes de obra y se llevó a cabo el análisis de precios unitarios. Esto permite cuantificar los materiales utilizados en la construcción de cada vivienda.

En lo referente a las etapas de mantenimiento y operación, la base de datos se integró mediante 30 encuestas de campo, realizadas entre los habitantes de

Arroyo Carrizal, municipio de Yajalón (Chiapas). Estas encuestas recabaron información sobre las condiciones físicas y económicas de las viviendas, además de datos acerca de los costos de operación y mantenimiento (Cruz Vázquez, 2015).

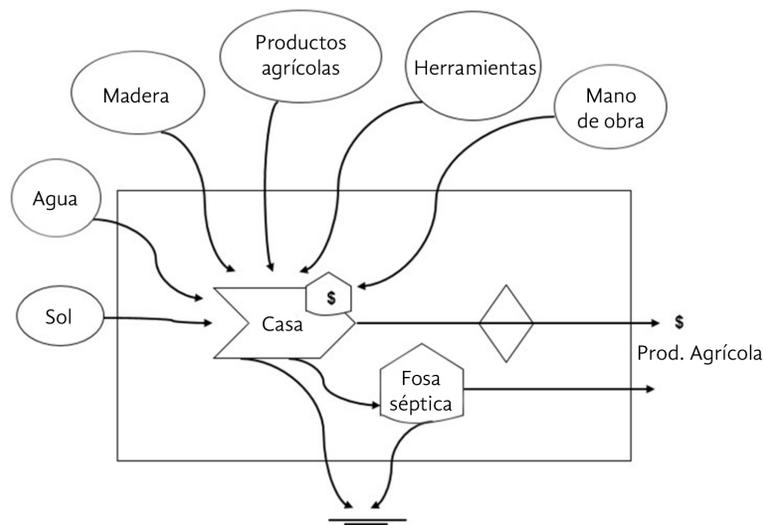
La evaluación ambiental de las viviendas se efectuó considerando el entorno ambiental en que se encuentran, los principales recursos y los materiales de la edificación. Se identificaron los recursos naturales, los recursos no naturales y las fuentes externas, y se utilizó su transformidad.

Esta última, la transformidad, es la cantidad de eMergía introducida al sistema por unidad de energía útil generada. Por ejemplo, si se requieren 10000 emjulios solares, para generar un julio de madera, entonces la transformidad solar de la madera será de 10000 emjulios solares por julio (seJ/J, en su forma abreviada). Por definición, la transformidad de la luz solar absorbida por la Tierra es 1.0.

Se cuantificaron las cantidades de cada uno de los recursos y finalmente, se multiplicaron estas cantidades por la transformidad para obtener la eMergía solar.

La modelación del sistema, considerando el flujo de materia y energía, para las viviendas estudiadas, se resume en la Figura 5. Este diagrama muestra las fuentes externas al sistema (sol, lluvia, trabajo humano, etc.), la interacción del vivienda con estas fuentes externas, la interacción entre lo que el sistema produce y la economía, y la salida no aprovechable del sistema.

**Figura 5.** Diagrama de flujo de energía de la vivienda rural.

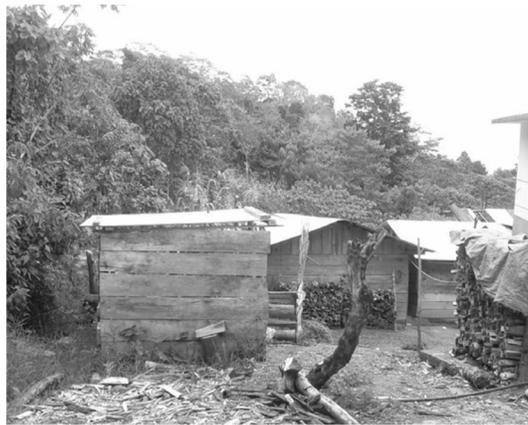


## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El solar en que se encuentra la vivienda rural 1, cuenta con un área total de 476 m<sup>2</sup>, consta de dos edificaciones independientes. Una edificación sirve de cocina y comedor, y otra se usa como dormitorio. Ambas edificaciones tienen piso de tierra apisonada, paredes y puertas de madera de pino de la región y techo de lámina metálica. También existe un baño en el exterior, sin tanque de almacenamiento, paredes de bloque de concreto, puerta de herrería y techo de lámina metálica y una fosa séptica en la que se reciben todos los desechos del baño. En la Figura 6, se muestra la vivienda rural 1.

El terreno donde halla la vivienda rural 2, tiene una superficie total de 688 m<sup>2</sup>, está conformada por dos edificaciones independientes. Una de ellas funciona como habitación, con paredes de tablas de pino de la región, puertas y ventanas del mismo material que las paredes, techo de lámina metálica y piso de concreto. La otra edificación se usa como cocina, consta de paredes y puerta de tablas de pino de la región, piso de tierra apisonada, y techo de lámina metálica. El baño está situado en el exterior, sin tanque de almacenamiento, tiene paredes de bloque de concreto, techo de lámina metálica y está conectado a una fosa séptica. En la Figura 7, se muestra la vivienda rural 2.

**Figura 6.** Vivienda rural 1.



**Figura 7.** Vivienda rural 2.



El terreno donde se encuentra la vivienda rural 3, tiene 967 m<sup>2</sup> de superficie total, dispone de dos edificaciones independientes y un baño aislado. Una de las edificaciones se utiliza como habitación, cuenta con paredes de bloque de concreto, puertas y ventanas de tablas de pino de la región, techo de lámina metálica y piso de tierra apisonada. La otra edificación es la cocina, de paredes y puerta de tablas de pino de la región, piso de tierra apisonada y techo de lámina metálica. El baño no tiene tanque de almacenamiento, está conectado a una fosa séptica, cuenta con paredes son de bloque de concreto, puerta de herrería y techo de lámina metálica. En la Figura 8 aparece la vivienda rural 3.

**Figura 8.** Vivienda rural 3.



Con base en la Figura 5 y en la cuantificación de los materiales que se utilizan en cada vivienda rural, para su construcción, operación y mantenimiento, se obtuvieron las Tablas 1, 2 y 3. En éstas, la información se clasifica en los

siguientes apartados: recursos renovables, recursos no renovables, recursos externos materiales, herramienta y mantenimiento y operación.

Se evaluó la radiación solar que se presenta durante los procesos de construcción, operación y mantenimiento. También se consideraron: erosión del suelo (aceptando que esta es la pérdida de materia orgánica equivalente al volumen de excavación, aproximadamente 3% del volumen de 1 m<sup>3</sup>), combustibles, maquinaria, herramienta menor y la mano de obra (calorías del metabolismo humano por hora por Joules por calorías por horas de mano de obra trabajadas). El cálculo detallado de la columna de Unidades Primas aparece en el trabajo de Vázquez Díaz (2016), de esta misma referencia se tomaron los datos de la columna de Transformidad. En las Tablas 1, 2 y 3 los datos de la columna de Unidades Primas, se multiplican por los datos de la columna de Transformidad y se obtiene la eMergía Solar en la última columna. Para la vivienda rural 1 se observa, en la Tabla 1, que 45% de la eMergía proviene de la energía de la madera, un recurso renovable y que 39% procede del concreto, un recurso no renovable.

Para la vivienda rural 2 se aprecia, en la Tabla 2, que 31% de la eMergía se deriva de la energía de la madera, un recurso renovable y que el 58% procede del concreto, un recurso no renovable.

Finalmente, para la vivienda rural 3 se concluye, en la Tabla 3, que 48% de la eMergía proviene de la energía del concreto, un recurso no renovable, que 21% se deriva del bloque de concreto y que 6% resulta de la madera, un recurso renovable.

**Tabla 1.** Valoración ambiental de la vivienda rural 1.

Nota	Concepto	Unidades Primas (unidad/viv.)		Transformidad (sej/unidad)	eMergía Solar (sej/viv.)
Recursos renovables					
1	Energía solar	3.09E+11	J	1.00E+00	3.09E+11
2	Madera	3.85E+10	J	6.79E+08	2.61E+19
Recursos no renovables					
3	Suelo	1.28E+10	J	7.37E+04	9.42E+14
4	Acero	3.44E+05	g	3.16E+09	1.09E+15
5	Concreto	1.26E+07	g	1.81E+12	2.27E+19
6	Mortero	4.61E+05	g	3.31E+12	1.53E+18
Materiales					
7	PVC	3.92E+04	g	9.86E+12	3.86E+17
8	Cobre	2.08E+04	g	3.36E+09	7.00E+13

9	Lámina galvanizada	3.56E+05	g	3.16E+09	1.13E+15
10	Bloque	2.17E+06	g	3.68E+12	7.99E+18
11	Diesel	2.22E+09	J	6.60E+04	1.46E+14
12	Herramienta menor	2.18E+02	g	6.70E+09	1.46E+12
Servicios					
13	Mano de obra	3.87E+08	J	4.77E+06	1.85E+15
<b>eMergía total para la construcción de la vivienda =</b>					<b>5.87E+19</b>
Mantenimiento					
14	Madera	3.45E+09	J	6.79E+08	2.34E+18
15	Lámina	3.59E+04	g	3.16E+09	1.13E+14
16	PVC	2.46E+03	g	9.86E+12	2.43E+16
<b>eMergía total para el mantenimiento de la vivienda =</b>					<b>2.37E+18</b>
Operación					
17	Energía solar	2.68E+12	J	1.00E+00	2.68E+12
18	Electricidad	1.84E+09	J	1.74E+05	3.19E+14
19	Leña	5.88E+03	J	1.87E+04	1.10E+08
20	Agua potable	1.08E+09	J	3.76E+06	4.07E+15
21	Otros servicios	7.39E+02	\$	4.59E+13	3.39E+16
<b>eMergía total para la operación de la vivienda =</b>					<b>3.83E+16</b>
<b>eMergía total por construcción, operación y mantenimiento</b>					<b>6.12E+19</b>

**Tabla 2.** Valoración ambiental de la vivienda rural 2.

Nota	Concepto	Unidades Primas (unidad/viv.)		Transformidad (sej/unidad)	eMergía Solar (sej/viv.)
Recursos renovables					
1	Energía solar	5.10E+11	J	1.00E+00	5.10E+11
2	Madera	3.91E+10	J	6.79E+08	2.65E+19
Recursos no renovables					
3	Suelo	1.28E+10	J	7.37E+04	9.42E+14
4	Acero	4.00E+05	g	3.16E+09	1.26E+15
5	Concreto	2.79E+07	g	1.81E+12	5.05E+19
6	Mortero	4.61E+05	g	3.31E+12	1.53E+18
Materiales					
7	PVC	2.61E+04	g	9.86E+12	2.57E+17
8	Cobre	2.16E+04	g	3.36E+09	7.27E+13
9	Lámina galvanizada	3.27E+05	g	3.16E+09	1.03E+15
10	Bloque	2.17E+06	g	3.68E+12	7.99E+18
11	Diesel	2.41E+09	J	6.60E+04	1.59E+14
12	Herramienta menor	2.18E+02	g	6.70E+09	1.46E+12
Servicios					
13	Mano de obra	3.13E+08	J	4.77E+06	1.49E+15
<b>eMergía total para la construcción de la vivienda =</b>					<b>8.68E+19</b>

Mantenimiento					
14	Madera	3.91E+09	J	6.79E+08	2.65E+18
15	Lámina	3.27E+04	g	3.16E+09	1.03E+14
16	PVC	2.61E+03	g	9.86E+12	2.57E+16
<b>eMergía total para el mantenimiento de la vivienda =</b>					<b>2.68E+18</b>
Operación					
17	Energía solar	3.88E+12	J	1.00E+00	3.88E+12
18	Electricidad	1.84E+09	J	1.74E+05	3.19E+14
19	Leña	9.81E+03	J	1.87E+04	1.83E+08
20	Agua potable	1.62E+09	J	3.76E+06	6.10E+15
21	Otros servicios	7.94E+02	\$	4.59E+13	3.64E+16
<b>eMergía total para la operación de la vivienda =</b>					<b>4.29E+16</b>
<b>eMergía total por construcción, operación y mantenimiento</b>					<b>8.95E+19</b>

**Tabla 3.** Valoración ambiental de la vivienda rural 3.

Nota	Concepto	Unidades Primas (unidad/viv.)		Transformidad (sel/unidad)	eMergía Solar (sel/viv.)
Recursos renovables					
1	Energía solar	7.76E+11	J	1.00E+00	7.76E+11
2	Madera	2.58E+10	J	6.79E+08	1.75E+19
Recursos no renovables					
3	Suelo	1.33E+10	J	7.37E+04	9.80E+14
4	Acero	3.99E+05	g	3.16E+09	1.26E+15
5	Concreto	2.42E+07	g	1.81E+12	4.37E+19
6	Mortero	1.29E+06	g	3.31E+12	4.28E+18
Materiales					
7	PVC	3.92E+04	g	9.86E+12	3.86E+17
8	Cobre	2.08E+04	g	3.36E+09	7.00E+13
9	Lámina	3.99E+05	g	3.16E+09	1.26E+12
10	Bloque	6.01E+06	g	3.68E+12	2.21E+19
11	Diésel	2.41E+09	J	6.60E+04	1.59E+14
12	Herramienta menor	2.18E+02	g	6.70E+09	1.46E+12
Servicios					
13	Mano de obra	4.63E+08	J	4.77E+06	2.21E+15
<b>eMergía total para la construcción de la vivienda =</b>					<b>8.81E+19</b>
Mantenimiento					
14	Madera				1.75E+18
15	Lámina galvanizada				1.26E+14
16	PVC				3.86E+16
<b>eMergía total para el mantenimiento de la vivienda =</b>					<b>1.79E+18</b>
Operación					

17	Energía solar	5.45E+12
18	Electricidad	2.41E+14
19	Leña	1.00E+08
20	Agua potable	3.05E+15
21	Otros Servicios	4.39E+16
<b>eMergía total para la operación de la vivienda =</b>		<b>4.64E+16</b>
<b>eMergía total por construcción, operación y mantenimiento</b>		<b>8.99E+19</b>

Una vez calculada la eMergía para cada vivienda, por construcción, operación y mantenimiento, se obtuvieron los índices emergéticos por construcción, de acuerdo a la Tabla 1 y al diagrama de flujo de la Figura 5. Para la vivienda rural 1, resultaron los flujos emergéticos de la Tabla 4.

**Tabla 4.** Flujos emergéticos por construcción de la vivienda rural 1.

Símbolo	Flujos emergéticos	Cantidad	Unidad
R	Recursos renovables	2.61E+19	sej
N	Recursos no renovables	2.42E+19	sej
M	Materiales y herramientas	8.38E+18	sej
S	Servicios y mano de obra	1.85E+15	sej
Y	eMergía utilizada	5.87E+19	sej/año

A partir de los datos de la Tabla 4, se calcularon los principales índices emergéticos para la construcción de la vivienda rural 1, los cuales aparecen en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Principales índices emergéticos que se emplean en la construcción de la vivienda rural 1.

Índice de inversión de eMergía (Energy Investment Ratio: EIR)	$(M+S)/(R+N)$	1.66E-01
No renovable/renovable	$(N+M)/R$	1.25E+00
Servicio/libre	$S/(N+R)$	3.66E-05
Servicio/recursos	$S/(R+N+M)$	3.14E-05
Índice de carga ambiental (Environmental Loading Ratio: ELR)	$(N+M+S)/R$	1.25E+00
Fracción renovable de la eMergía usada	$R/U$	4.45E-01
Índice de apropiación y explotación de eMergía (Energy Yield Ratio: EYR)	$1+(1/EIR)$	7.01E+00
Índice de eMergía renovable capturada (Renewable Energy Captured)	$R+(M+S)$	3.12E+00
Índice de sostenibilidad (Energy Sustainability Index: ESI)	$EYR/ELR$	5.61E+00
Costo emergético de producción	$U = R+N+M+S$	5.87E+19

De forma análoga se obtuvieron las Tablas 6, 7, 8 y 9 para las viviendas rurales 2 y 3.

**Tabla 6.** Flujos emergéticos por construcción de la vivienda rural 2.

Símbolo	Flujos energéticos	Cantidad	Unidad
R	Recursos renovables	2.65E+19	sej
N	Recursos no renovables	5.20E+19	sej
M	Materiales y herramientas	8.25E+18	sej
S	Servicios y mano de obra	1.49E+15	sej
Y	eMergía utilizada	8.68E+19	sej/año

**Tabla 7.** Principales índices energéticos que se emplean en la construcción de la vivienda rural 2.

Índice de inversión de eMergía (Emergy Investment Ratio: EIR)	$(M+S)/(R+N)$	1.05E-01
No renovable/renovable	$(N+M)/R$	2.27E+00
Servicio/libre	$S/(N+R)$	1.90E-05
Servicio/recursos	$S/(R+N+M)$	1.72E-05
Índice de carga ambiental (Environmental Loading Ratio: ELR)	$(N+M+S)/R$	2.27E+00
Fracción renovable de la eMergía usada	$R/U$	3.06E-01
Índice de apropiación y explotación de eMergía (Emergy Yield Ratio: EYR)	$1+(1/EIR)$	1.05E+01
Índice de eMergía renovable capturada (Renewable Emergy Captured)	$R+(M+S)$	3.22E+00
Índice de sostenibilidad (Emergy Sustainability Index: ESI)	$EYR/ELR$	4.63E+00
Costo energético de producción	$U = R+N+M+S$	8.68E+19

**Tabla 8.** Flujos energéticos por construcción de la vivienda rural 3.

Símbolo	Flujos energéticos	Cantidad	Unidad
R	Recursos renovables	1.75E+19	sej
N	Recursos no renovables	4.80E+19	sej
M	Materiales y herramientas	2.25E+19	sej
S	Servicios y mano de obra	2.21E+15	sej
Y	eMergía utilizada	8.81E+19	sej/año

**Tabla 9.** Principales índices energéticos que se emplean en la construcción de la vivienda rural 3.

Índice de inversión de eMergía (Emergy Investment Ratio: EIR)	$(M+S)/(R+N)$	3.44E-01
No renovable/renovable	$(N+M)/R$	4.03E+00
Servicio/libre	$S/(N+R)$	3.37E-05
Servicio/recursos	$S/(R+N+M)$	2.51E-05
Índice de carga ambiental (Environmental Loading Ratio: ELR)	$(N+M+S)/R$	4.03E+00
Fracción renovable de la eMergía usada	$R/U$	1.99E-01
Índice de apropiación y explotación de eMergía (Emergy Yield Ratio: EYR)	$1+(1/EIR)$	3.91E+00
Índice de eMergía renovable capturada (Renewable Emergy Captured)	$R+(M+S)$	7.78E-01

Índice de sostenibilidad (Emergy Sustainability Index: ESI)	EYR/ELR	9.71E-01
Costo emergético de producción	U = R+N+M+S	8.81E+19

Con base en los datos de la Tabla 1, y el diagrama de flujo de la Figura 5, se calcularon los flujos emergéticos por mantenimiento y operación de la vivienda rural 1, los resultados se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Flujos emergéticos por mantenimiento y operación de la vivienda rural 1.

Símbolo	Flujos emergéticos	Cantidad	Unidad
R	Recursos renovables	2.34E+18	seJ
N	Recursos no renovables	4.39E+15	seJ
M	Materiales y herramientas	2.44E+16	seJ
S	Servicios y mano de obra	3.39E+16	seJ
Y	eMergía utilizada	2.40E+18	seJ/año

A partir de los datos de la Tabla 10, se calcularon los principales índices emergéticos por mantenimiento y operación de la vivienda rural 1, los cuales aparecen en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Principales índices emergéticos que se emplean en el mantenimiento y operación de la vivienda rural 1.

Índice de inversión de eMergía (Emergy Investment Ratio: EIR)	$(M+S)/(R+N)$	2.48E-02
No renovable/renovable	$(N+M)/R$	1.23E-02
Servicio/libre	$S/(N+R)$	1.45E-02
Servicio/recursos	$S/(R+N+M)$	1.43E-02
Índice de carga ambiental (Environmental Loading Ratio: ELR)	$(N+M+S)/R$	2.68E-02
Fracción renovable de la eMergía usada	$R/U$	9.74E-01
Índice de apropiación y explotación de eMergía (Emergy Yield Ratio: EYR)	$1+(1/EIR)$	4.12E+01
Índice de eMergía renovable capturada (Renewable Emergy Captured)	$R+(M+S)$	4.02E+01
Índice de sostenibilidad (Emergy Sustainability Index: ESI)	EYR/ELR	1.54E+03
Costo emergético de producción	$U = R+N+M+S$	2.40E+18

De forma semejante se obtuvieron las Tablas 12, 13, 14 y 15 para las viviendas rurales 2 y 3.

**Tabla 12.** Flujos emergéticos por mantenimiento y operación de la vivienda rural 2.

Símbolo	Flujos energéticos	Cantidad	Unidad
R	Recursos renovables	2.65E+18	sej
N	Recursos no renovables	6.42E+15	sej
M	Materiales y herramientas	2.58E+16	sej
S	Servicios y mano de obra	3.64E+16	sej
Y	eMergía utilizada	2.72E+18	sej/año

**Tabla 13.** Principales índices energéticos que se emplean en el mantenimiento y operación de la vivienda rural 2.

Índice de inversión de eMergía (Energy Investment Ratio: EIR)	$(M+S)/(R+N)$	2.34E-02
No renovable/renovable	$(N+M)/R$	1.22E-02
Servicio/libre	$S/(N+R)$	1.37E-02
Servicio/recursos	$S/(R+N+M)$	1.36E-02
Índice de carga ambiental (Environmental Loading Ratio: ELR)	$(N+M+S)/R$	2.59E-02
Fracción renovable de la eMergía usada	$R/U$	9.75E-01
Índice de apropiación y explotación de eMergía (Energy Yield Ratio: EYR)	$1+(1/EIR)$	4.37E+01
Índice de eMergía renovable capturada (Renewable Energy Captured)	$R+(M+S)$	4.26E+01
Índice de sostenibilidad (Energy Sustainability Index: ESI)	$EYR/ELR$	1.69E+03
Costo energético de producción	$U = R+N+M+S$	2.72E+18

**Tabla 14.** Flujos energéticos por mantenimiento y operación de la vivienda rural 3.

Símbolo	Flujos energéticos	Cantidad	Unidad
R	Recursos renovables	1.75E+18	sej
N	Recursos no renovables	3.29E+15	sej
M	Materiales y herramientas	3.87E+16	sej
S	Servicios y mano de obra	4.31E+16	sej
Y	eMergía utilizada	1.84E+18	sej/año

**Tabla 15.** Principales índices energéticos que se emplean en el mantenimiento y operación de la vivienda rural 3.

Índice de inversión de eMergía (Energy Investment Ratio: EIR)	$(M+S)/(R+N)$	4.67E-02
No renovable/renovable	$(N+M)/R$	2.40E-02
Servicio/libre	$S/(N+R)$	2.46E-02
Servicio/recursos	$S/(R+N+M)$	2.41E-02
Índice de carga ambiental (Environmental Loading Ratio: ELR)	$(N+M+S)/R$	4.86E-02
Fracción renovable de la eMergía usada	$R/U$	9.54E-01
Índice de apropiación y explotación de eMergía (Energy Yield Ratio: EYR)	$1+(1/EIR)$	2.24E+01

Índice de eMergía renovable capturada (Renewable Emergy Captured)	$R+(M+S)$	2.14E+01
Índice de sostenibilidad (Emergy Sustainability Index: ESI)	$EYR/ELR$	4.61E+02
Costo emergético de producción	$U = R+N+M+S$	1.84E+18

Los resultados anteriores se resumen, para propósitos de comparación, en las Tablas 16 y 17, para las 3 viviendas rurales.

**Tabla 16.** Índices emergéticos por construcción de las 3 viviendas rurales.

Índices		Vivienda rural 1	Vivienda rural 2	Vivienda rural 3
Costo emergético de producción	$U=R+N+M+S$	5.87E+19	8.68E+19	8.81E+19
Fración renovable de la eMergía usada	$R/U$	0.445	0.306	0.199
Índice de inversión de eMergía (Emergy Investment Ratio: EIR)	$(M+S)/(R+N)$	0.166	0.105	0.344
Índice de apropiación y explotación de eMergía (Emergy Yield Ratio: EYR)	$1+(1/EIR)$	7.010	10.522	3.911
Índice de carga ambiental (Environmental Loading Ratio: ELR)	$(N+M+S)/R$	1.249	2.272	4.029
Índice de eMergía renovable capturada (Renewable Emergy Captured)	$R/(M+S)$	3.117	3.216	0.778
Índice de sostenibilidad (Emergy Sustainability Index: ESI)	$EYR/ELR$	5.612	4.631	0.971

Los índices emergéticos permiten establecer el estado ambiental del sistema estudiado, a partir de estos indicadores se puede analizar y diagnosticar el sistema, y con ello tomar decisiones en gestión ambiental y direccionamiento de políticas públicas en planeación. Para la evaluación presente, se consideraron el índice de inversión de eMergía (EIR), el índice de producción emergética (EYR), el índice de carga ambiental (ELR) y el índice de sostenibilidad ambiental (ESI).

El índice EIR (o cociente de inversión), indica la inversión que realiza la sociedad involucrada en la cadena productiva para producir un bien, en relación a la contribución de la naturaleza. Resulta de dividir la eMergía solar tomada de fuera del sistema, entre la eMergía solar suministrada por las fuentes renovables y no renovables dentro del sistema. Este cociente puede interpretarse como una tasa de eMergía externa (invertida), respecto de la eMergía residente. Es un número adimensional, cuanto mayor sea, mayor será la cantidad de eMergía adquirida, por unidad de eMergía residente (valores altos de EIR señalan una alta contribución de eMergía externa). Valores pequeños de EIR muestran una carga pequeña relativa sobre los ecosistemas base, esto indica que se están empleando recursos ambientales

propios, en mayor medida que el promedio, por lo que podría haber disponibilidad local para estimular la inversión y el uso económico adicional.

Al observar los resultados de la Tabla 16, se advierte que, en cuanto a construcción, la vivienda rural 2 es la más competitiva, puesto que para cada unidad de recursos naturales utilizados (sin costo financiero), necesita invertir un volumen menor de recursos de la economía.

El índice de producción emergética (EYR), resulta de dividir la eMergía total utilizada por el sistema entre la eMergía de los insumos de la economía. Es una medida de la ganancia de energía primaria disponible para ser utilizada por la sociedad, esto es, mide la contribución potencial de un proceso al conjunto del sistema debida a la explotación de recursos locales. De la tabla 16 se infiere que, por lo que se refiere a construcción, la vivienda rural 2 resulta más eficiente, ya que utiliza en sus procesos, recursos naturales y recursos provenientes de la economía. En otras palabras, es capaz de disponer energía primaria para la sociedad.

El índice de carga ambiental (ELR), es una medida del impacto ambiental o carga que una actividad particular de desarrollo puede tener en el ambiente (Guillén Trujillo, 1998). Este índice resulta de la suma de la eMergía adquirida (M y S) y la eMergía residente no renovable (N), entre la eMergía residente renovable (R). Puede usarse como un indicador del nivel apropiado del desarrollo de las alternativas para realizar un proyecto. La mayoría de los procesos productivos de la humanidad incluyen la interacción entre recursos no renovables con recursos renovables del ambiente. Los índices de carga ambiental (ELR) bajos, indican pequeñas cargas en la base del soporte del ecosistema; índices ELR altos reflejan un mayor impacto potencial. Los resultados de la Tabla 16 indican que, respecto de la construcción, la vivienda rural 1 es la que causa menor impacto al medio ambiente.

El índice de sostenibilidad ambiental (ESI), resulta de dividir el índice de apropiación y explotación de eMergía (EYR) entre el índice de carga ambiental (ELR). Cuantifica y clasifica numéricamente el desempeño ambiental de las políticas de un país, y es una medida eficaz para medir las perspectivas de sostenibilidad a largo plazo del medio ambiente y la capacidad para hacer frente a los retos del futuro. Valores de ESI inferiores a 1.00 son característicos de sistemas que consumen recursos y están asociados a economías altamente desarrolladas y orientadas al consumo. De acuerdo con la Tabla 16, la vivienda rural 1, en lo referente a construcción, es la que presenta menor impacto ambiental, ya que contribuye con la liberación de

recursos disponibles para el aprovechamiento por el sector económico, sin afectar el equilibrio del medio ambiente.

**Tabla 17.** Índices energéticos por mantenimiento y operación de las 3 viviendas rurales.

Índices		Vivienda rural 1	Vivienda rural 2	Vivienda rural 3
Costo energético de producción	$U=R+N+M+S$	2.40E+18	2.72E+18	1.84E+18
Fracción renovable de la eMergía usada	$R/U$	0.970	0.970	0.950
Índice de inversión de eMergía (Emergy Investment Ratio: EIR)	$(M+S)/(R+N)$	0.020	0.020	0.050
Índice de apropiación y explotación de eMergía (Emergy Yield Ratio: EYR)	$1+(1/EIR)$	41.240	43.700	22.420
Índice de carga ambiental (Environmental Loading Ratio: ELR)	$(N+M+S)/R$	0.030	0.030	0.050
Índice de eMergía renovable capturada (Renewable eMergy Captured)	$R/(M+S)$	40.170	42.600	21.380
Índice de sostenibilidad (Emergy Sustainability Index: ESI)	$EYR/ELR$	1540.610	1687.520	461.010

Al observar los resultados de la Tabla 17, se advierte que para el índice EIR, en cuanto a mantenimiento y operación, las viviendas rurales 1 y 2 son las más competitivas, puesto que para cada unidad de recursos naturales utilizados (sin costo financiero), necesitan invertir un volumen menor de recursos de la economía.

De esta misma tabla se infiere que para el índice EYR, por lo que se refiere a mantenimiento y operación, la vivienda rural 2 resulta más eficiente, ya que utiliza en sus procesos, recursos naturales y recursos provenientes de la economía. En otras palabras, es capaz de disponer energía primaria para la sociedad.

El índice de de carga ambiental, en la Tabla 17, indica que respecto del mantenimiento y operación, la vivienda rural 3 tiene un impacto moderado y las viviendas rurales 1 y 2 son las que causan menor impacto al medio ambiente.

## CONCLUSIONES

La edificación de viviendas implica procesos, que requieren insumos de materiales y energía en diferentes formas, y tiene un gran impacto en el medio ambiente por la utilización de recursos no renovables y la sobreexplotación de energía. En este trabajo se realizó un análisis de eMergía, a tres viviendas rurales, considerando tres fases por separado: construcción,

mantenimiento y operación; esto hace posible tener una medida del impacto ambiental de estas viviendas en su entorno.

Este método es útil para identificar los insumos que contribuyen más a las importaciones de eMergía no renovable. La importación de recursos da una idea de una falta de sostenibilidad económica, mientras que el hecho de que no es renovable, sugiere una escasez futura debido a una dependencia de la disponibilidad real de recursos en la tierra.

Los resultados encontrados muestran que, en general, las viviendas rurales son sostenibles, esto es que aprovechan las condiciones naturales para disminuir todo lo posible las necesidades energéticas. En consecuencia, el desgaste de la naturaleza es menor y las viviendas son capaces de mantenerse por sí mismas a nivel económico, social y ecológico.

La vivienda rural 2 mostró ventajas en la fase de construcción, en cuanto a los índices de inversión de eMergía (EIR), y de apropiación y explotación de eMergía (EYR). Esto señala que tal vivienda tiene una carga pequeña relativa sobre los ecosistemas base y que ofrece un beneficio neto a la economía global.

Para esta misma fase, la vivienda rural 1 presentó buenos resultados en cuanto al índice de carga ambiental (ELR) y al índice de sostenibilidad (ESI), de lo cual se infiere que esta vivienda origina poco estrés ambiental en el sistema y que tienen un alto nivel de sostenibilidad en términos ambientales.

La evaluación para las etapas de mantenimiento y construcción, indica que las viviendas rurales 1 y 2, presentan un mejor índice de inversión de eMergía (EIR), que la vivienda rural 3. Esta última estresa menos al ambiente (en razón de su índice de carga ambiental, ELR), que las otras dos viviendas. Finalmente, la vivienda rural 2, también mostró un buen índice de sostenibilidad (ESI), superior al de las viviendas rurales 1 y 3.

En general, los resultados de la vivienda rural 2, indican que es suficiente para cubrir las necesidades de sus habitantes y que su mantenimiento no es costoso.

Adicionalmente, los resultados aquí obtenidos, proporcionan una base para futuras evaluaciones en la industria de la construcción. Diferentes tipologías, tecnologías y materiales pueden compararse y contrastarse, considerando distintos procesos de fabricación, así como el mantenimiento y operación (la durabilidad de un material, la eficiencia térmica y el consumo de energía durante su vida útil). Estas comparaciones pueden realizarse de forma objetiva mediante los índices de eMergía tal como se ha mostrado aquí.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cruz Vázquez, M. M.** (2015). *Valoración ambiental de una vivienda tipo rural con el método de la eMergía. Tesis profesional.* Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Guarnetti, R., Bonilla, S., Almeida, C., and Giannetti, B.** (2006). *Agricultural systems studied by the emergetic ternary diagram: influence of the culture type and the environmental analyst's criteria.* IV Global Conference on Sustainable Product Development and Life Cycle Engineering, São Carlos. São Paulo, Brasil.
- Guillén Trujillo, H. A.** (1998). *Sustainability of ecotourism and traditional agricultural practices in Chiapas, México.* Doctoral thesis. University of Florida, Florida, U.S.A.
- Odum, T. H.** (1994). *Ecological and general systems: an introduction to systems ecology.* University Press of Colorado, Colorado. U.S.A., 644 p.
- Odum, T. H.** (1996). *Environmental accounting: emergy and environmental decision making.* John Wiley & Sons, Nueva York, U.S.A., 384 p.
- Vázquez Díaz, S. A.** (2016). *Análisis de la sostenibilidad de diferentes tipos de vivienda en el Estado de Chiapas. Tesis de Grado.* Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.