

Análisis de la sostenibilidad de las alternativas de movilidad urbana en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Analysis of the sustainability of the urban mobility alternatives in Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

—

J. Alejandro Ruiz Sibaja
ruizsibaja@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7698-0522>

Hugo A. Guillén Trujillo
hguille@hotmail.com

Wilber A. Ramos Palacios
wilber-ramos1@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7290-5007>

FACULTAD DE INGENIERÍA, CAMPUS I. UNIDAD TECNOLÓGICA ING. CARLOS
SERRATO ALVARADO. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, MÉXICO



Para citar este artículo:

Ruiz Sibaja, J. A., Guillén Trujillo, H. A., & Ramos Palacios, W. A. (2021). Análisis de la sostenibilidad de las alternativas de movilidad urbana en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Espacio I+D: Innovación más Desarrollo*, 10(28). <https://doi.org/10.31644/IMASD.28.2021.a01>

RESUMEN

En los últimos años ha cobrado interés la demanda de movilidad en el entorno urbano. La alta dependencia de movilidad y el uso intensivo del coche en zonas urbanas es motivo de estudio creciente porque esto conduce a los sistemas de transporte a escenarios insostenibles. Esta circunstancia hace que la planificación a largo plazo tenga una gran relevancia para tratar de invertir esta tendencia. Debe existir un proyecto integrador que se base en el desarrollo de estrategias de acuerdo con indicadores que muestren si realmente se busca que la movilidad urbana sea sostenible y al mismo tiempo se maximicen sus efectos positivos y se mitiguen los negativos. En este trabajo se propone un nuevo método para el cálculo de tales indicadores y de las relaciones de sostenibilidad para la toma de decisiones a largo plazo, con el fin de analizar la movilidad urbana de Tuxtla Gutiérrez y alcanzar ambientes de movilidad urbana sostenible.

Se hace un análisis cuidadoso de los flujos que intervienen en el funcionamiento dinámico de la movilidad urbana en sus diferentes alternativas, mediante la evaluación de toda la energía usada en este proceso (a toda esta energía se le llama eMergía), de los diferentes componentes para cuantificarlos en unidades idénticas. Con esta evaluación se pretende conocer los flujos y depósitos emergéticos de las diferentes alternativas de movilidad. También se calculan los índices de sostenibilidad y otras correlaciones que indican el grado de dependencia de la movilidad urbana, cuyos resultados se muestran de forma gráfica. Finalmente, se presenta un análisis del índice de carga ambiental, que muestra cuán ecológico puede ser el actual sistema urbano de movilidad. Se encontró que la bicicleta es la alternativa de movilidad que consume menos eMergía y que la que consume más eMergía es el Conejobús. El cuanto al índice de eMergía por kilómetro por persona por tipo de unidad se muestra que el Conejobús es la modalidad más eficiente por encima del transporte colectivo y la bicicleta. Por lo que se refiere al índice de eMergía total de la movilidad por tipo de alternativas la más eficiente resultó ser el Conejobús seguida del transporte colectivo y la bicicleta.

Palabras clave:

eMergía; sostenibilidad; movilidad urbana; carga ambiental; sistema ecológico.

— *Abstract* —

In recent years the demand of the urban mobility sector has become of a particular interest. The high dependency on mobility and the excessive use of cars in urban areas are matters of concern because the transportation systems are lead to unsustainable scenarios. This circumstance makes long-term planning highly relevant in trying to reverse this trend. There should be an integrating project that is based on the development of strategies according to indicators that show whether urban mobility is really intended to be sustainable, and at the same time its positive effects are maximized and the negative ones are mitigated. This paper proposes a new method for calculating such indicators and sustainability relationships for long-term decision-making, in order to analyze urban mobility in Tuxtla Gutiérrez and achieve sustainable urban mobility environments.

A methodical analysis is made of the flows that intervene in the dynamic functioning of urban mobility and its different alternatives, by evaluating all the energy used in this process (all this energy is called eMergy), of the different components for quantify them in identical units. With this evaluation we attempt to know the emergetic flows and deposits of the different mobility alternatives. The sustainability indices and other correlations that indicate the degree of dependence on urban mobility were also calculated, the results are shown graphically. Finally, an analysis of the environmental burden is presented, showing how environmentally friendly the current urban mobility system can be. It was found that the bicycle is the mobility alternative that consumes less eMergy and that the one that consumes the most eMergy is the Conejobús. Regarding the eMergy index per kilometer per person per type of unit, it is shown that the Conejobús is the most efficient modality above collective transport and bicycles. With respect to total eMergy index of mobility by type of alternatives, the most efficient was the Conejobús followed by collective transport and bicycles.

Keywords:

eMergy; sustainability; urban mobility; environmental burden; ecological system.

A partir de la década de 1970 la zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez, que constituye el centro poblacional, económico y político más importante de la capital de Chiapas, tuvo un aumento importante de población, debido a la construcción de la Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres (Chicoasén, Chiapas). Muchos de los trabajadores foráneos que participaron en la construcción de la presa se establecieron en la ciudad en forma permanente. Por ello, en las últimas décadas se ha registrado un rápido crecimiento poblacional en el municipio de Tuxtla Gutiérrez y, aunque de menor cuantía, también en los municipios que le circundan (Silva *et al.*, 2015).

De acuerdo con la SHGEC (2014), el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, tiene una extensión total de 335 km² y, con datos de 2014 proyectados a 2018, está habitada por alrededor de 600 mil personas. Debido a que es la capital y principal centro político, comercial y de servicios del estado, diariamente se traslada hacia este lugar (a realizar múltiples actividades: trabajar, estudiar, comprar, recibir atención médica, realizar gestiones, etc.) un gran número de habitantes de los municipios cercanos, algunos de los cuales incluso se han mudado o tienen en Tuxtla Gutiérrez su segundo lugar de residencia.

A semejanza de otras ciudades de tamaño medio de Latinoamérica (Henríquez, 2007; Avalos *et al.*, 2016), Tuxtla Gutiérrez muestra un rápido crecimiento horizontal. Una población en constante aumento demanda la ampliación de espacios habitacionales, vías de comunicación y otras infraestructuras. En particular, el crecimiento de la ciudad ha originado la necesidad de desplazarse para realizar todas las actividades cotidianas. En la mayoría de los casos se acude al vehículo motorizado, lo que ha generado un notorio colapso en la circulación urbana producto de la saturación de las vialidades y de la ineficiencia de los servicios de transporte público. Sin embargo, el creciente número de vehículos motorizados y su mayor uso, así como la reducción de su índice de ocupación, provoca que aumenten las emisiones contaminantes, lo cual se traduce en una creciente contaminación de la atmósfera. Esta contaminación incide en el cambio climático, debido a los gases de efecto invernadero y al bióxido de carbono (CO₂).

En años recientes, las estrategias encaminadas a conseguir una movilidad y transporte sostenibles, han tenido un éxito limitado. Se plantea así la cuestión de cómo se puede evaluar la sostenibilidad de los sistemas y las políticas de transporte, y de cómo se pueden utilizar esas mediciones para planificar los transportes (Gudmundsson, 2003; Polea, 2019).

En consecuencia, en este trabajo se propone acudir a una estrategia reciente llamada *Movilidad Sostenible*, que ha mostrado sus bondades y posibilidades en el tratamiento de alternativas de movilidad urbana. El propósito de tal herramienta es reconciliar las necesidades de movilidad de los ciudadanos, con la calidad de vida y el medio ambiente, sin que ello suponga limitar el potencial de desarrollo que dichas actividades generan, ni restringir el

derecho de las personas a un transporte de calidad (Ferreyra, 2008; ITDP, 2013). El objetivo principal es mostrar, mediante mediciones y evaluaciones, el análisis de la sostenibilidad de las alternativas de movilidad urbana en Tuxtla Gutiérrez y dar a conocer si es realmente sostenible. Esta valoración ambiental se basará en la eMergía, que es una metodología capaz de integrar indicadores ambientales, económicos y sociales. 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, estos insumos se expresan en la misma forma o tipo de energía, habitualmente la energía solar. El análisis de eMergía 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 define la eMergía 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 (Odum, 1996), solo se conserva en una cadena de transformaciones. Esta serie de transformaciones hacen necesario acudir al concepto de *Transformidad*, que es la cantidad de energía directa o indirecta requerida para producir un tipo de energía en otro tipo, pero más 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. 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 energéticos, se incluyen variables ambientales, sociales y económicas y se calculan índices como herramientas de comparación para diferentes sistemas. (Odum, 1996).

En los últimos 30 años, esta técnica ha mostrado una gran capacidad para evaluar la sostenibilidad de distintos procesos en los que se consumen diferentes formas de energía. Esto es, mide 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. De esta manera, al integrar aspectos ambientales y financieros de los sistemas considerados, se puede utilizar la eMergía para evaluar las alternativas de movilidad urbana de Tuxtla Gutiérrez.

ANTECEDENTES

La previsión eficiente de los servicios de infraestructura social y de servicios municipales es fundamental para alcanzar un mayor grado de especialización productiva en la economía local y, como resultado de ello, en el bienestar de la población en general. Por lo tanto, la inversión en los tres niveles de gobierno es importante para establecer las condiciones que permitan aspirar a una mejor calidad de vida.

Los problemas de desarrollo urbano y su impacto en el medio ambiente y en la calidad de vida constituyen un desafío para los encargados de las políticas de infraestructura municipal. La movilidad urbana es una de estas preocupaciones. Ésta es la capacidad y/o posibilidad de moverse dentro de la ciudad. (Velásquez, 2010)

En consecuencia, la movilidad urbana es una necesidad básica de las personas que debe ser respetada y satisfecha de forma tal que el esfuerzo y el costo de los desplazamientos necesarios para acceder a bienes y servicios sean sostenibles y no afecten negativamente a la calidad de vida o a las posibilidades de desarrollo económico, cultural y educativo de las personas.

De igual manera, la movilidad urbana es un derecho fundamental que debe estar garantizado, en igualdad de condiciones, a toda la población, sin diferencias derivadas del poder adquisitivo, condición física o psíquica, género, edad o cualquier otra causa. (Velásquez, 2010)

Tuxtla Gutiérrez ha experimentado un crecimiento desordenado en las últimas décadas. Debido a esto, en 2012 se creó el Instituto Ciudadano de Planeación Municipal para el Desarrollo Sustentable (ICAMPLAM) de Tuxtla Gutiérrez. La principal función de ICAMPLAM es asesorar a los gobernantes para el diseño, planeación, ejecución y evaluación de los planes y programas aplicables a la ciudad. Asegurando así la calidad de estos e impulsando la participación ciudadana, mediante un enfoque basado en la sostenibilidad.

La aportación más importante del ICAMPLAM, en lo que se refiere a movilidad urbana data de 2012, año en que se hizo la propuesta de sustituir las dos principales rutas de transporte colectivo que había en Tuxtla Gutiérrez -rutas 1 y 2-, y que circulaban de Oriente a Poniente y de Sur a Norte. Tal sustitución se dio mediante el uso de autobuses ecológicos llamados “Conejobús”. (Tuxtla 2030, la agenda estratégica de nuestra ciudad, 2016).

Con esta salvedad, la ciudad no cuenta con un estudio de movilidad integral que informe sobre las zonas urbanas que necesitan transporte, cómo se mueve la población y qué tipo de movilidad es verdaderamente sostenible. Tampoco se dispone de la infraestructura necesaria para la movilidad del peatón, principalmente aceras y señalamientos.

Se ha detectado una deficiencia en la promoción de alternativas de movilidad de uso masivo, al mismo tiempo es escasa la infraestructura

para apoyar el uso de medios de transporte no motorizados. Este aspecto es muy importante, pues el uso del transporte público masivo de calidad está directamente relacionado con el mejoramiento de la competitividad y productividad de la ciudad.

MÉTODOS

Se utiliza el método de contabilidad ambiental denominada, *eMergía*, el cual es una herramienta para evaluar la sostenibilidad de la movilidad urbana en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Este método biofísico fue 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. Esta herramienta se utiliza 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; Álvarez, 2020)

El análisis de *eMergía* está diseñado para evaluar los flujos de energía y materiales de los sistemas en unidades comunes, el joule solar (sej), que permite al analista comparar aspectos ambientales y financieros de los sistemas (Guillén, 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 energéticos, se incluyen variables ambientales, sociales y económicas y se calculan índices como herramientas de comparación para diferentes sistemas. En este trabajo, se calculan índices energéticos y financieros para determinar la sostenibilidad de la movilidad urbana de Tuxtla Gutiérrez.

Se realizaron las siguientes actividades características de un estudio energético (Guillén, 1998):

1. Definición de los límites espacio-temporales del sistema investigado.
2. Reunión de datos en campo, para modalidad de transporte -vehículo propio, taxi, colectivo, autobús, motocicleta y bicicleta-, 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; Bravo, *et al*, 2018), 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. En la figura 1 se muestran los flujos de energía que interactúan entre sí, en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Dicha figura es de gran utilidad para una mejor comprensión de las leyes de termodinámica, pues se pueden representar los principales flujos de entradas y salidas de energía en el sistema, en este caso, el flujo para el socio-ecosistema de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Así mismo se muestra todos los flujos que intervienen dentro del municipio. El rectángulo representa al municipio de Tuxtla Gutiérrez, y los elementos fuera de él, son flujos que externos al municipio. Como lo son, los recursos renovables (sol, lluvia, nutrientes), combustibles y minerales (necesarios para los vehículos motorizados), bienes (como los vehículos), servicios y otros bienes (inversión federal para conservación de caminos, puentes, etc.). En la figura 2 se presentan, de forma resumida, los principales flujos de energía del municipio de Tuxtla Gutiérrez.

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. Para Tuxtla Gutiérrez se consideraron los flujos del sistema que aparecen en la tabla 1:
5. Construcción de una tabla con los principales flujos de eMergía.
6. Cálculo de índices emergéticos (tabla 2).

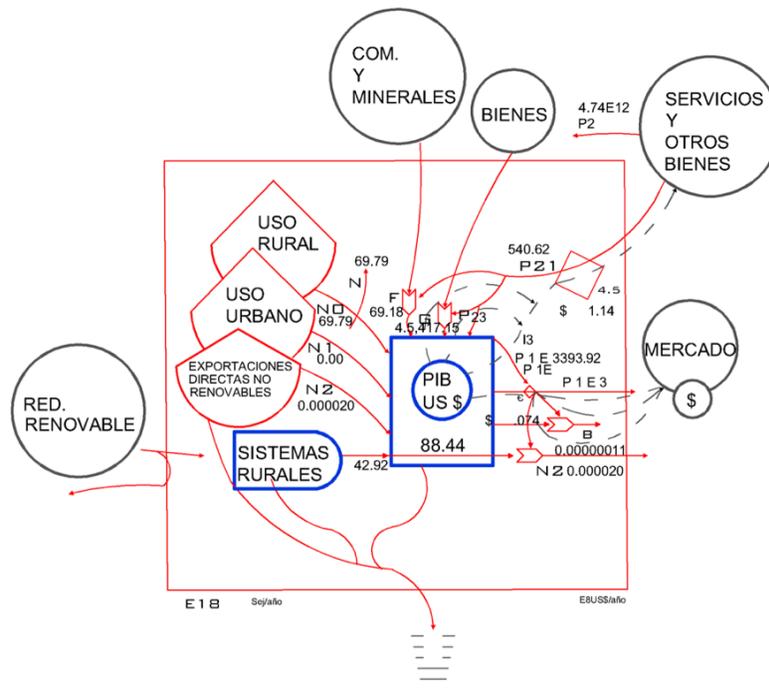


Figura 1. Diagrama de flujos de energía de Tuxtla Gutiérrez. Fuente: Eleaboración propia

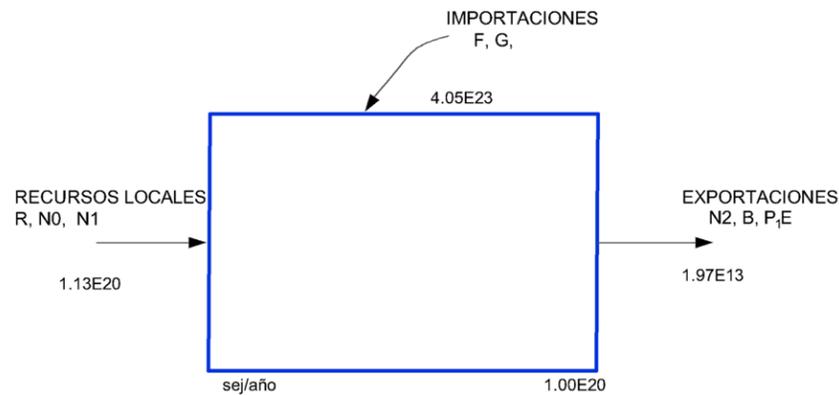


Figura 2. Diagrama simplificado de flujos de energía de Tuxtla Gutiérrez. Fuente: Elaboración propia

Tabla 1
Resumen de flujos de eMergía de Tuxtla Gutiérrez

Símbolo	Partida	EMergía solar 1.00E+18 (sej/año)	Dólares 1.00E+18 (US\$/año)
R	Recursos renovables usados (sol, lluvia, viento, etc.)	42.92	
	Flujo de recursos no renovables dentro de Tuxtla Gutiérrez	69.79	
N	N ₀ Recurso rural disperso	69.79	
	N ₁ Consumo interno	0.00	
	N ₂ Exportados sin uso	0.000020	
F	Combustible y minerales importados (incluye servicios)	69.18	
G	Bienes importados	405417.15	
I	Dólares pagados para las importaciones		1.14
P ₂ I	Valor de la eMergía de bienes y servicios importados	540.62	
E	Dólares recibidos por exportaciones		0.74
P ₁ E	Valor de la eMergía de bienes y servicios exportados	3393.92	
B	Productos exportados procesados en Tuxtla Gutiérrez	0.0000011	
X	Producto interno bruto (PIB) de Tuxtla Gutiérrez		88.44
P ₂	EMergía de Chiapas/PIB de Chiapas (usado en importaciones)	4.74E+12	sej/US\$
P ₁	EMergía de Tuxtla Gutiérrez/PIB de Tuxtla Gutiérrez	4.59E+13	sej/US\$

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 1, se observa que, de acuerdo con sus recursos renovables, Tuxtla Gutiérrez aporta $42.92E+18$ sej/año, lo cual es la suma de la energía del sol, lluvia, viento y el ciclo de la tierra. En la partida de recursos no renovables se obtuvieron $69.79E+18$ sej/año aportados en su mayoría por el recurso rural disperso. Estos resultados indican que Tuxtla Gutiérrez es una alta importadora de materias primas, esto es, no aprovecha en absoluto sus recursos no renovables. También aparecen en esta tabla la transformidad (P_2) de Tuxtla Gutiérrez ($4.74E+12$ sej/US\$), este dato se obtuvo de la relación eMergía total de Chiapas, entre el producto interno de Chiapas y la eMergía P_1 ($4.59E+13$ sej/US\$), que se obtuvo de la división de la sumatoria de los recursos naturales dispersos (No), más el consumo interno de los recursos no renovables, más los recursos renovables utilizados, más los bienes, combustibles y minerales importados entre el producto interno bruto de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. La metodología general de cómo se llega a la obtención de estos análisis emergéticos, se describe a detalle por Odum en su libro *Environmental Accounting* (1996), siendo revisada posteriormente por Brown y Ulgiati (2004).

En la tabla 2 se muestran los índices emergéticos calculados para el sistema municipal. Se aprecia que la partida de flujos de eMergía renovable aporta $4.29E+19$ sej/año y que la partida de recursos no renovables aporta $6.98E+19$ sej/año, que es mucho menor que el aporte nacional ($2.21E+25$ sej/año) y el estatal ($2.70E+25$ sej/año) (Ramos, 2016). Esto se explica porque la mayor parte del territorio es zona urbana.

Tabla 2
Índices energéticos de Tuxtla Gutiérrez

Índice	Expresión	Cantidad	Unidades
Flujo de eMergía renovable	R	4.29E+19	sej/año
Flujo de reservas no renovables locales	N	6.98E+19	sej/año
Flujo de eMergía importada	F + G	4.05E+23	sej/año
Total de entradas de eMergía	R + N + F + G	4.06E+23	sej/año
Total de eMergía usada (U)	N0 + N1 + R + F + G	4.06E+23	sej/año
Total de eMergía exportada	N2 + B	1.97E+13	sej/año
Fracción de eMergía usada derivada de recursos locales	(N0 + N1 + R) / U	0.000278	
Importaciones menos exportaciones	(F + G) - (N2 + B)	4.05E+23	sej/año
Tasa de exportaciones a importaciones	(N2 + B) / (F + G)	0.00000000005	
Proporción de eMergía local a eMergía total	R / U	0.00011	
Tasa de eMergía adquirida a eMergía total	(F + G) / U	0.9997	
Tasa de eMergía libre a eMergía total	(R + N0) / U	0.00028	
Tasa de eMergía procesada a eMergía libre	(F + G + N1) / (R + N0)	3597.64	
eMergía por unidad de área (4.12E+08 m ²)	U / área	9.84E+14	sej/m ²
eMergía per cápita	U / población	6.61E+17	sej/persona
Tasa de eMergía total a PIB	P1 = U / PIB	4.59E+13	sej/\$
Tasa de electricidad a eMergía total (incluye hidroeléctrica y termoeléctrica)	Electricidad / U	0.999	sej/año
Uso de combustible per cápita (consumo interno de gas natural y petróleo)	Combustible / población	5.98E+13	sej/año

Fuente: Elaboración propia

El total de eMergía exportada es de 1.97E+13 sej/año cantidad inferior al índice a nivel estatal, 2.57E+25 sej/año (Ramos, 2016), lo cual se explica porque Tuxtla Gutiérrez exporta muy pocos bienes y recursos. Esto lo confirman el índice de importaciones menos exportaciones, 4.05E+23 sej/año y el índice de exportaciones a importaciones 0.00000000005 unidades, cercano a cero, que indican que el número de exportaciones es mucho menor que el de las importaciones. La relación entre la eMergía local y la eMergía total es un indicador del aprovechamiento de los recursos naturales, esto es, qué tan sostenible es una sociedad. Para el caso de Tuxtla Gutiérrez tal relación es de 0.00011 (0.011 %), un índice muy pequeño, por lo que se infiere que la ciudad es poco sostenible. La cantidad de riqueza real que circula a través de reserva de dinero se indica mediante el índice de tasa de eMergía total a PIB (P_1), en este caso resultó de 4.59E+13 sej/año, lo cual muestra la fortaleza económica de Tuxtla Gutiérrez. Finalmente, el gasto energético por persona resultó alto, 6.61E+17 sej/año.

MOVILIDAD URBANA ACTUAL EN TUXTLA GUTIÉRREZ

El uso excesivo de automóvil propio ha impactado de manera negativa en la ciudad dado que se genera una circulación caótica, que influye directamente en el medio ambiente, la economía y la sociedad misma, provocando problemas a la salud por contaminación y ruido ambiental. Esta situación se agudiza debido a la mala calidad del transporte público y al crecimiento desordenado de la mancha urbana.

En 2011, el porcentaje del reparto modal de transporte se distribuyó 28% en automóviles privados, 48% en transporte público y 24% en medios activos no motorizados, mientras que el gasto de los gobiernos al transporte urbano se repartió 75% al automóvil, 11 % al transporte público y 3% al transporte no motorizado (Gobierno Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2014). Esto muestra una clara tendencia de los gobiernos a privilegiar el automóvil sobre el transporte público masivo, lo cual inhibe el uso de medios de transporte no motorizado y eleva los costos sociales y ambientales en las ciudades. En la figura 3 se muestra el diagrama de flujos de energía de movilidad general de Tuxtla Gutiérrez.

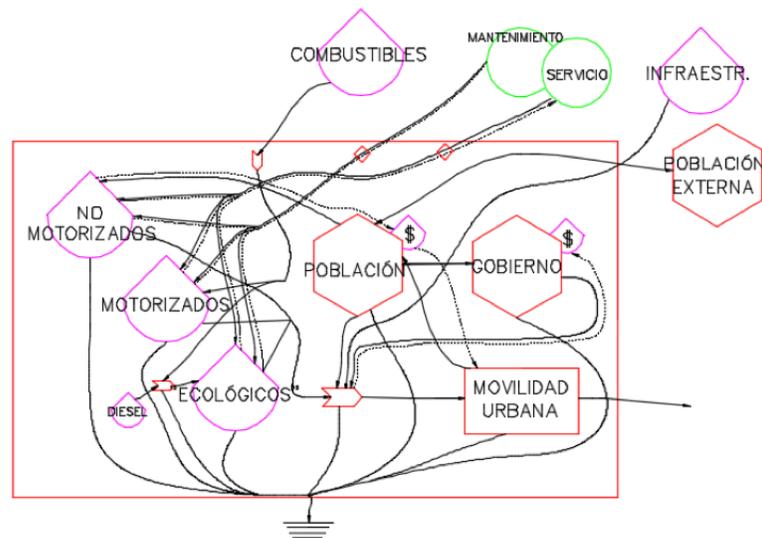


Figura 3. Diagrama simplificado de flujos de energía de movilidad de Tuxtla Gutiérrez.
Fuente: Elaboración propia

Análisis emergético de movilidad con vehículo propio

Con base en el diagrama de flujos de la figura 3 se construye el diagrama de flujos para el caso de la movilidad mediante vehículo propio, en el cual se observa con más detalle la interacción de los flujos que hay en este, desde la producción hasta la operación y el mantenimiento (ver figura 4).

Se puede observar que el diagrama de la figura 4 se desprende del depósito de *Vehículos Motorizados* contenido en la figura 3, se muestran aquí todos los flujos que entran al sistema: combustibles –gasolina y aceite para el caso de vehículo propio-, maquinaria –que incluye los procesos de producción del vehículo-, mano de obra y servicios, infraestructura y mantenimiento –que considera las vialidades, de concreto y asfalto, los pagos y contribuciones, que corresponden a pagos de tenencia y seguro vehicular, a los gobiernos estatal y federal-. Todo esto resulta en el producto de la movilidad a los usuarios. En el diagrama de la figura 4 no existe un flujo de fuente externa renovable -sol, viento y lluvia-, esto se debe a que para la movilidad no se requieren de estos flujos, ya que su principal fuente de abastecimiento son los combustibles fósiles.

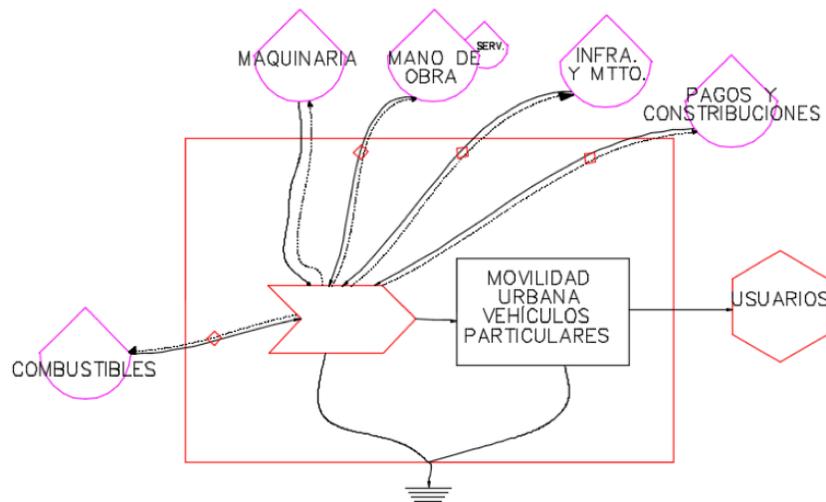


Figura 4. Diagrama simplificado de flujos de energía de movilidad de Tuxtla Gutiérrez mediante vehículos propios. Fuente: Elaboración propia

Análisis emergético de movilidad en la modalidad de taxis

La movilidad urbana a través de taxis involucra el consumo de distintos bienes materiales e inmateriales. El primer consumo es el de espacio. La movilidad demanda espacio cuando se construye la infraestructura de circulación y cuando las personas utilizan dicha infraestructura. El segundo consumo es el de energía, que en algunas sociedades es un bien escaso. Todos los vehículos motorizados consumen energía, desde el proceso de producción del vehículo hasta la operación y el mantenimiento, además de otros factores que influyen en la movilidad tal como la depreciación de la unidad y los kilómetros recorridos anuales estimados por las agencias de automóviles. El tercer consumo es el de recursos financieros. Este costo

afecta al gobierno con los costos de mantenimiento vial, señalización, operación y fiscalización del tránsito.

En la figura 5 se muestra el diagrama de flujos en el que aparecen los insumos de los bienes materiales e inmateriales, que están correlacionados dentro de la movilidad. En este diagrama se observa la interacción de flujos, desde la producción hasta la operación y el mantenimiento y los salarios que incluye el operador del vehículo.

Se puede observar que el diagrama de la figura 5 se desprende del depósito de *Vehículos Motorizados* contenido en la figura 3, se muestran aquí todos los flujos que entran al sistema: combustibles –gasolina y aceite para el caso del taxi-, maquinaria –que incluye los procesos de producción del vehículo-, mano de obra y servicios, infraestructura y mantenimiento –que considera las vialidades, de concreto y asfalto-, los pagos y contribuciones, que corresponden a pagos de tenencia y seguro vehicular, a los gobiernos estatal y federal.

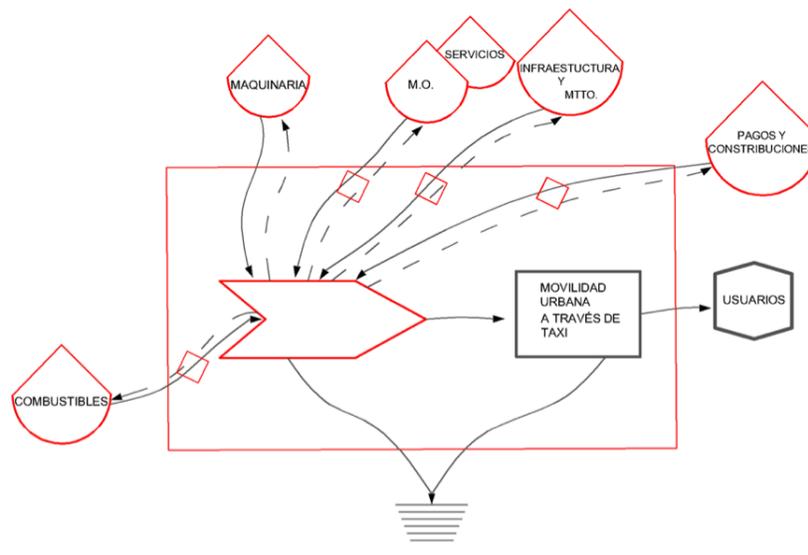


Figura 5. Diagrama simplificado de flujos de energía de movilidad de Tuxtla Gutiérrez mediante taxis.
Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los taxis se consideran los pagos de servicios que incluye el salario del o de los choferes de la unidad. Todo esto resulta en el producto de la movilidad a los usuarios. Se observa que en el diagrama de la figura 5 no existe un flujo de fuente externa renovable -sol, viento y lluvia- ya, que su principal fuente de abastecimiento son los combustibles fósiles. Este diagrama es idéntico al de la figura 4 debido a que para el uso del taxi se adquieren vehículos particulares y se adaptan al servicio de transporte público en la modalidad de taxi.

Análisis energético de movilidad en la modalidad de transporte colectivo

Para esta modalidad se pueden hacer las mismas observaciones que en la modalidad de taxis, esto es, se consume espacio, energía y recursos financieros. Por consiguiente, se utiliza la misma metodología que se empleó en el análisis de movilidad a través de vehículo propio y la movilidad a través del taxi. Así, en la figura 6 se presenta el diagrama de flujos para la movilidad a través de transporte colectivo. En este diagrama se observa más puntualmente la interacción de los flujos que hay en este: producción, operación, mantenimiento y el salario del operador de la unidad.

Para el diagrama de la figura 6 se pueden hacer las mismas observaciones que para el diagrama de la figura 4, es decir, se muestran todos los flujos que entran al sistema: combustibles –gasolina y aceite para el caso del transporte público-, maquinaria –que incluye los procesos de producción del vehículo-, mano de obra y servicios, infraestructura y mantenimiento –que considera las vialidades, de concreto y asfalto, los pagos y contribuciones, que corresponden a pagos de tenencia y seguro vehicular, a los gobiernos estatal y federal. Para el caso del transporte colectivo se consideran los pagos de servicios que incluye el salario del o de los choferes de la unidad. Todo esto resulta en el producto de la movilidad a los usuarios. Se observa que en el diagrama de la figura 6 no existe un flujo de fuente externa renovable –sol, agua y lluvia-, esto se debe a que para la movilidad no se requieren de estos flujos, ya que su principal fuente de abastecimiento son los combustibles fósiles.

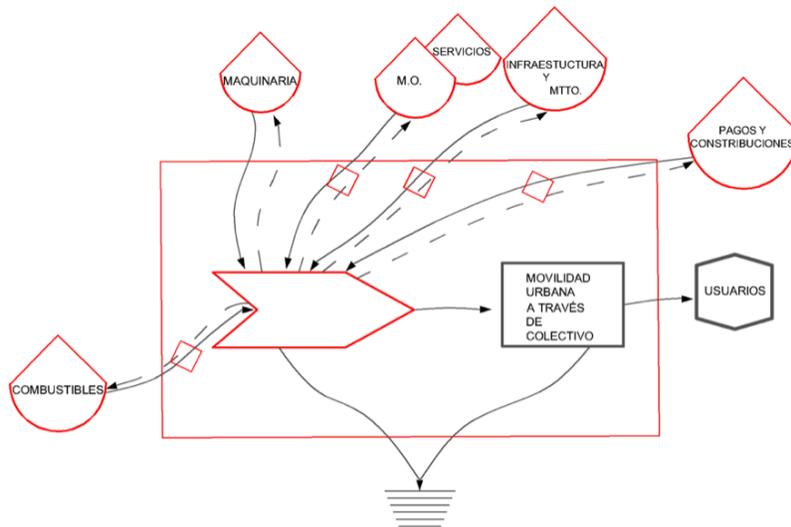


Figura 6. Diagrama simplificado de flujos de energía de movilidad de Tuxtla Gutiérrez mediante transporte colectivo. Fuente: Elaboración propia

Análisis emergético de movilidad en la modalidad de Conejobús

Este es uno de los medios de transporte más usados en Tuxtla Gutiérrez, se le llama *Conejobús* debido a que a los habitantes de esta ciudad se les conoce como *conejos*. Este medio de transporte surgió cuando el gobierno de Chiapas desarrolló un programa para sustituir 144 unidades tipo combi de las principales rutas de Tuxtla Gutiérrez -rutas 1 y 2-. Con el Conejobús se trató de establecer un sistema de transporte más amigable con el medio ambiente, que contaminara menos, que estimulase el ramo, que impulsara la creación de nuevos empleos y que constituyera una visión de futuro para hacer ciudades con transporte sostenible.

La movilidad urbana mediante el Conejobús involucra el consumo de distintos bienes materiales e inmateriales. El primer consumo es el de espacio. La movilidad demanda espacio cuando hay construcción de infraestructura de circulación y cuando las personas utilizan dicha infraestructura. El segundo consumo es el de energía, que en muchas ocasiones es un bien escaso. La energía la consumen todos los vehículos motorizados, desde el proceso de fabricación del vehículo hasta la operación y el mantenimiento. El tercer consumo es el de recursos financieros. Por un lado, este costo afecta al gobierno, con los costos de mantenimiento vial, señalización, operación y fiscalización del tránsito. En la figura 7 se presenta el diagrama de flujo para la movilidad mediante el Conejobús.

En esta figura se observa la interacción de los flujos, desde la operación y mantenimiento, hasta el salario del operador de la unidad. Estos flujos son los combustibles -el diesel y el aceite para el motor-, la maquinaria -donde se incluyen los procesos de producción de la unidad, contenidos en la partida de importación-, la mano de obra y servicios, la infraestructura y el mantenimiento -esta partida considera las vialidades, de concreto y asfalto-, y finalmente los pagos y contribuciones, que corresponden a pagos de tenencia y seguro vehicular, al Gobierno del Estado y al Gobierno Federal, respectivamente.

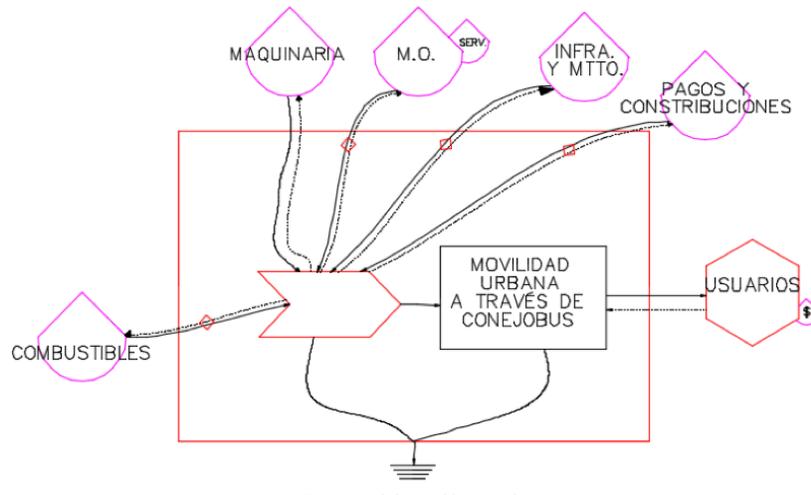


Figura 7. Diagrama simplificado de flujos de energía de movilidad de Tuxtla Gutiérrez mediante Conejóbús.
Fuente: Elaboración propia

Para esta modalidad también se considera el pago de servicios, que incluye el salario del conductor de la unidad. Se observa que en este diagrama no existe un flujo de fuente externa renovable -sol, viento, lluvia, etc.-, lo cual se debe a que estos flujos no se requieren para la movilidad, esto es, la funcionalidad no depende de estos recursos sino de los combustibles fósiles.

Análisis emergético de movilidad en la modalidad de bicicleta

Con base en el diagrama de flujos de la movilidad de Tuxtla Gutiérrez (figura 3) se desarrolla el diagrama de la movilidad mediante bicicleta (figura 8). En este último diagrama se observa la interacción de los flujos, desde la producción hasta la operación y el mantenimiento, así como las vialidades usadas para la circulación. En la figura 3 la alternativa de movilidad a través de bicicleta se encuentra contenida dentro de la partida de “no motorizados”, ya que el uso de la bicicleta no requiere del uso de un motor sino de la fuerza y condición física del conductor.

Por esto mismo no se incluye una partida de combustibles, ya que la bicicleta no lo requiere dado que es una movilidad más ecológica. En la movilidad mediante bicicleta intervienen los flujos siguientes: el suministro de la maquinaria -que incluye los procesos de producción de la unidad, contenidos en la partida de importación-, la mano de obra y servicios, la infraestructura y el mantenimiento que considera las vialidades de concreto y asfalto, se aprecia que no existe un apartado monetario dado que cualquier persona puede acudir a esta movilidad sin tener que pagar por ello – lo que la hace más atractiva- como en el caso de las modalidades anteriores.

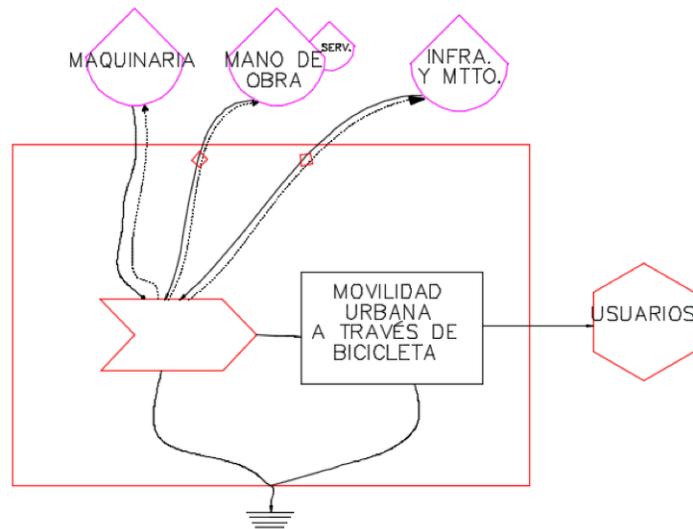


Figura 8. Diagrama simplificado de flujos de energía de movilidad de Tuxtla Gutiérrez mediante bicicleta.
Fuente: Elaboración propia

Se observa que no existe un flujo de fuente externa renovable –sol, viento, lluvia, etc.-, ya que este tipo de movilidad ecológica no utiliza ninguno de estos recursos porque su funcionamiento se basa en la condición física del conductor.

Análisis energético de movilidad en la modalidad de motocicleta

La movilidad urbana mediante la motocicleta involucra el consumo de distintos bienes materiales e inmateriales. El primer consumo que demanda esta modalidad es el espacio, ello ocurre en dos situaciones: cuando hay construcción de infraestructura de circulación y cuando las personas utilizan dicha infraestructura. El segundo consumo es el de energía que consumen todos los vehículos motorizados, desde el proceso de producción del vehículo hasta la operación y el mantenimiento, además de otros aspectos tales como la depreciación de la unidad y los kilómetros recorridos anuales. El tercer consumo es el de recursos financieros, que afecta al gobierno con los costos de mantenimiento vial, señalización, operación y fiscalización del tránsito.

En el diagrama de la figura 9 se muestra la interacción de flujos de esta modalidad, desde la producción hasta la operación y el mantenimiento. Se observan todos los flujos en el sistema: los combustibles –gasolina y aceite para el motor-, la maquinaria – que incluye los procesos de producción de la unidad contenidos en la partida de importación-, la mano de obra y servicios, la infraestructura y el mantenimiento –que considera las vialidades, de concreto y asfalto-, y los pagos y contribuciones –que corresponden a pagos de tenencia y seguro vehicular, a los Gobiernos Estatal y Federal-.

Se aprecia que no existe un depósito monetario debido a que cualquier persona puede utilizar esta movilidad sin tener que dar una retribución monetaria. Tampoco existe un flujo de fuente externa renovable –sol, viento, lluvia, etc.–, dado que esta movilidad no requiere de estos flujos porque para su funcionamiento utiliza combustibles fósiles.

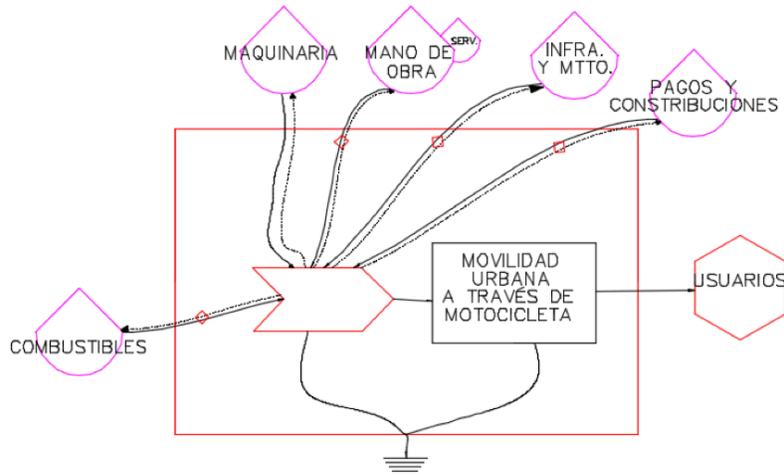


Figura 9. Diagrama simplificado de flujos de energía de movilidad de Tuxtla Gutiérrez mediante motocicleta.
Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Índices de eMergía de la movilidad urbana de Tuxtla Gutiérrez

En la tabla 3 se resumen los índices de movilidad urbana, obtenidos para las modalidades de movilidad urbana presentados en los apartados anteriores. Esta metodología, basada en la eMergía, tiene un carácter técnico y cuantitativo, ya que se consideran todos los flujos que intervienen en la movilidad y se traducen a una unidad común para poder sumarlos entre sí. A partir de esto se calculan los índices que permiten evaluar la sostenibilidad del actual sistema de movilidad urbana de Tuxtla Gutiérrez.

Se observa en esta tabla que la movilidad que consume menos eMergía es la bicicleta, $22.19E+16$ sej/año, lo que representa el 1.58 % del total de eMergía consumida por el sistema. Le siguen la motocicleta que aporta al sistema $51.81E+16$ sej/año, un 3.68 % del total, el vehículo particular con $264.26E+16$ sej/año, el 18.77 % del total, el taxi que aporta $290.26E+16$ sej/año, 20.62 % del total, el colectivo con $317.16E+16$ sej/año, 22.54 % del total y, finalmente, el Conejobús con $461.76E+16$ sej/año, 32.81 % del total.

Se aprecia que la modalidad de movilidad que más eMergía aporta al sistema es el Conejobús, lo cual se debe a que se requiere mucha más eMergía para la producción de la unidad, así como más eMergía para la operación y mantenimiento del mismo (ver gráfica 1).

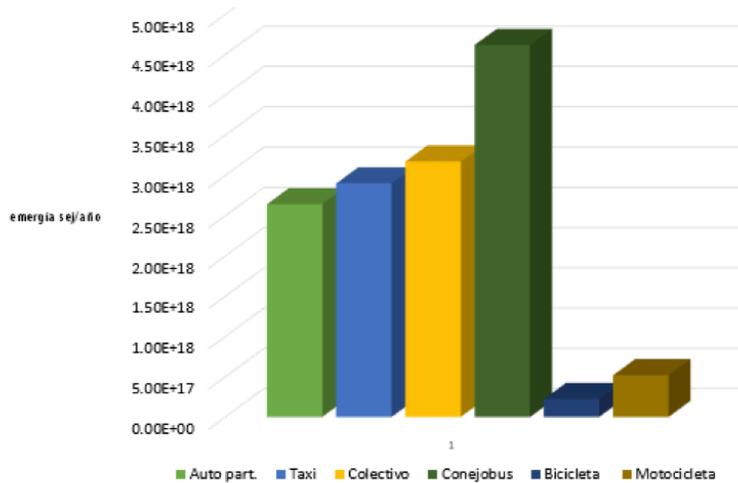
Uno de los índices más importantes de la tabla 3 es el índice de eMergía por kilómetro por persona por tipo de unidad. Este índice permite comparar directamente las diferentes alternativas, esto es, la eMergía que cada alternativa aporta al sistema, por persona que lo ocupa y por kilómetro recorrido por las unidades. De acuerdo con los resultados obtenidos se observa que pese a que el Conejobús aporta más eMergía al sistema, es la modalidad más eficiente dado que su índice de eMergía por kilómetro por persona es de $1.46E+12$ sej/km/persona, el 0.6 % de toda la eMergía por kilómetro por persona de todas las alternativas.

Tabla 3
Resumen comparativo de índices de eMergía de la movilidad urbana de Tuxtla Gutiérrez

Índices	Unidad	Transporte público en la modalidad de:						
		Auto particular	Taxis	Combi	Cone-jobús	Bicicleta	Moto-cicleta	
Uso de eMergía por tipo de unidad	1.00E+16	sej/año	264.23	290.26	317.16	461.76	22.19	51.81
Componente económico de eMergía adquirido (M+S) por tipo de movilidad (unitario)	1.00E+15	sej/año	294.90	555.15	824.21	1850.47	6.41	17.80
Componente económico de eMergía adquirido (M+S) por todas las unidades	1.00E+18	sej/año	35752.00	2127.32	1695.39	146.19	8.27	26.70
Componente ecológico de eMergía libre (R+N) por tipo de movilidad (unitario)	1.00E+16	sej/año	234.74	234.74	234.74	276.71	21.55	50.03
Componente ecológico de eMergía libre (R+N) por todas las unidades	1.00E+18	sej/año	284589.39	8995.39	4828.68	218.60	278.25	750.44
Tasa de inversión (econ/ecol) (M+S)/(R+N) por tipo de movilidad (unitario)			0.126	0.236	0.351	0.669	0.0297	0.0356
Tasa de inversión (econ/ecol) (M+S)/(R+N) por todas las unidades			15230.21	906.23	722.23	52.83	38.38	53.36
ICA (Índice de carga ambiental) ((N+M+S)/R)			No definido	No definido				
EMergía por kilómetro por persona por tipo de unidad por año	1.00E+12	sej/km/per	117.44	11.36	1.58	1.46	45.99	51.81
EMergía por tipo de alternativa por año	1.00E+12	sej/km	176.16	39.76	25.26	87.85	45.99	51.81
EMergía total de movilidad por tipo de alternativas	1.00E+20	sej/año	3203.41	111.23	65.24	3.65	2.87	7.77
EMergía total de movilidad a través de las diferentes alternativas por persona	1.00E+15	sej/año/per	802.58	942.06	48.05	7.42	221.94	518.09

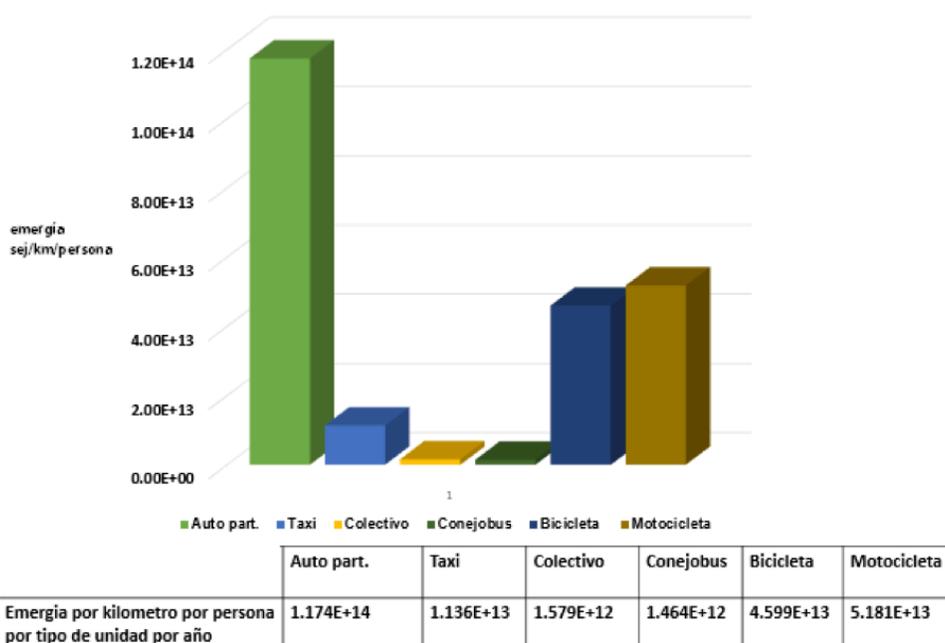
Fuente: Elaboración propia

De igual manera, la alternativa que aportó muy poca eMergía fue la del transporte colectivo (combi) con 1.58E+12 sej/km/persona (ver tabla 3 y gráfica 2). Esto se debe a que el índice de ocupación y los recorridos son altos, es decir, este tipo de movilidad urbana, trabaja aproximadamente 16 horas al día, y con capacidad de 14 plazas, por lo cual es una opción más eficiente de movilidad. Hay que tener presente que hay muchos factores que no permiten que esta alternativa se explote al máximo, entre ellos la falta de mantenimiento de las unidades, choferes que conducen sin precaución y la mala planeación de las rutas.



	Auto part.	Taxi	Colectivo	Conejobus	Bicicleta	Motocicleta
Uso de eMergía U	2.642E+18	2.903E+18	3.172E+18	4.618E+18	2.219E+17	5.181E+17

Gráfica 1. Uso de eMergía U en la movilidad urbana de Tuxtla Gutiérrez. Fuente: Elaboración propia

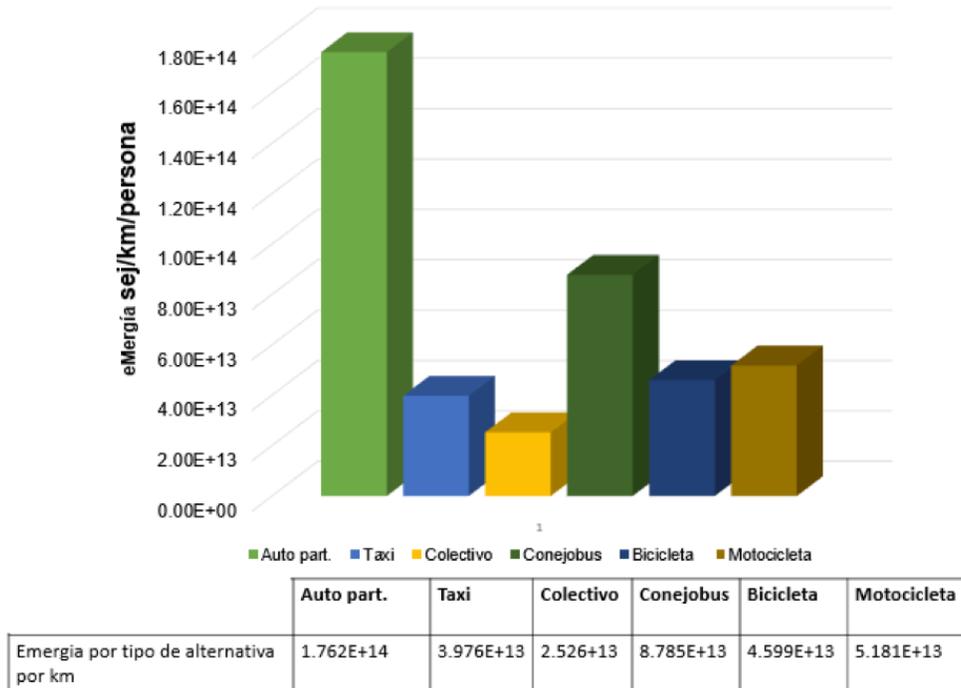


Gráfica 2. Índice de eMergía/km/persona de las diferentes alternativas de movilidad urbana.
Fuente: Elaboración propia

La siguiente alternativa que aporta un índice bajo de eMergía al sistema (ver tabla 3 y gráfica 2) es la del taxi, con $11.36E+12$ sej/km/persona, el 4.9 % del índice total calculado, 8 veces más que la aportación del Conejobús. También se observa que, pese a que las alternativas de motocicleta y bicicleta no consumen mucha energía de producción de unidad, ni de operación y mantenimiento, ni de combustibles, son las menos eficientes, ya que aportan al sistema, respectivamente, $45.99E+12$ sej/km/persona (20 % del total) y $51.81E+12$ sej/km/persona (22.60 % del total). Finalmente, se aprecia que la alternativa menos eficiente es la del vehículo particular, que aporta un 51.1 % de la eMergía total, esto se debe a que el índice de ocupación es muy bajo.

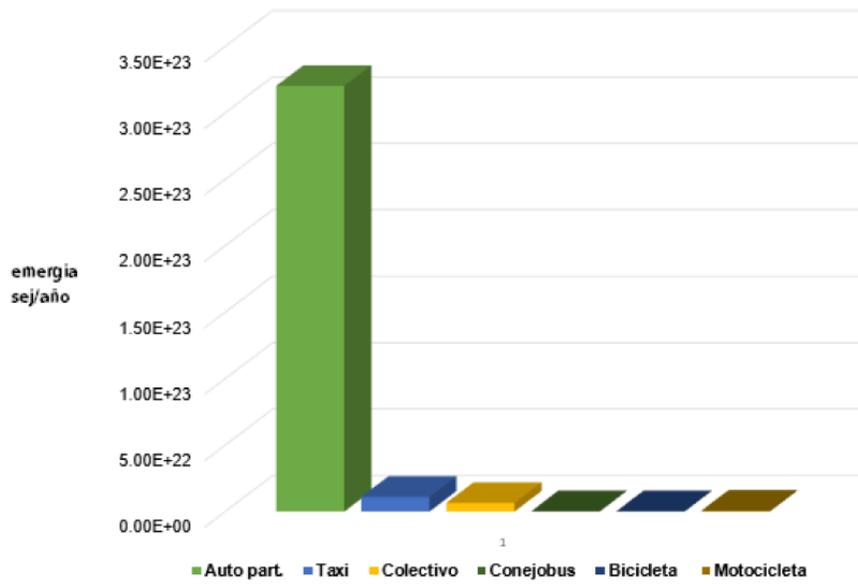
En la tabla 3 también aparece el índice de eMergía por tipo de alternativa por kilómetro, con este cálculo se identifica qué modalidad consume más eMergía por cada kilómetro que recorre a diario. Se encuentra que la alternativa que aporta más eMergía al sistema es la de vehículo particular con $176.16E+12$ sej/km, seguida del transporte público y de la motocicleta, con aportes energéticos, respectivamente, de $87.85E+12$ sej/km y $51.81E+12$ sej/km. Pese a que la bicicleta es la alternativa que consume menos eMergía del sistema, aporta mucha eMergía por kilómetro recorrido, $45.99E+12$ sej/km. Las alternativas de movilidad que menos eMergía aportan al sistema son las de taxi y transporte colectivo, con $39.76E+12$ sej/km y $25.26E+12$ sej/km, respectivamente. Se observa que el colectivo es la modalidad que

menos eMergía aporta al sistema por kilómetro recorrido. En la gráfica 3 se concentran estos resultados.



Gráfica 3. Índice de eMergía por km de las diferentes alternativas de movilidad urbana.
Fuente: Elaboración propia

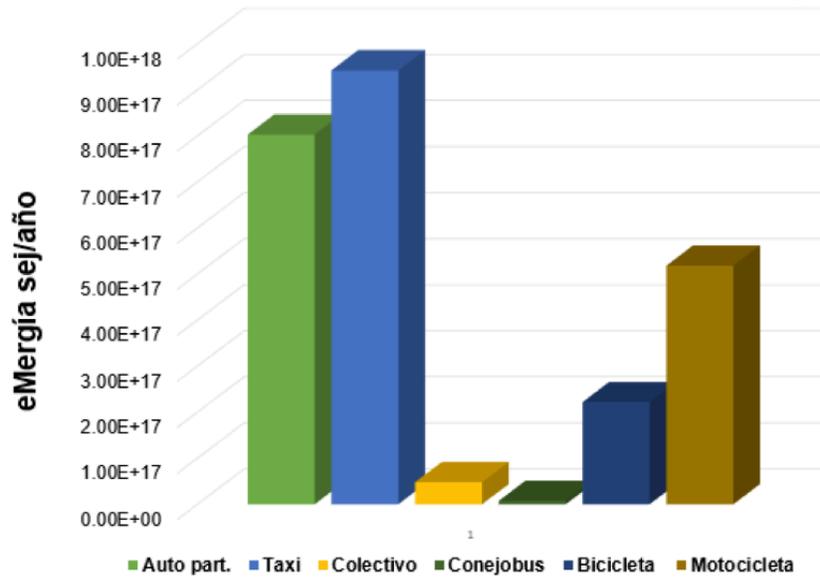
Se calcularon dos índices más para conocer la huella de todas las alternativas de movilidad urbana existentes actualmente en Tuxtla Gutiérrez. El primer índice es la eMergía total de la movilidad por tipo de alternativas, para el que se obtuvo que la bicicleta es la modalidad más eficiente (ver tabla 3), lo cual se debe al número reducido de bicicletas que circulan en la ciudad. Esta alternativa aporta al sistema $2.87E+20$ sej/año, en tanto que la motocicleta contribuye con $7.77E+20$ sej/año. Por lo que se refiere al transporte público, la alternativa que más eMergía aporta es el taxi ($111.23E+20$ sej/año), seguido del colectivo ($65.24E+20$ sej/año) y del Conejobús ($3.65E+20$ sej/año). Al igual que en los índices calculados previamente la alternativa que contribuye con más eMergía al sistema es el automóvil particular con $3203.41E+20$ sej/año. En la gráfica 4 se resumen estos resultados.



	Auto part.	Taxi	Colectivo	Conejobus	Bicicleta	Motocicleta
Emergia total de movilidad por tipo de alternativas	3.203E+23	1.112E+22	6.524E+21	3.648E+20	2.865E+20	7.771E+20

Gráfica 4. Índice de eMergía total de movilidad por tipo de alternativas de movilidad urbana.
Fuente: Elaboración propia

El segundo índice calculado es el de la eMergía total de movilidad de las diferentes alternativas por persona. Se encontró que la alternativa más eficiente fue la del Conejobús, que aporta al sistema $7.42E+15$ sej/año/persona, seguida del colectivo que contribuye con $48.05E+15$ sej/año/persona. Pese a que la bicicleta mostró ser más eficiente en algunos casos, ocupa el tercer lugar en eficiencia ya que participa con $221.94E+15$ sej/año/persona, cantidad que es mucho más alta que las del Conejobús y el colectivo. En cuarto lugar, aparece la motocicleta la cual aporta al sistema $518.09E+15$ sej/año/persona, enseguida se tiene al automóvil particular con $802.58E+15$ sej/año/persona, finalmente el primer lugar en ineficiencia corresponde al taxi que contribuye con $942.06E+15$ sej/año/persona. Cabe mencionar que en la obtención de estos dos índices influye mucho la cantidad de ocupación de cada alternativa y el número registrado de unidades existentes para cada modalidad. Este índice se utiliza para comparar la cantidad de eMergía que aporta cada alternativa de movilidad urbana. En la gráfica 5 se presentan estos resultados.

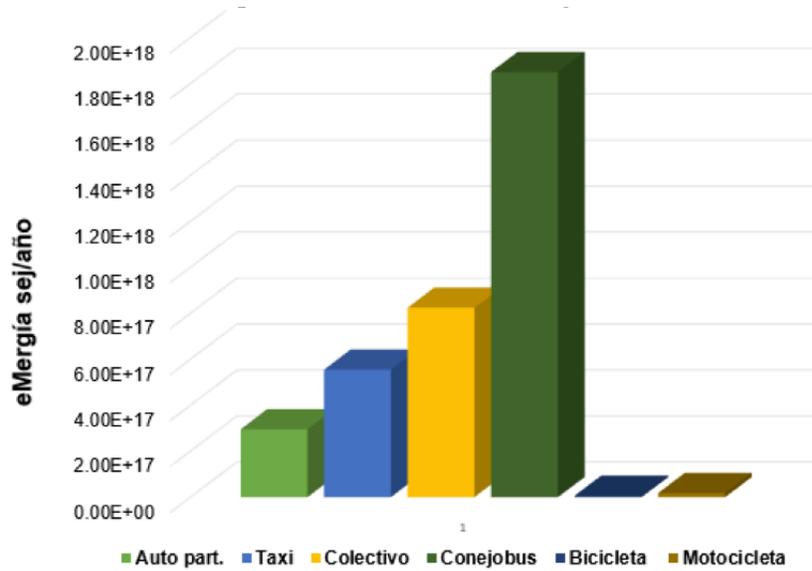


	Auto part.	Taxi	Colectivo	Conejobus	Bicicleta	Motocicleta
Energía total de movilidad a través de las diferentes alternativas por persona	8.026E+17	9.421E+17	4.805E+16	7.415E+15	2.219E+17	5.181E+17

Gráfica 5. EMergía total de movilidad a través de las diferentes alternativas por persona.
Fuente: Elaboración propia

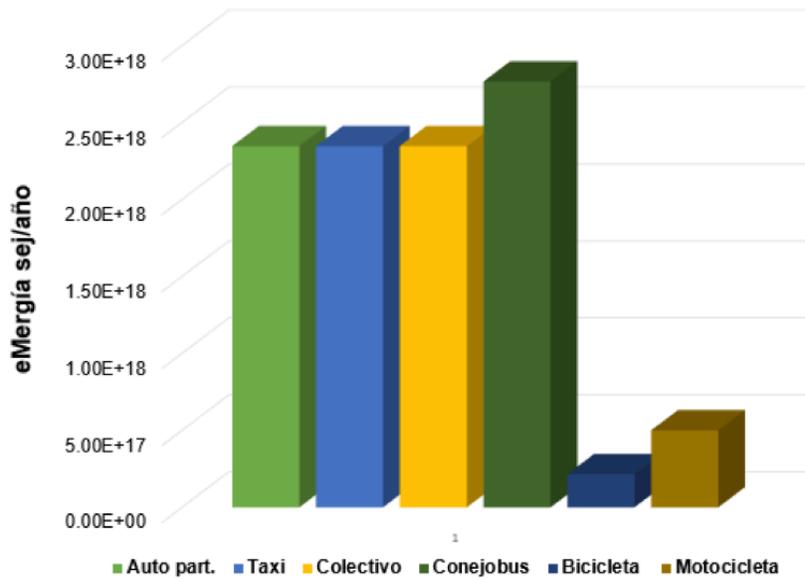
En la gráfica 6 se muestran los resultados para el índice del componente económico de eMergía adquirida (M+S) por tipo de movilidad. Se observa que la bicicleta es la alternativa que menos eMergía aporta al sistema con $6.41E+15$ sej/año, lo cual indica que esta modalidad consume poca eMergía en cuanto a la compra de insumos, característica que la hace atractiva. El vehículo particular contribuye con $294.90E+15$ sej/año, la motocicleta participa con $17.80E+15$ sej/año, el taxi con $555.15E+15$ sej/año, el colectivo con $824.21E+15$ sej/año y el Conejobús con $1850.47E+15$ sej/año, esta última alternativa es la que más eMergía aporta al sistema.

Por lo que se refiere al componente ecológico (R+N) se aprecia que la alternativa que contribuye con menos eMergía al sistema es la bicicleta con $21.55E+16$ sej/año. A continuación, aparece la motocicleta con $50.03E+16$ sej/año, mientras que el Conejobús participa con $276.71E+16$ sej/año. Finalmente, las alternativas de vehículo particular, taxi y colectivo tienen el mismo aporte emergético $234.74E+16$ sej/año. Debe mencionarse que, en la movilidad urbana de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, no intervienen fuentes renovables de energía, por esta razón en los cálculos sólo se consideraron las fuentes no renovables. En la gráfica 7 se resumen estos resultados.



	Auto part.	Taxi	Colectivo	Conejobus	Bicicleta	Motocicleta
Componente económico de Emergía adquirido (M+S), por tipo de movilidad	2.949E+17	5.551E+17	8.242E+17	1.850E+18	6.408E+15	1.780E+16

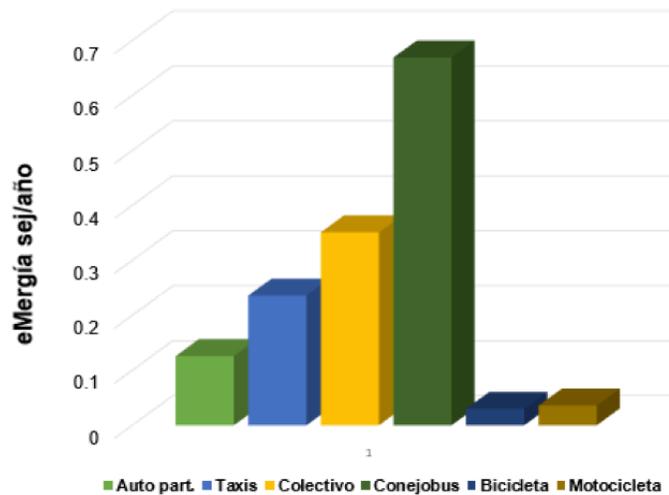
Gráfica 6. Componente económico de eMergía (M+S) unitario. Fuente: Elaboración propia



	Auto part.	Taxi	Colectivo	Conejobus	Bicicleta	Motocicleta
Componente ecológico de eMergía, libre (R+N), por tipo de movilidad	2.347E+18	2.347E+18	2.347E+18	2.767E+18	2.155E+17	5.003E+17

Gráfica 7. Componente ecológico de eMergía (R+N) unitario. Fuente: Elaboración propia

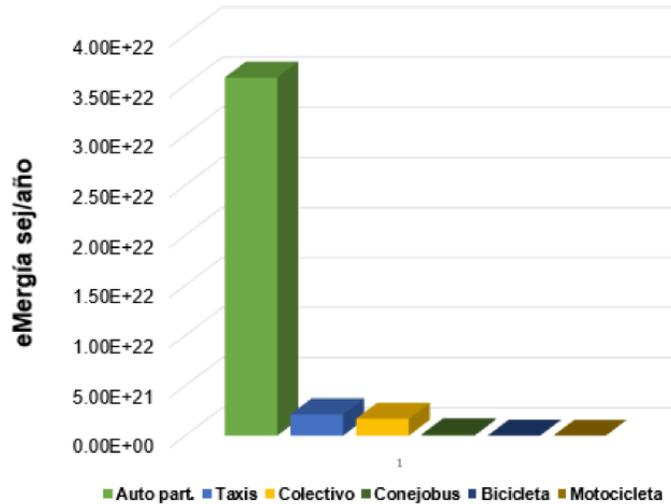
Enseguida se presentan los resultados para la tasa de inversión (TI), es oportuno mencionar que cuanto más grande sea el índice, se depende más de los insumos comprados o importados que de los recursos locales. En la gráfica 8 se aprecia que la alternativa que presenta la menor tasa de inversión es la bicicleta con 0.0297, seguida de la motocicleta con 0.0356. En tercer lugar aparece el vehículo particular cuya tasa de inversión es de 0.126. El taxi muestra una tasa de inversión de 0.236, el colectivo de 0.351 y el Conejobús de 0.669. Se observa que el Conejobús tiene la tasa de inversión más alta.



	Auto part.	Taxi	Colectivo	Conejobus	Bicicleta	Motocicleta
Tasa de inversión (econ/ecol) (M+S)/(R+N) por tipo de movilidad	0.126	0.236	0.351	0.669	0.030	0.036

Gráfica 8. Tasa de inversión (M+S)/(R+N) unitaria. Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran los resultados del índice del componente económico de eMergía adquirida (M+S) para toda la movilidad en general en sus diferentes alternativas (ver gráfica 9). De nuevo se aprecia que la bicicleta es la alternativa que menos eMergía aporta al sistema con $8.27E+18$ sej/año, resultado que indica que en esta alternativa de movilidad (donde se considera el total de bicicletas registradas) no se consume demasiada eMergía en la compra de insumos. La modalidad de motocicleta contribuye con $26.27E+18$ sej/año, el taxi con $217.32E+18$ sej/año, el colectivo con $1695.39E+18$ sej/año y el Conejobús con $146.19E+18$ sej/año. Se observa que el Conejobús es el que menos eMergía aporta al sistema a diferencia de lo encontrado para el cálculo por unidad (gráfica 7) donde esta alternativa fue la que contribuyó con más eMergía. Finalmente, el vehículo particular participa con $35752.00E+18$ sej/año, la más alta aportación de eMergía al sistema.



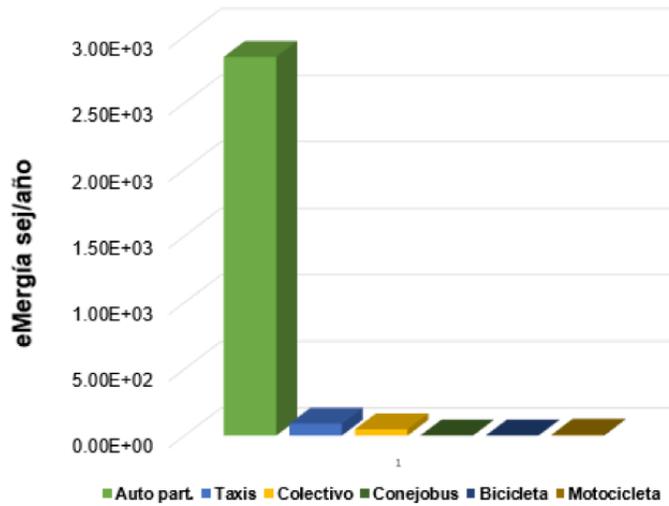
	Auto part.	Taxi	Colectivo	Conejobus	Bicicleta	Motocicleta
Componente económico de Emergía (M+S), por todas las unidades	3.575E+22	2.127E+21	1.695E+21	1.462E+20	8.272E+18	2.670E+19

Gráfica 9. Componente económico de eMergía (M+S) por todas las unidades. Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 10 se resumen los resultados para el componente ecológico (R+N) de todas las alternativas existentes. La modalidad que menos eMergía aporta al sistema es el Conejobús con $218.60E+18$ sej/año, seguido de la bicicleta que contribuye con $278.25E+18$ sej/año. La motocicleta participa con $750.44E+18$ sej/año, el vehículo particular; la alternativa que aporta más eMergía al sistema con $284589.39E+19$ sej/año. El taxi participa con $8995.39E+18$ sej/año y el colectivo con $4828.68E+18$ sej/año. Cabe mencionar que la alternativa que menos eMergía aporta al sistema es el Conejobús y no la bicicleta, lo cual se debe a hay menos unidades de autobuses Conejobús que de bicicletas. Esto es, si hubiese más unidades registradas de Conejobús el índice obtenido habría sido mayor. Debe señalarse que las modalidades de movilidad urbana no utilizan fuentes renovables de energía, por lo que únicamente se consideró la fuente no renovable.

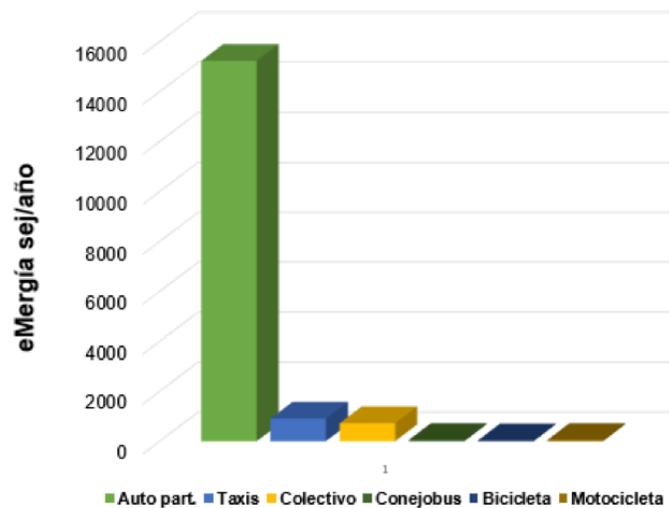
A continuación, en la gráfica 11, se presentan los resultados para la tasa de inversión (TI). Es oportuno indicar que cuanto más grande sea el índice, es mayor la cantidad de eMergía comprada por unidad de eMergía residente, esto es, cuanto mayor sea el índice se depende más de los insumos comprados o importados que de los recursos locales. Se aprecia que la bicicleta es la alternativa con menor tasa de inversión con 38.38, seguida del Conejobús con 52.83, esta última aportación resultó mayor en la evaluación unitaria (gráfica 8) que en la evaluación para todas las unidades (gráfica 11). A continuación, aparecen la motocicleta con tasa de inversión de 53.36, el

colectivo con 722.23, el taxi con 906.23 y automóvil particular con 15230.21, de nueva cuenta esta última modalidad es la de más alta tasa de inversión.



	Auto part.	Taxi	Colectivo	Conejibus	Bicicleta	Motocicleta
Componente ecológico de eMergía (R+N), por todas las unidades	2.846E03	8.995E+01	4.829E+01	2.186E+00	2.783E+00	7.504E+00

Gráfica 10. Componente ecológico de eMergía (R+N) por todas las unidades. Fuente: Elaboración propia



	Auto part.	Taxi	Colectivo	Conejibus	Bicicleta	Motocicleta
Tasa de inversión (econ/ecol) (M+S)/(R+N) por todas las unidades	15230.21	906.23	722.23	52.83	38.38	53.36

Gráfica 11. Tasa de inversión (M+S)/(R+N) por todas las unidades. Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

El uso creciente de combustibles derivados del petróleo, junto con las pautas actuales de movilidad en Tuxtla Gutiérrez, influye notoriamente en el entorno ambiental de la ciudad. Esta situación incide en el cambio climático, el calentamiento global, el deterioro de la capa de ozono, en la contaminación atmosférica y acústica y particularmente en la población que a diario se traslada para realizar sus actividades cotidianas. En todo esto el sector del transporte tiene una alta cuota de responsabilidad dado que ocasiona la no sostenibilidad en la movilidad urbana de Tuxtla Gutiérrez.

De acuerdo con los resultados presentados en este trabajo, se concluye que el actual sistema de transporte urbano, en sus diferentes modalidades, no es sostenible. En particular se encontró que la alternativa de movilidad que consume menos eMergía es la bicicleta con $22.19 \text{ E}+16$ sej/año, lo cual representa el 1.58 % de total de eMergía que consume el sistema. Por contraste, la alternativa de movilidad que consume más eMergía es el Conejobús con $461.76 \text{ E}+16$ sej/año, un 32.81 % de la eMergía total. El cálculo del índice de eMergía por kilómetro por persona por tipo de unidad muestra que el Conejobús es la modalidad más eficiente dado que el índice de eMergía por kilómetro por persona es de $1.46\text{E}+12$ sej/km/persona, el 0.6 % de toda la eMergía por kilómetro por persona de todas las alternativas. En segundo y tercer lugar aparecen el transporte colectivo ($1.58\text{E}+12$ sej/km/persona) y la bicicleta ($45.99\text{E}+12$ sej/km/persona), 0.7% y 20% respectivamente del total.

El índice de eMergía por tipo de alternativa por kilómetro, permite identificar que la alternativa que aporta más eMergía al sistema es la de vehículo particular $176.16\text{E}+12$ sej/km (41.27%), seguida del transporte público y de la motocicleta, con aportes emergéticos, respectivamente, de $87.85\text{E}+12$ sej/km (20.58 %) y $51.81\text{E}+12$ sej/km (12.14%). Se encontró que pese a que la bicicleta es la alternativa que consume menos eMergía del sistema, aporta mucha eMergía por kilómetro recorrido, $45.99\text{E}+12$ sej/km (10.77%). Los resultados para el índice de eMergía total de la movilidad por tipo de alternativas indican que la bicicleta es la modalidad más eficiente, con $2.87\text{E}+20$ sej/año (0.08%), seguida del Conejobús $3.65\text{E}+20$ sej/año (0.11%), y de la motocicleta $7.77\text{E}+20$ sej/año (0.23%). Al igual que con los índices anteriores, la alternativa que contribuye con más eMergía al sistema es el automóvil particular con $3203.41 \text{ E}+20$ sej/año (94.38%).

Por otra parte, el índice de la eMergía total de movilidad de las diferentes alternativas por persona señala que la alternativa más eficiente es la del Conejobús, que aporta al sistema $7.42\text{E}+15$ sej/año/persona (0.29%), seguida del colectivo que contribuye con $48.05\text{E}+15$ sej/año/persona (1.89%). Pese a que la bicicleta mostró ser más eficiente en algunos casos, ocupa el tercer lugar en eficiencia ya que participa con $221.94\text{E}+15$ sej/año/

persona (8.74%), cantidad que es mucho más alta que las del Conejobús y el colectivo. Debe tenerse presente que la movilidad urbana debe ser económica, ecológica y equitativa. La intersección de estas tres condiciones supone un entorno en el que se puede vivir mejor o con cierta calidad de vida, situación con la que no cumple Tuxtla Gutiérrez. Tal como se ha mostrado, la mayoría de los habitantes de esta ciudad prefiere el uso de vehículos de combustión interna, particularmente el automóvil propio, lo cual implica un gran consumo de espacio y energía. Además, el uso de estos vehículos origina emisiones contaminantes, ruido, accidentes de tránsito y congestión vial. En consecuencia, se confirma que la movilidad urbana de Tuxtla Gutiérrez no es sostenible.

Esta situación puede revertirse, o cuando menos desacelerar su crecimiento, atendiendo a las siguientes recomendaciones: reducción del uso de recursos importados y aumento del uso de energías renovables, reducción del consumo energético en el transporte, principalmente el vehículo propio –para disminuir su eMergía-, retrasar o detener la dispersión urbana para evitar recorridos demasiado largos, crear sistemas de transporte multimodal –de acuerdo a los índices obtenidos-, esto es, crear un sistema de transporte en el cual no se permita el ingreso de vehículos particulares en las áreas de mayor circulación, hacer más eficiente el transporte público y crear la infraestructura adecuada para el uso masivo de la bicicleta, el cual de acuerdo con los resultados alcanzados, es la alternativa más conveniente para la movilidad urbana.

Conviene recordar que la bicicleta es la opción más conveniente para viajar distancias cortas, y que el transporte público lo es para viajar distancias largas. Así, lo conveniente para Tuxtla Gutiérrez sería el integrar estas dos modalidades para que las personas puedan hacer viajes largos puerta a puerta sin tener que usar vehículos particulares. El integrar la bicicleta con el transporte público implica contar con lugares donde guardar las bicicletas en las estaciones de autobús o sitios cercanos a ellas y habilitar estos sistemas para que las personas puedan transportarse con sus bicicletas personales por distintas zonas de la ciudad. La intención es que los usuarios de una u otra modalidad dejen de usar sus vehículos particulares y empiecen a usar transporte público y bicicleta. Una línea de trabajo futuro deberá proponer este sistema de transporte multimodal, para articular estas dos modalidades de transporte, y así poder realizar con más rapidez y eficacia las operaciones de traslado de la gente, considerando los índices calculados en este trabajo.

Adicionalmente, se sugiere que junto al análisis emergético de modalidades de movilidad urbana, se realicen análisis de ciclos de vida (ACV) con unidades de toneladas de dióxido de carbono equivalente emitidas por unidad de movilidad por kilómetro por persona por año, para tener otro método de medición más directo que relacione el efecto de la movilidad con el cambio climático.

REFERENCIAS

- Álvarez, J., Morejón, C. Y. & Del Pozo, P. P.** (2020). Fundamentals for the Implementation of the Emergetic Synthesis Methodology. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 29(2), 84-92.
- Ávalos, A., Rodríguez, C., Ulacia, A. y Sánchez, M. B.** (2016). Modelo de simulación aplicado a territorios vulnerables. Czajkowski, B. T, Diulio, M. P., Reus Netto, G., Basualdo, D. E., Nieto Jimenez, R. D., y García Santa Cruz, M. G. (Editores). *Acta del I Encuentro Nacional sobre Ciudad, Arquitectura y Construcción Sustentable* (pp. 437-448). Facultad de Arquitectura y Urbanismo (UNLP).
- Bravo, E., López, E., Romero, O., Calvo, A. E. y Kiran, R.** (2018). *La eMergía como indicador de economía ecológica para medir sustentabilidad*. *Universidad y Sociedad*, 10(5), 78-84. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>
- Brown, M. T. & Ulgiati, S.** (2004). *Energy quality, emergy, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems*. *Ecological Modelling* 178, 201-213.
- Ferreira, J. C.** (2008). *Movilidad urbana sostenible: un desafío para los gobiernos locales*. II Simposio. Políticas Gestión y Desarrollo, Colombia Recuperado el 06/05/2019, de Red de Cooperación Interuniversitaria para el Desarrollo y la integración Regional. http://redcidir.org/nueva2014/index.php?option=com_phocadownload&view=category&%20download=478:movilidad-urbana-sostenible&id=27:ii%20simposio2009&Itemid=545&start=20&lang=es
- Gobierno Municipal de Tuxtla Gutiérrez.** (2014). *Agenda Estratégica de Nuestra Ciudad Tuxtla 2030*. Instituto Ciudadano de Planeación Municipal. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. <https://www.tuxtla.gob.mx/iciplam/descargas/Tuxtla2030.pdf>
- 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, Saõ Carlos. Saõ Paulo, Brasil.
- Gudmundsson, H.** (2003). Dar a los conceptos la importancia que les corresponde. Movilidad sostenible y sistemas de indicadores en la política de transporte. *Revista Internacional de Ciencias Sociales*, 176, 26-52.
- Guillén Trujillo, H. A.** (1998). *Sustainability of ecotourism and traditional agricultural practices in Chiapas, México*. Doctoral thesis. University of Florida, Florida, U.S.A.
- Henríquez Ruiz, C., Azócar García, G.** (2007). Propuesta de modelos predictivos en la planificación territorial y evaluación del impacto

ambiental. *Geo Crítica. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, vol. XI, 245 (41).

- ITDP Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo.** (2013). *Hacia una estrategia nacional integral de movilidad urbana*. http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/Movilidad-Urbana-Sustentable-MUS_.pdf
- 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.
- POLEA** (Política y Legislación Ambiental). (2019). *La movilidad urbana sustentable en México; propuesta regulatoria y programática*. http://comisiones.senado.gob.mx/desarrollo_urbano/docs/climatico/p2_5_131119.pdf
- Ramos Palacios, W. A.** (2016). *Análisis de la sustentabilidad de las alternativas de movilidad urbana en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chiapas.
- Secretaría de Hacienda del Gobierno del Estado de Chiapas** (SHGEC). *Perfiles Municipales de Chiapas 2014*. SHGEC, <http://ceieg.chiapas.gob.mx/perfiles>.