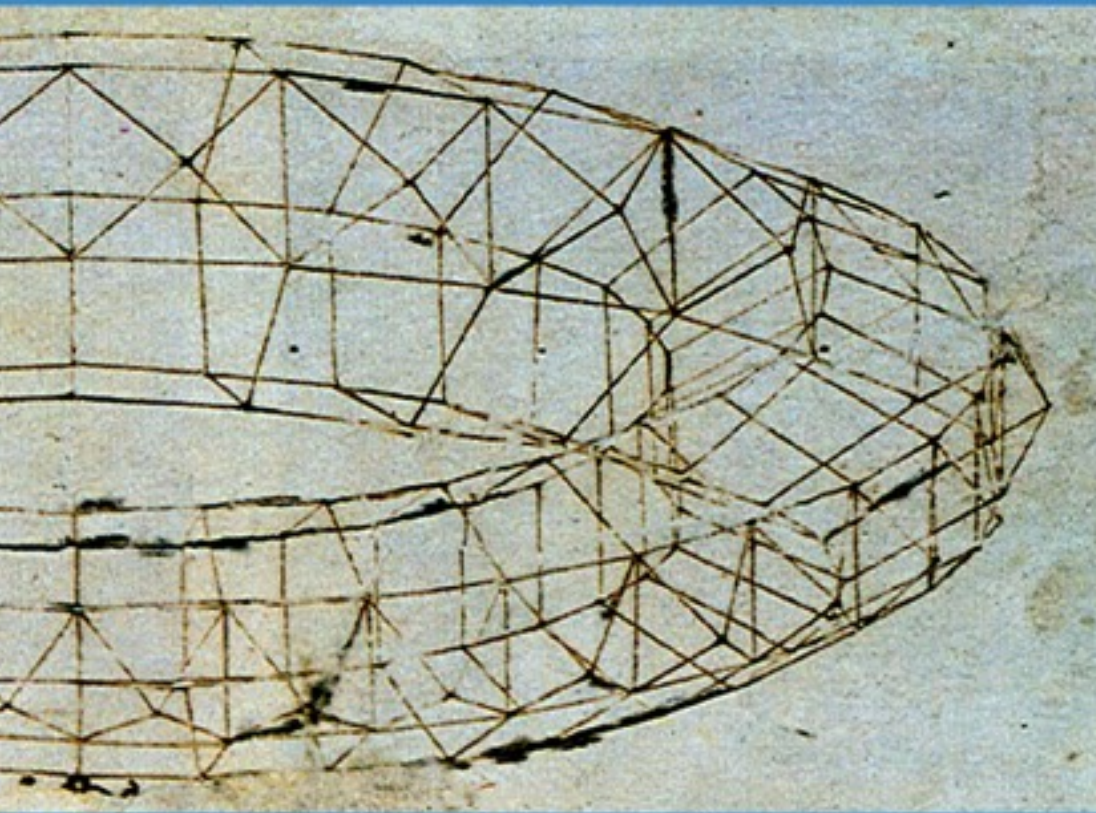


TRIM

Tordesillas Revista de Investigación Multidisciplinar



N.º 17 (2019)

TRIM

Tordesillas Revista de Investigación Multidisciplinar

Monográfico

Textos seleccionados de entre las comunicaciones
presentadas al

2º Simposio internacional RITMUS,

“Eficiencia Energética y Transporte:
Transporte Sostenible, Eficiencia Energética
y Energía Renovable”

17 (2019)

TRIM

Tordesillas Revista de Investigación Multidisciplinar

Directora

M.^a Francisca Blanco (Universidad de Valladolid)

Secretario

Jesús F. Pascual Molina (Universidad de Valladolid)

Comité científico

José M. Aroca (Universidad de Valladolid)

Felipe Cano (Universidad de Valladolid)

Dora Giordano (Universidad de Buenos Aires)

Juan Luis González García (Universidad Autónoma de Madrid)

Emily McClung (Universidad Autónoma de México)

Luis Manuel Navas (Universidad de Valladolid)

Fernando Rull (Universidad de Valladolid)

Marcio Soares (Universidade Federal de Minas Gerais)

Miguel Á. Zalama (Universidad de Valladolid)

TRIM se edita por el **Centro “Tordesillas” de Relaciones con Iberoamérica**, de la Universidad de Valladolid
(<http://ctri.uva.es>)

Licencia Creative Commons.



ISSN: 2173-8947.

TRIM aparece indexada en las bases de datos y repositorios:
DIALNET, DICE, DOAJ, ERIH PLUS, LATINDEX, MIAR

TRIM no se responsabiliza de los juicios y opiniones expresados
por los autores en sus artículos y colaboraciones.



El presente número monográfico de la revista *TRIM*, recoge los textos seleccionados de entre las comunicaciones presentadas al 2º *Simposio internacional RITMUS*, “*Eficiencia Energética y Transporte: Transporte Sostenible, Eficiencia Energética y Energía Renovable*” que tuvo lugar en la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, organizado por la *Red RITMUS* (Red Iberoamericana de Transporte y Movilidad Urbana Sostenible, Ref.: 718RT0566), perteneciente al Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), contando con el apoyo de la Dirección de Investigación Científica de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), la Cooperación Alemana GIZ y de las empresas Grupo Terra Energía, Consorcio de Inversiones, SA., COHESSA, Solar Power, Cementos del Norte y ELCOHSA.

Editores y comité científico:

- Profa. Dra. Ing. Carmen Luisa Vásquez-Stanescu.

Responsable de publicaciones de la Red RITMUS.

Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Vicerrectorado Barquisimeto, Venezuela.

Email: cvasquez@unexpo.edu.ve

- Prof. Dr. Rodrigo Ramírez-Pisco.

Co-Coordinador de la Red RITMUS. UNIBA-Universidad de Barcelona y Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Email: rramirez@unibarcelona.com

- Prof. Dr. Luis Manuel Navas-Gracia.

Co-Coordinador de la Red RITMUS Universidad de Valladolid, Centro Tordesillas de Relaciones con Latinoamérica, Valladolid, España.

Email: luismanuel.navas@uva.es

ÍNDICE

	Página
Principios para un transporte urbano sostenible en Iberoamérica hacia la transición energética	7
<i>Principles for a sustainable urban transport in Ibero-America towards the energy transition</i>	
RODRIGO RAMÍREZ-PISCO, CARMEN LUISA VÁSQUEZ STANESCU	
A eficiência energética e o sector dos transportes em Portugal: breve estado da arte	15
<i>Energy efficiency and mobility systems in Portugal: short state of the art</i>	
MARIA TERESA FOLGÔA BATISTA	
Sistemas de Transporte Urbano en Latinoamérica	31
<i>Urban Transport Systems in Latin-America</i>	
CARMEN LUISA VÁSQUEZ STANESCU, RHOMMER ORLANDO PÉREZ CEDEÑO, RODRIGO RAMÍREZ-PISCO, WILLIAM JOSÉ OSAL HERRERA	
Estudio exploratorio de evaluación de la accesibilidad en la ciudad capital de El Salvador	45
<i>Exploratory study of accessibility assessment in the El Salvador's capital city</i>	
CARLOS ERNESTO GRANDE AYALA, KATHERINE ELIZABETH ACEVEDO PAZ, EDUARDO LUIS GONZÁLEZ GONZÁLEZ, MIRIAM ALEJANDRA GUZMÁN HERNÁNDEZ, ANA GABRIELA MARAVILLA GALDÁMEZ	

<p>Criterios intermodales para la inclusión de modos no motorizados en el área de influencia del Sistema Integral de Transporte del Área Metropolitana de San Salvador</p> <p><i>Intermodal criteria to include non-motorized transport modes in the influence zone of Integral System of Transport of metropolitan area of San Salvador</i></p> <p>CARLOS ERNESTO GRANDE AYALA, EFRAÍN EDUARDO MENDOZA NÚÑEZ, RODOLFO ANTONIO MOLINA NOLASCO, CINDY VANESSA PÉREZ QUINTEROS, GISEL DAYANA TORRES MARROQUÍN</p>	<p>63</p>
<p>Trolebus eléctrico, una primera solución a la movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito-Ecuador</p> <p><i>Electric trolleybus, a first solution to mobility in the Metropolitan District of Quito-Ecuador</i></p> <p>JAIME PAÚL AYALA TACO, ALEXANDER IBARRA</p>	<p>81</p>
<p>Eficiencia e intensidad energética en Honduras, subsector eléctrico: Antecedentes y situación actual</p> <p><i>Energy efficiency and energy intensity in Honduras, electrical subsector: Background and present situation</i></p> <p>MARCO ANTONIO FLORES BARAHONA</p>	<p>93</p>
<p>Usabilidad, impactos ambientales y costos de los vehículos de combustión interna y eléctricos</p> <p><i>Usability, environmental impacts and costs of internal combustion vehicles and electric vehicles</i></p> <p>RENATO ANDARA</p>	<p>111</p>

Principios para un transporte urbano sostenible en Iberoamérica hacia la transición energética

Principles for a sustainable urban transport in Ibero-America towards the energy transition

RODRIGO RAMÍREZ-PISCO¹, CARMEN LUISA VÁSQUEZ STANESCU²

¹Universidad de Barcelona y Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
Gran Vía de les Corts Catalanes, 585, 08007

rramirez@unibarcelona.com

ORCID: 0000-0001-8648-3805

²Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, Barquisimeto, Venezuela. Parque Tecnológico, 3001

cvasquez@unexpo.edu.ve

ORCID: 0000-0002-0657-3470

Recibido: 15/07/2019. Aceptado: 15/11/2019.

Cómo citar: Ramírez-Pisco, Rodrigo; Vásquez Stanescu, Carmen Luisa (2019). “Principios para un transporte urbano sostenible en Iberoamérica hacia la transición energética”, *TRIM*, 17: 7-14.

Este artículo está sujeto a una [licencia “Creative Commons Reconocimiento-No Comercial” \(CC-BY-NC\)](#).

DOI: <https://doi.org/10.24197/trim.17.2019.7-14>

Resumen: El presente trabajo tiene como propósito revelar los principios que, desde la transición energética, deben desarrollarse en Iberoamérica para garantizar el transporte urbano sostenible. En el mismo se encuentran incluidos los principios de movilidad presentados en diversos proyectos y acuerdos Europeos, con miras a disminuir los efectos del cambio climático producto de los vehículos de combustión. La priorización de estos principios en función de la consulta a expertos realizada para la implementación en la región. Se priorizan de tres (3) grupos de principios que permitirán el desarrollo transporte urbano sostenible hacia la anhelada transición energética.

Palabras clave: Cambio climático, movilidad sostenible, sector transporte, transición energética, transporte urbano sostenible.

Abstract: Since the energy transition, the purpose of this paper is to reveal the principles that must be developed in Ibero-America to guarantee sustainable urban transport. It includes the principles of mobility presented in various European projects and agreements, with a view to reducing the effects of climate change as a result of the combustion vehicles. The prioritization of these principles based on the consultation of experts carried out for the implementation in the region.

We highlight the prioritization of three (3) groups of principles that will allow the sustainable development of this sector towards the desired energy transition.

Keywords: Climate change, sustainable mobility, transport sector, energy transition, sustainable urban transport.

INTRODUCCIÓN

La transición energética, entendida como la búsqueda de estados y regiones con un modelo energético 100% renovable (Bermejo, 2013), está generando iniciativas que modifiquen la forma como nos relacionamos con nuestro entorno y, en general, el acceso a la energía y manera en que actuamos con nuestro planeta, desde la perspectiva de una globalidad sostenible. Esta necesidad apremiante se manifiesta en todos los sectores y, en algunos de estos, según los autores de este documento, se presentan mayores adelantos que en otros, caso del sector de generación de energía y los compromisos de los industriales y de alto consumo energético. Sin embargo, el sector transporte no posee indicadores que minimicen el impacto global que causa y es, por esta razón, que se están proponiendo iniciativas que serán en el futuro determinantes dentro de la movilidad que todos conocemos.

El horizonte en España, por ejemplo, ha sido alertada por el anuncio de la posible prohibición que los vehículos “contaminantes” rueden por las calles y carreteras en unas dos (2) décadas (MITECO, Anteproyecto de Ley de cambio climático y transición energética, 2019). El anteproyecto de la Ley de Cambio Climático y Transición Energética (MITECO, 2019) recoge en el texto la prohibición de “la matriculación y venta en España de turismo y vehículos comerciales ligeros con emisiones directas de dióxido de carbono”, lo que afectaría a los que dispongan de un motor de combustión interna, ya sea de gasolina, gasóleo o híbrido, a partir del 2040. El objetivo sería reducir un 20% las emisiones de CO₂ y la generación de al menos el 70% de la producción mediante energías renovables de cara al año 2030.

La Unión Europea (Reino Unido o Francia), prevén la prohibición de comercializar automóviles turismos con motores de combustión a partir del año 2040 y su circulación en 2050. Dinamarca, Irlanda, Alemania y Holanda rebajan la fecha hasta el año 2030 y, adicionalmente, Noruega pretende prohibir la comercialización de los vehículos con motor térmico en el año 2025.

Las iniciativas de control y prohibición de vehículos de motor de combustión en otros países se están tomando en el marco de la llamada transición energética, lo que deja un horizonte esperanzador. Es decir, se están tomando las primeras medidas globales que ayudan a minimizar el impacto que el sector transporte causa en nuestra sociedad, las primeras medidas contundentes hacia la sostenibilidad, pero que a su vez genera un par de preguntas inevitables:

- a) ¿Son estos esfuerzos suficientes?
- b) ¿Estamos a tiempo? o ¿estas medidas se adoptan demasiado tarde?

La primera pregunta tiene una respuesta directa: estos esfuerzos no son suficientes porque el problema de la sostenibilidad es global. Esto significa que en una economía global los vehículos que no transiten por España lo harán en otros países donde la agenda ambiental y la preocupación por la sostenibilidad estén en otro reglón de prioridades. Lamentablemente, entre estos países están los mayores consumidores y son los de mayor crecimiento económico de las próximas décadas.

Acerca de la segunda pregunta ¿es demasiado tarde? Ésta no se puede contestar con un sólo sí o no. Tendremos que esperar los resultados de la aplicación de este tipo de medidas y ver cómo reacciona nuestro entorno. En general, no hay un consenso de pleno optimismo al respecto, expertos aseguran que tendremos que hacer cambios radicales en la relación con la forma en que nos relacionamos con nuestro hábitat, el tiempo y la situación de nuestro planeta nos lo dirá. Es en este horizonte en el que tenemos que trabajar: unas medidas que se toman pero que se pueden considerar ineficientes de acuerdo al nivel de responsabilidad o compromiso que debemos fijar para revertir la situación, que hasta ahora, se plantea como catastrófica.

El presente trabajo se dedica a revelar los principios que, desde la transición energética, deben desarrollarse en Iberoamérica para garantizar el transporte urbano sostenible. El mismo se encuentra dividido en secciones dedicadas a el transporte sostenible, los principios de movilidad y, finalmente, los que han sido recomendados y agrupados por prioridades a Iberoamérica, en función del grupo de expertos de la Red Iberoamericana para el Transporte y la Movilidad Urbana Sostenible (RITMUS) del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED, 2019).

1. TRANSPORTE SOSTENIBLE

Actualmente, el tema del transporte sostenible está presente en todos los foros técnicos, económicos, políticos, ambientales, etc., relacionados con la sostenibilidad de nuestro planeta. Si bien no es una preocupación nueva, la realidad es que ha pasado de ser un tema interés particular de un grupo de ecologistas y ambientalistas, inquietados por el futuro de nuestro planeta, para convertirse en uno transversal para toda la sociedad.

La nueva posición de parte de los expertos no ha sido fácil, sabemos que el sector transporte consume por encima de una cuarta parte de la energía del mundo y causa el 14% de emisiones de CO₂ (Agency, 2018). Otros cifran su aporte a los gases efecto invernadero (GEI) en cerca de un 29%, (Sostenibilidad, 2018). Pareciera entonces que si queremos actuar contra el cambio climático no cabe duda que debemos adoptar retos que se refieran a este sector y que disminuyan o, por lo menos, mejoren nuestra manera en qué y cómo nos movemos.

Es en este punto en que cabe una primera reflexión: “EL objetivo de la movilidad sostenible es mover personas, no coches” (Project, 2019). Vale la pena adoptar este principio, si bien la sostenibilidad es el reto de nuestra época, la experiencia nos muestra que muchas de las actividades que el hombre ha diseñado o ejecutado para “mejorar” el sector transporte han sido alejadas de la sostenibilidad. En general, han estado dirigidas, en una primera fase, a mejorar el problema del alto nivel de atascos causados por la gran cantidad de vehículos que mueve el transporte privado y público en nuestras ciudades. En general, las medidas adoptadas desde las instituciones públicas han estado más preocupadas por la libertad de movimiento de los vehículos que la propia de las personas.

Muchas de las medidas, como por ejemplo la restricción por número de matrícula, la sectorización de la ciudad, la promoción de mayor ocupación, entre otras, obtienen resultados positivos en cortos plazos de tiempo. Sin embargo, para algunos estas medidas no llegan a brindar resultados destacables en cuanto a la sostenibilidad de nuestras ciudades.

2. PRINCIPIOS PARA LA MOVILIDAD SOSTENIBLE

La Corporación Alemana para la Cooperación Internacional (GiZ, por sus siglas en Alemán) (GiZ, 2018) y el Ministerio Federal de Economía y Energía Alemana (BMW_i, 2018), realizaron durante varios años de la

década pasada un programa completo que se dedica a la promoción y divulgación de actividades relacionadas con el transporte sostenible (Project, 2019). Las conclusiones de este estudio permitieron llegar a diez (10) puntos que pueden incrementar la movilidad sostenible. Estos puntos se consignan en la Tabla 1, al igual que la infografía creada por el proyecto para la promoción de estas actividades en la Figura 1.

Tabla 1. Principios para transporte urbano sostenible (Project, 2019)

Ítem	Principio
1	Planear ciudades a escala humana
2	Crear ciudades orientadas al transporte público
3	Optimizar la malla vial y su uso
4	Fomentar el caminar y el uso de la bicicleta
5	Controla el uso de los vehículos
6	Promover mejoras en el transporte público
7	Gestionar el estacionamiento
8	Promover vehículos limpios
9	Comunicar soluciones
10	Abordar los retos de manera exhaustiva

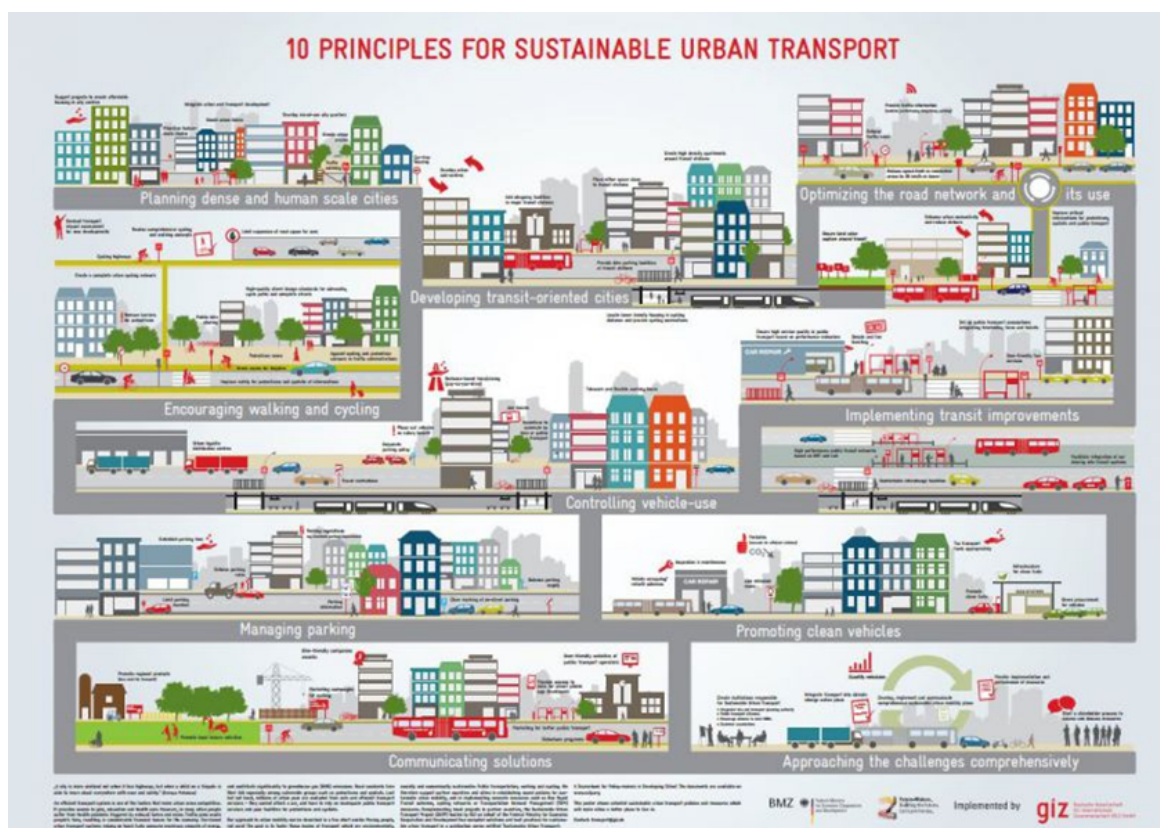


Figura 1. Principios para un transporte urbano sostenible (Project, 2019)

Es claro que estos puntos o principios permitirían un transporte sostenible de forma general, pero tendremos que estudiar si regionalmente estos principios funcionan de igual manera en diversos escenarios.

3. ¿CÓMO FUNCIONA EN IBEROAMÉRICA EL TRANSPORTE URBANO SOSTENIBLE?

Si bien hablamos de diez (10) principios para hacer un transporte urbano sostenible, algunos tienen una importancia mayor o menor en Iberoamérica. Un estudio detallado con expertos realizado en el marco de la Red RITMUS patrocinada por CYTED (CYTED, 2019) muestra cómo resultado general, luego de una encuesta aplicada a expertos internacionales de la región, una priorización de los principios para esta región que se pueden ver en la Figura 2.

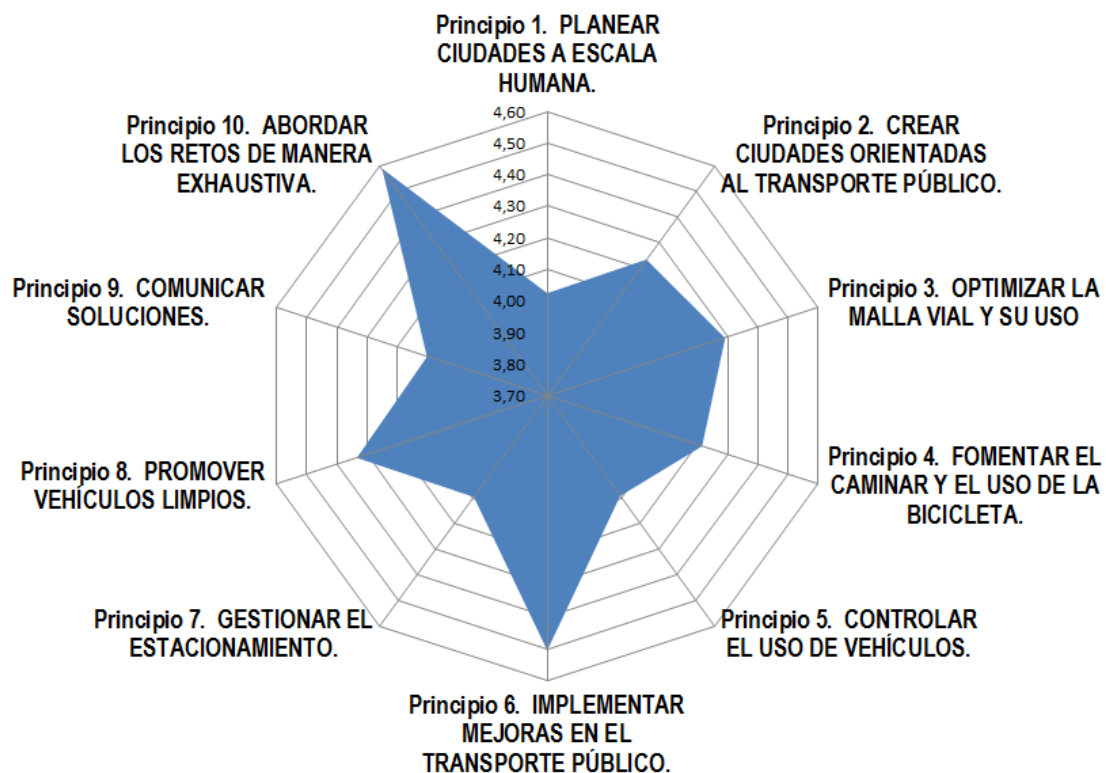


Figura 2. Valoración de principios para el transporte sostenible en Iberoamérica.

Fuente: autores.

Como puede observarse en la Figura 2, pareciera que el interés se centra en actividades regulatorias (abordar los retos que se apliquen de manera exhaustiva), de planificación (optimizar la malla vial y su uso) y,

sobretudo, mejorar el transporte público, por supuesto además de un ordenamiento de la actividad municipal.

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES FINALES

Dentro de los resultados de la encuesta aplicada en el marco de la red RITMUS de CYTED se puede apreciar:

Los principios más valorados son implementar mejoras en el transporte público, optimizar la malla vial y promover vehículos limpios, haciendo énfasis en abordar los retos que el sector tiene de manera exhaustiva. Otro reto es planear ciudades a escala humana y ciudades orientadas al transporte público. Este transporte debe ser mejorado. Finalmente, un tercer grupo son brindar opciones de transporte usando los medios menos contaminantes: bicicleta y caminar, unido a restringir el uso del vehículo, principalmente el uso del privado.

Pareciera entonces que no basta con la eliminación de vehículos o por la promoción de nuevas tecnologías, reconociendo que es importante contar con estas innovaciones las cuales brindarán parte del marco de desarrollo del futuro del sector transporte. El futuro de este sector requiere que deban agregarse aspectos que permitan un uso sostenible de toda la actividad: infraestructuras, mecanismos de apoyo a las nuevas tecnologías, cambios regulatorios, ayudas económicas, diseños de ciudades que integren la movilidad sostenible y, en fin, otras actividades que pasan por cambiar solamente los vehículos y la energía que usamos para “alimentarlos”.

AGRADECIMIENTO

Los autores de este artículo quieren agradecer al Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), ya que el mismo fue elaborado en el marco del proyecto Red Iberoamericana de Transporte y Movilidad Urbana Sostenible (RITMUS, 718RT0566).

BIBLIOGRAFÍA

- Agency, U. S., "Reducing Air Pollution from International Transportation", en <https://www.epa.gov/international-cooperation/reducing-air-pollution-international-transportation#reducing> (15/04/2018)
- Bermejo, Roberto (2013), "Ciudades, postcarbono y transición energética", *Revista de Economía Crítica*, 16, pp. 215-242, en http://revistaeconomiacritica.org/sites/default/files/07_RobertoBermejo.pdf
- BMWi (2018), "Bundesministerium für Wirtschaft und Energie", en <https://www.bmwi.de/Navigation/DE/Home/home.html> (28/11/2018)
- CYTED (2017) "Red Iberoamericana de movilidad y transporte urbano sostenible", en <http://www.cyted.org/es/ritmus> (01/02/2019)
- GiZ (2018), "Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit", en <https://www.giz.de/de/html/index.html> (28/11/2018)
- Project, S. U. (2019), "Proyecto de Transporte Urbano Sostenible GIZ - GIZ SUTP", en <https://www.sutp.org/es/about-us.html> (01/02/2019)
- Observatorio Sostenibilidad (2019), "Sostenibilidad en España 2019", en <https://www.observatoriosostenibilidad.com/2019/04/28/sostenibilidad-en-espana-2019/> (15/04/2018)

A eficiência energética e o sector dos transportes em Portugal: breve estado da arte

Energy efficiency and mobility systems in Portugal: short state of the art

MARIA TERESA FOLGÔA BATISTA

ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Universidade de Évora, Núcleo da Mitra, Ap. 94, 7002-554 Évora, Portugal

mtfb@uevora.pt

ORCID: 0000-0002-1055-6841

Recibido: 15/07/2019. Aceptado: 15/11/2019.

Cómo citar: Batista, Teresa (2019), "Energy efficiency and mobility systems in Portugal: short state of the art", *TRIM*, 17: 15-29.

Este artículo está sujeto a una [licencia "Creative Commons Reconocimiento-No Comercial" \(CC-BY-NC\)](#).

DOI: <https://doi.org/10.24197/trim.17.2019.15-29>

Resumo: Desde há várias décadas que o sector do transporte é um dos principais responsáveis pelo aumento das emissões de contaminantes atmosféricos e de produção de ruído. O sector do transporte, tal como o da indústria, constitui um dos sectores com maiores consumos energéticos e com uma forte dependência de recursos energéticos não renováveis. O consumo de energia do sector dos transportes em Portugal é de aproximadamente 42% do consumo final de energia no país, dados de 2016 (Pordata, 2019). O modo de transporte mais contaminante (em termos absolutos) é o transporte por automóvel, seguido dos meios aéreos, marítimo / fluvial e, por último, o ferroviário. Em Portugal, o transporte por estrada é responsável por mais de 23,5% do total de emissões de gases de efeito de estufa (GEE).

Palavras clave: Eficiência energética; PNAE, Transportes, Portugal, RITMUS

Abstract: For several decades the transport sector has been a major contributor to increased emissions of air pollutants and noise. The transport is, along with industry, the sectors with the greatest energy consumption and a strong dependence on non-renewable energy resources. In Portugal the energy consumption of the transport sector is nearly 42% of the final energy consumption in the country, data from 2016 (Pordata, 2019). The most polluting mode of transport (in absolute terms) is road transport by cars/trucks/buses, followed by air, sea / river and, finally, train. In Portugal, road transport contributes for more than 23.5% of total greenhouse gas (GHG) emissions.

Keywords: Energy efficiency; PNAE, Transport, Portugal, RITMUS.

INTRODUÇÃO

Desde há várias décadas que o sector do transporte é um dos principais responsáveis pelo aumento das emissões de contaminantes atmosféricos e de produção de ruído. O sector do transporte, tal como o da indústria, constitui um dos sectores com maiores consumos energéticos e com uma forte dependência de recursos energéticos não renováveis.

O consumo de energia do sector dos transportes em Portugal foi em 2016 cerca de 42% do consumo final de energia no país (Pordata, 2019). O modo de transporte mais contaminante (em termos absolutos) é o transporte por automóvel, seguido dos meios aéreos, marítimo / fluvial e, por último, o ferroviário. O transporte por estrada é responsável por mais de 23,5% do total de emissões de gases de efeito de estufa (GEE).

O presente artigo tem como objetivo dar uma visão geral sobre o estado e perspectivas de evolução das medidas de eficiência energética em Portugal e sua aplicação ao setor dos transportes. Serão abordados o consumo atual de energia em Portugal, a matriz energética do país, a legislação sobre eficiência energética, o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética, a mobilidade elétrica e as emissões de gases de efeito de estufa resultantes do sector dos transportes.

1. CONSUMO DE ENERGIA EM PORTUGAL TOTAL E POR SECTOR

A evolução do consumo energético dos países europeus não tem variado significativamente desde 1990. Há uma ligeira diminuição em 2009 resultante da crise de 2008, mas de uma maneira geral nos anos seguintes há uma tendência de aumento do consumo energético em todos os países para níveis próximos ou superiores a 1990. Vejamos os dados de consumo energético total (em milhares de tep¹) por país expressa na figura 1. Há que referir que Portugal é dos países que menos energia consome, estando contudo ligeiramente acima da Irlanda, país com menos de metade da população de Portugal: Irlanda: 4.807.388, Portugal 10.300.300 (APA, 2018). Ainda a referir que Portugal consome em média 5% do total consumido pela Alemanha e 20% do consumo de Espanha, o que traduzido em tep *per capita* equivale a 2,63 tep/*capita* na Alemanha, 1,77 tep/*capita* em Espanha e 1,56 tep/*capita* em Portugal (APA, 2018).

¹ Tonelada equivalente de petróleo.

O sector dos transportes é um dos mais poluentes e de maior consumo de combustíveis fósseis. Assim vejamos, em 2016, o consumo energético do sector dos transportes foi na Alemanha de 30% do total do consumo energético e em Portugal e Espanha de 42% (Figura 1; Tabela 1. Consumo energético dos diversos setores (valores de 2016 em %). Fonte:). O sector da indústria é o segundo maior consumidor em ambos os países seguido dos sectores doméstico e serviços (Tabela 1).

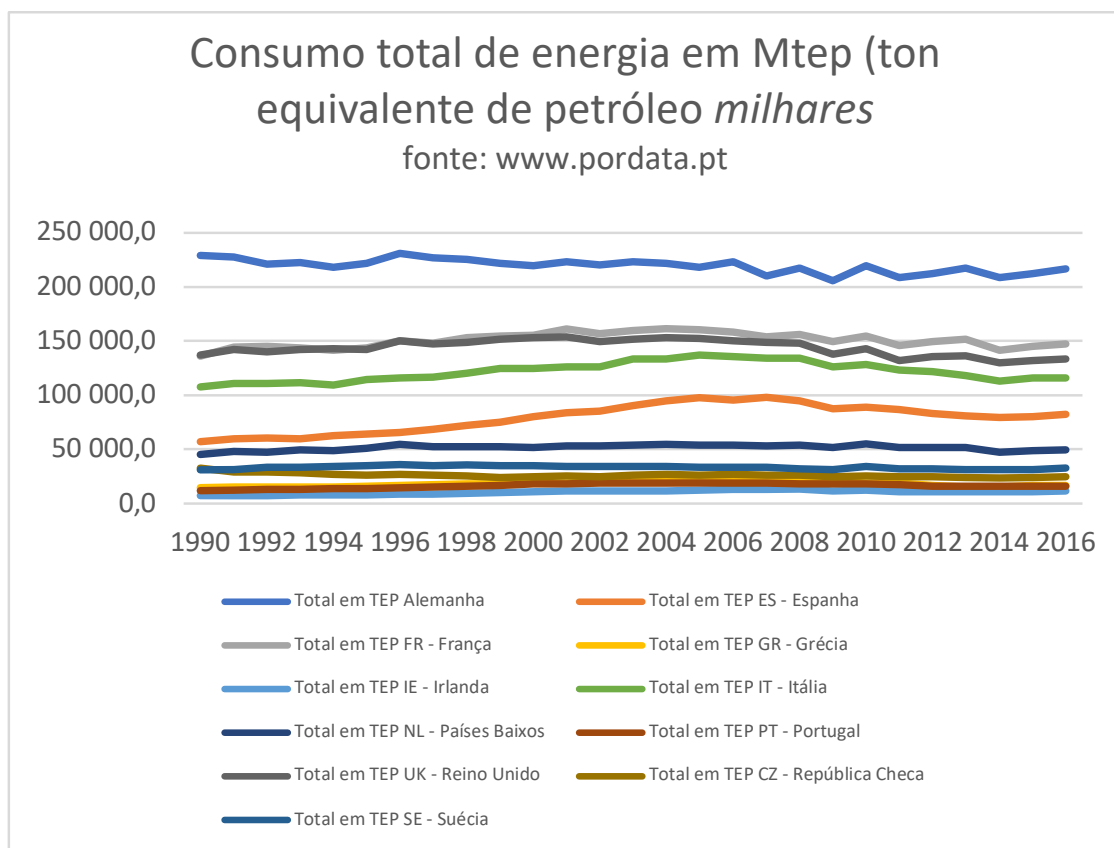


Figura 1. Consumo total de energia em Mtep (milhares de ton equivalente de petróleo) (Pordata, 2019)

Tabela 1. Consumo energético dos diversos setores (valores de 2016 em %). Fonte: (Pordata, 2019)

	Alemanha	Espanha	Portugal
Indústria	0,28	0,23	0,27
Transportes	0,30	0,42	0,42
Doméstico	0,26	0,18	0,16
Agricultura	0,00	0,03	0,02
Serviços	0,16	0,14	0,13
	1,00	1,01	1,00

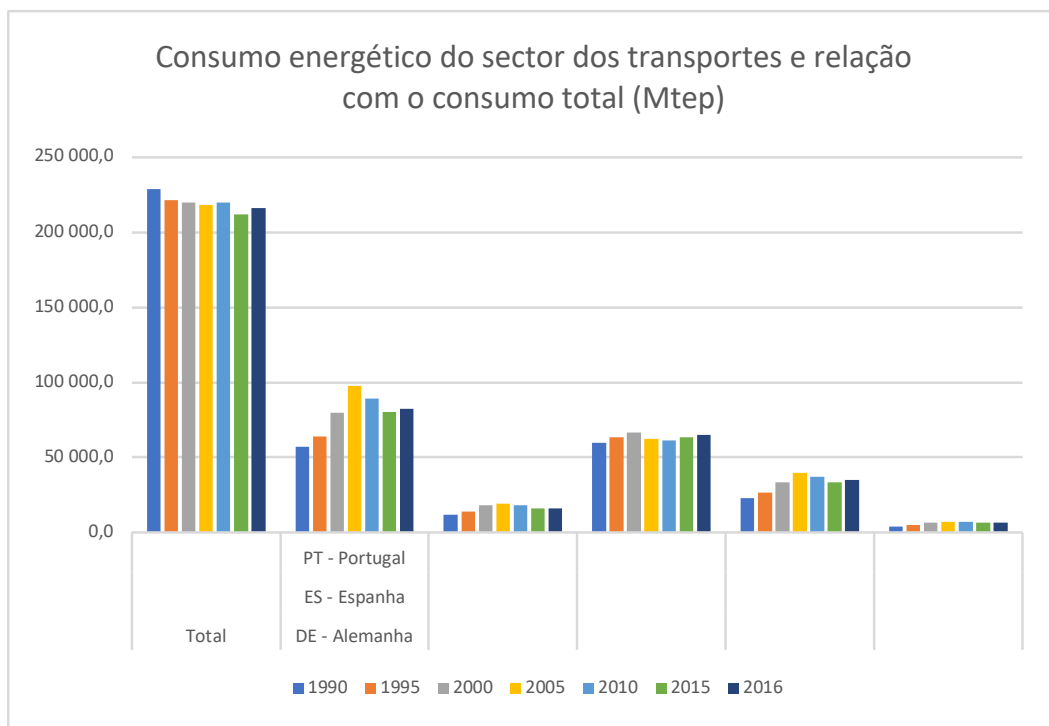


Figura 2. Consumo energético do sector dos transportes e relação com o consumo total (Mtep) (dados de 1990 a 2016) (Pordata, 2019).

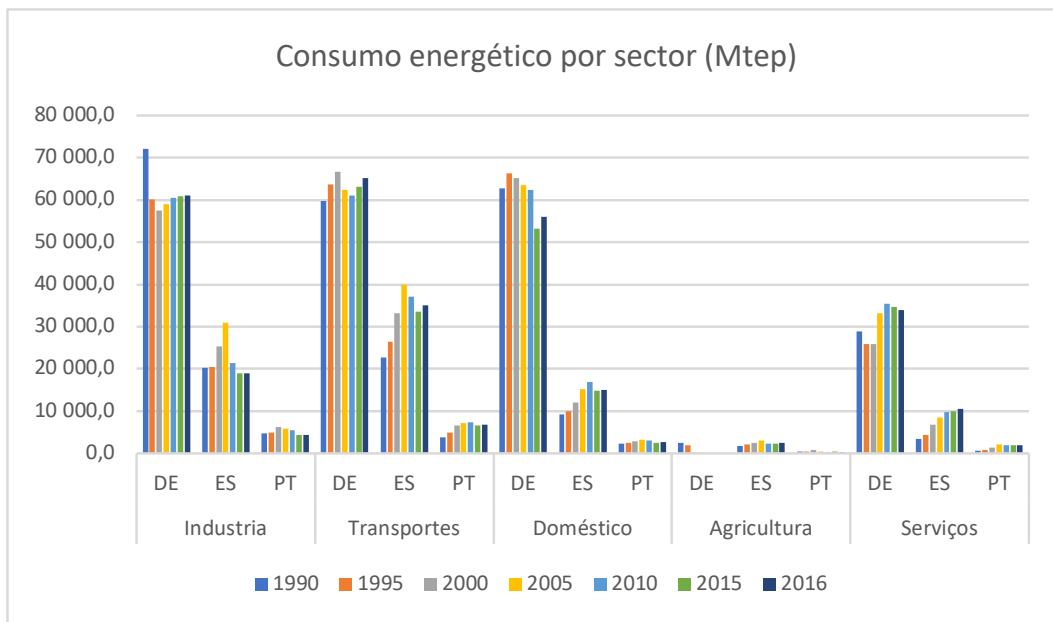


Figura 3. Consumo energético por sector (Mtep), (dados de 2016) (Pordata, 2019)

Relativamente às fontes de energia, a análise do consumo de energia primária por fonte energética resulta que, muito embora se mantenha a tendência de diminuição do seu peso relativo, o petróleo e seus derivados continuam a ser a fonte energética mais utilizada, representando 42,7% do consumo de energia primária em 2016. Como segunda fonte energética mais utilizada seguiu-se o gás natural, com 19,9%. Em terceiro lugar esteve o carvão com 13,1%, logo seguido da biomassa com 12,9% e da energia elétrica com 10,0% (Fernandes, Déjean, Ribeiro, & Rodrigues, 2018).

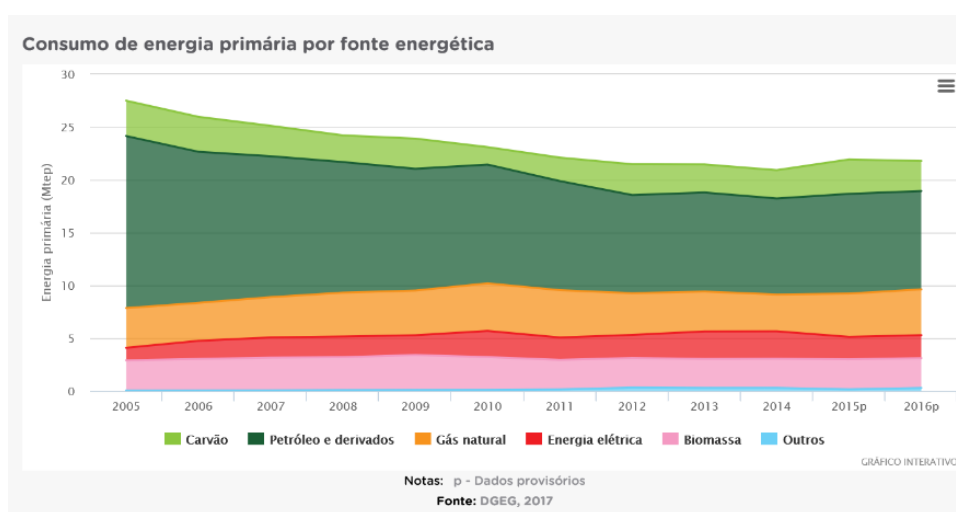


Figura 4. Consumo de energia por fonte energética (DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia, 2018) (<http://www.dgeg.gov.pt/>)

Portugal continua a ser deficitário em energia primária e final (Figura 5), sendo que em 2016 a dependência energética foi de 74,2%, situação conseguida à custa do aumento da capacidade de produção de energias renováveis no país.

Em 2016, as energias renováveis representavam já 28.5% do consumo total de energia em Portugal. Este valor coloca Portugal em 2016 a cumprir cerca de 91.9% do seu objetivo final para 2020 (Fernandes et al. 2018).



Figura 5. Dependência energética de Portugal (DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia, 2018)

No que diz respeito à electricidade produzida a partir fontes de energia renováveis (RES), houve uma quebra em 2017 devido à seca que ocorreu naquele ano, o que levou a uma forte redução na geração de energia hidrelétrica, resultando em 45,5% da produção de eletricidade a partir de fontes renováveis (para efeitos da directiva relativa às energias renováveis, foi de 55,6%). A alta intensidade energética da economia (133 toe / M € preços do PIB de 2010, em 2016) mantém-se, embora esteja em declínio desde 2005 (exceto em 2009, 2013 e 2015). A média da UE-28 foi de 118,6 tep / M € do PIB a preços de 2010, em 2016 (Fernandes et al. 2018).

O setor dos Transportes é o terceiro mais intensivo em energia, com uma intensidade energética de 33 tep / M €'2011, em 2016. Segundo Fernandes et al, (2018), a incorporação de energia renovável neste setor atingiu 7,5% em 2016, uma percentagem ligeiramente maior superior à média da União Europeia UE-28 (7,1%).

A distribuição modal do consumo energético é repartida essencialmente por mercadorias e passageiros. Relativamente ao transporte de mercadorias os modos mais utilizados são o transporte marítimo e rodoviário, quer no que respeita quer às importações quer às exportações (Figura 6).

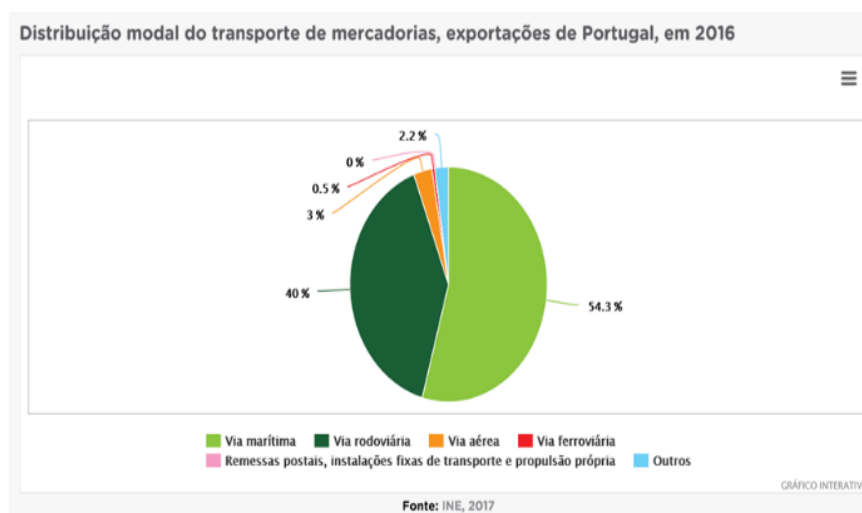
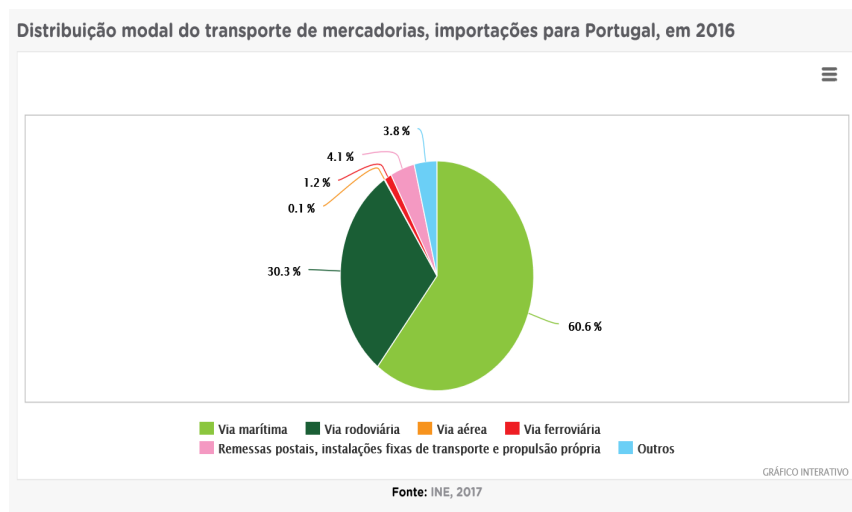


Figura 6. Repartição modal do sector do transporte de mercadorias

Quanto à repartição modal do transporte de passageiros, ela é essencialmente realizada por transporte individual em detrimento do transporte coletivo. Verifica-se que esta opção é cada vez maior em Portugal, tendo vindo a aumentar o uso do transporte individual de cerca de 80% em 2000 para 90% em 2015, contrariando todas as recomendações das diretivas europeias.

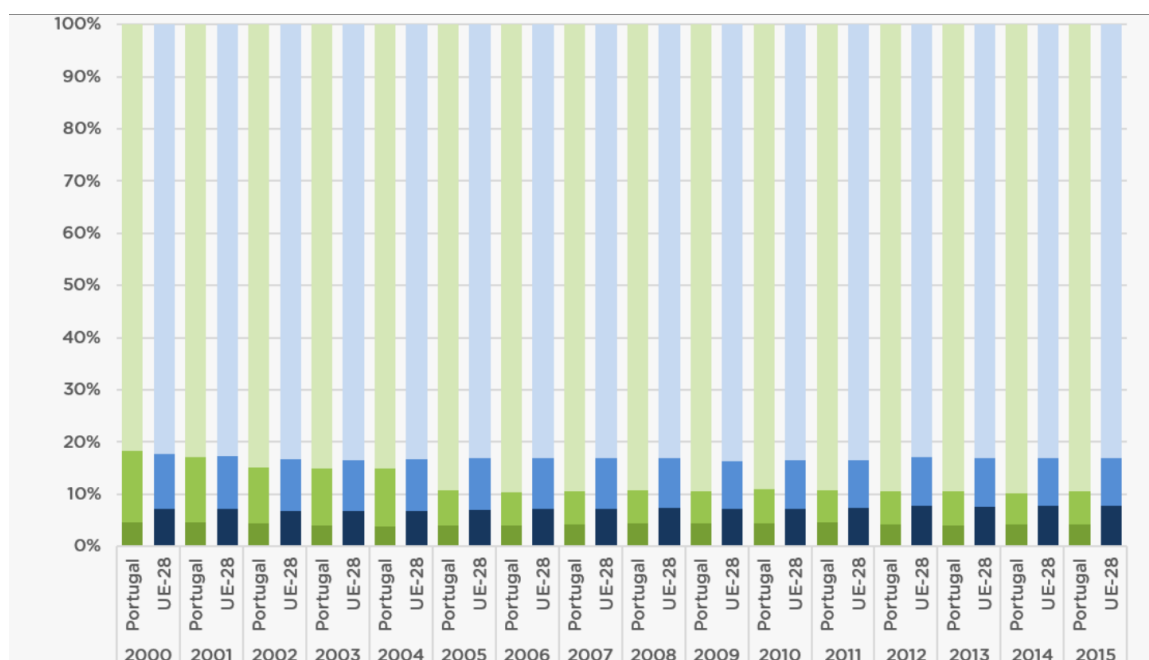


Figura 7. Distribuição modal do transporte de passageiros, em Portugal e na UE-28 (DGEG 2017)

Já quanto à ferrovia, a sua utilização é inferior a 5%, tendo por um lado havido investimento na eletrificação da ferrovia, mas por outro lado um claro desinvestimento e abandono de vias ferroviárias essencialmente no interior do país.

2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: LEGISLAÇÃO E PLANEAMENTO

A preocupação relacionada com a diminuição do uso dos combustíveis fósseis e com a promoção da eficiência energética em todas as suas vertentes desencadearam o aparecimento de regulamentação nesta temática. Assim em 2012 o Parlamento Europeu e o Conselho publicam a Diretiva nº 2012/27/UE de 25 de outubro de 2012, a qual estabelece um novo marco na promoção da eficiência energética na EU e define ações e metas para a transição para uma economia de baixo consumo de carbono até 2050. Esta diretiva é transposta para o direito português através do Decreto-Lei nº. 68-A/2015 de 30 de abril e outra legislação no âmbito da eficiência energética². No seguimento deste marco legislativo elaborase,

² Diretiva de Eficiência Energética - Diretiva 2012/27/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro. Eficiência Energética e Produção em Cogeração -

em 2016, em Portugal, a primeira versão do **PNAEE - Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética**³, o qual tem como objetivos essenciais:

- A diminuição do consumo de energia primária;
- A transição para uma economia de baixo carbono;
- A melhoria da eficiência energética nos transportes públicos e privados;
- A promoção da mobilidade elétrica;
- E a promoção de mobilidade suave.

O PNAEE 2016 aborda seis sectores específicos: Transportes, Residencial e Serviços, Indústria, Estado, Comportamentos e Agricultura. A meta da UE para a redução do consumo de energia primária é de 20% para o ano de 2020. Tal como pode ser observado na tabela 2, é no setor residencial e serviços que reside o maior potencial de poupança, seguido da indústria e dos transportes (DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia, 2018).

Contribuição, por programa, de energia primária poupada (tep) até 2013 para as metas de 2016 e 2020

Programa	Meta 2016 (tep)	Execução	Meta 2020 (tep)	Execução
Agricultura	30.000	0%	40.000	0%
Comportamentos	32.416	50%	32.416	50%
Estado	153.634	23%	295.452	12%
Indústria	377.221	64%	521.309	46%
Residencial e Serviços	836.277	58%	1.098.072	44%
Transportes	343.683	82%	406.815	69%

Figura 8. Contribuição por programa de energia primária poupada (tep)

No setor dos transportes, o PNAEE 2016 integra os seguintes programas para melhorar a eficiência energética (DGEG, 2018):

- a) **O Eco Car**, que adiciona medidas destinadas a melhorar a eficiência energética nos veículos, nomeadamente a tributação verde, o uso de pneus mais eficientes e com a pressão correta e ainda a promoção da mobilidade elétrica;

Decreto-Lei n.º 68-A/2015, de 30 de abril e Declaração de Retificação n.º 30-A/2015, de 26 de junho.

³ Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética para o período 2013-2016 (PNAEE 2016) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis para o período 2013-2020 (PNAER 2020) - Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, de 10 de abril.

b) A **melhoria da mobilidade urbana**, que engloba medidas relacionadas com a necessidade de promover o uso do transporte coletivo mais ecológico e com menos emissões (nomeadamente introduzindo o transporte elétrico) e promover os modos de transporte suaves pedonal ou de bicicleta ou outros meios suaves (trotineta, patinete e outros) em detrimento do transporte motorizado individual, mas também medidas de reordenamento do espaço urbano que está mais pensado para os fluxos de veículos que de peões;

c) **Melhoria do sistema de eficiência energética nos transportes**, que inclui medidas para impulsionar a utilização de redes ferroviárias de passageiros, eletrificação dessas redes e gestão de energia das frotas de transporte.

A eficiência energética no setor dos transportes depende de diversos fatores. A eficiência energética nos transportes rodoviários depende do tipo de veículo, do condutor, da rota, da data e hora do dia e das condições meteorológicas (Correia de Almeida, 2013). São também fatores influenciadores o tipo de combustível, a eficiência do motor, o catalisador, a eficiência de toda a componente mecânica de transmissão e condução da energia, e claro do próprio condutor como refere Correia de Almeida (2013).

3. A MOBILIDADE ELÉCTRICA EM PORTUGAL

A mobilidade elétrica é cada vez mais relevante para a mobilidade sustentável e para aumentar a eficiência energética nos transportes. À medida que a autonomia dos veículos elétricos aumenta, espera-se que os utilizadores dessa forma de mobilidade cresçam na mesma proporção. Os veículos elétricos são distinguidos por conter um binário constante e disponível imediatamente, ter um ruído reduzido (o que por vezes é causador de acidentes rodoviários), ter um melhor desempenho ambiental (embora controversa a questão da composição das baterias e do gasto energético e impacte ambiental das mesmas), menores custos de combustível e manutenção, redução de emissões de gases de efeito estufa e diminuição da dependência energética do país. Por estas razões a mobilidade elétrica é defendida como um fator decisivo para a redução da pegada de carbono dos países.

Em Portugal a preocupação e promoção da mobilidade elétrica remonta ao final do século passado. Em 1999, foi criada a Associação Portuguesa do Veículo Elétrico (APVE), organismo de Utilidade Pública

sem fins lucrativos, de âmbito nacional, com a missão da promoção da ampla utilização de veículos com propulsão eléctrica, (a Bateria, Híbrido e a Pilha de Combustível) integrada numa política de transportes e mobilidade sustentável (APVE, 2018). Até 2017 foram registrados 8.004 veículos de passageiros eléctricos, significando um aumento de 65% em relação ao ano anterior (Fernandes et al 2018).

Segundo o ranking da EV Volumes (EVvolumes.com, 2019), Portugal ocupava, em 2017, um lugar destacado na lista de Países com maior crescimento da percentagem de veículos eléctricos no mercado de novos automóveis registados. Entre os países em que esta percentagem é mais elevada, destaque para a Noruega, que lidera o ranking. Portugal ocupava, em 2017, a 18.^a posição desta lista da EV Volumes, à frente de países como o Canadá, o Japão ou até os Estados Unidos.

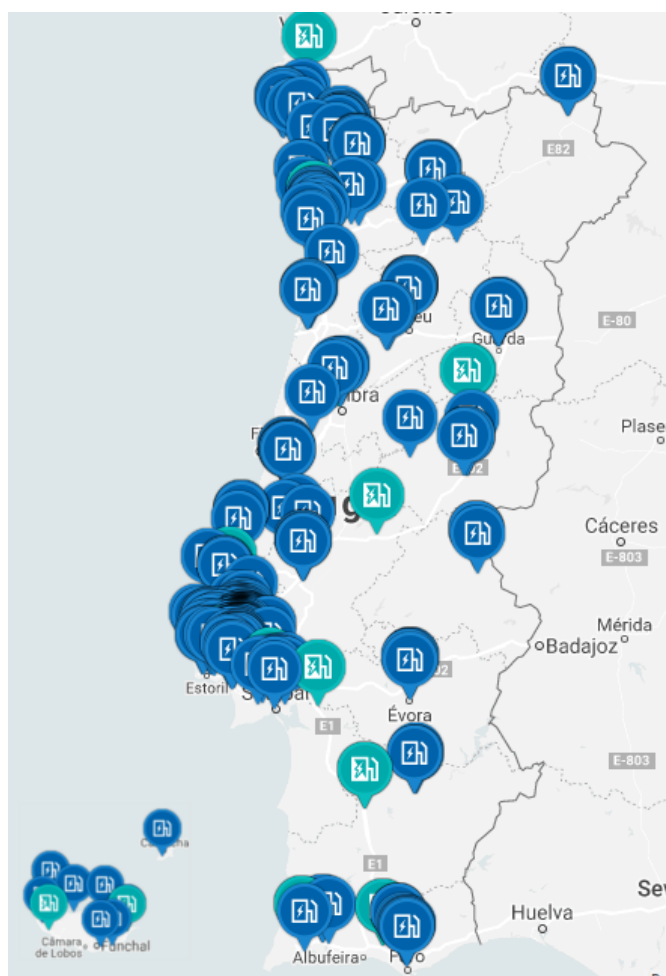


Figura 9. mapa da rede de postos de carregamento da MOBI.e

A par do aumento dos veículos elétricos esteve a implantação de uma rede de postos de carregamento públicos. A rede MOBI.E - Rede de postos de carregamento pública de veículos elétricos, criada em Portugal em 2009, está atualmente em mais de 50 municípios de Portugal Continental e da Região Autónoma da Madeira e conta com mais de 1250 pontos de carregamento. A **MOBI.E** disponibiliza aos utilizadores a pesquisa de estações de carregamento públicas por tipo de posto (*Normal ou Rápido*), a pesquisa apenas das estações de carregamento públicas disponíveis e a visualizar os pontos de carregamento definidos com favoritos (Figura 9).

Também no âmbito do transporte público de passageiros começam a surgir soluções de autocarros elétricos um pouco por todo o país, contudo ainda em fase experimental.

4. EMISSÃO DE GEE PELO SECTOR TRANSPORTES

Em 2016, a quantidade total de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), excluindo o uso do solo, alteração do uso do solo e silvicultura (LULUCF), foi estimado em cerca de 67,8 milhões toneladas de CO₂ equivalente, representando um aumento 13,1% em relação a 1990 e uma queda de 2,6% sobre 2015. Em termos de emissões por setor de atividade, e similarmente nos anos anteriores, o setor de energia foi o maior contribuinte em 2016 (70%), com a produção de energia, processamento e transporte sendo o mais importante subsector (26% e 25% do total, respectivamente) (Fernandes et al, 2018).

O setor dos transportes, largamente dominado pelo tráfego rodoviário, é um dos sectores de que cresceu mais depressa. No período entre 1990 e 2016 as emissões dos transportes aumentaram 62 %, devido essencialmente ao crescimento das frotas de veículos (em particular com motores potentes) e do aumento das viagens por estrada de 1990 até ao início dos anos 2000s, refletindo o aumento do poder de compra das famílias e do avultado investimento na infraestrutura rodoviária nas décadas de 1990 e 2000-10s. Indiretamente o aumento do tráfego rodoviário aumentou as emissões de combustíveis fósseis a partir do armazenamento e distribuição. A situação parece ter estabilizado nos primeiros anos da década de 2000 e iniciou o seu declínio em 2005. Entre 2013 e 2016 inverteu-se esta tendência, verificando-se novamente um aumento das emissões nos transportes em 5.1% (APA, 2018).

No que diz respeito às substâncias precursoras do ozono troposférico (óxidos de azoto e compostos orgânicos voláteis não metânicos), o valor

do potencial de formação do ozono troposférico, que nos dá as emissões agregadas destes compostos, diminuiu aproximadamente 37% desde 1990. Mais uma vez, foram os sectores da indústria e dos transportes os que mais contribuíram para a formação do ozono na troposfera, com respetivamente 44% e 30% em 2016. Em relação às substâncias acidificantes e eutrofizantes (como o SO₂, os NO_x e o NH₃), as suas emissões diminuíram globalmente cerca de 64%, entre 1990 e 2016. Para esta redução contribuiu especialmente a diminuição nas emissões de SO₂ (-89% neste período) (Fernandes et al., 2018).

No âmbito da estimativa realizada pela APA – Agência Portuguesa do Ambiente para as emissões dos transportes rodoviários, os dados utilizados para cálculo das emissões (CO₂ eq.) foram: informação ambiental (temperatura e humidade), características da viagem (kms e duração), dados sobre as características do combustível e do lubrificante, consumo de combustível e lubrificante, características do veículo e velocidade média (APA, 2018).

Já no que respeita à ferrovia, tem vindo a existir um decréscimo generalizado das emissões, quer pela substituição do combustível derivado do petróleo (essencialmente o gasóleo) pela energia elétrica quer pela desativação de diversas linhas ferroviárias por serem consideradas não viáveis economicamente.

CONCLUSÕES

Ainda que se esteja a percorrer um caminho para a melhoria da eficiência energética em Portugal nos transportes muito há ainda a fazer. No âmbito da ferrovia há um nítido desinvestimento /abandono desta forma de transporte, essencialmente no interior do país. Atendendo à tendência de diminuição e envelhecimento da população, há que ter respostas sociais e de mobilidade sustentável para os territórios, especialmente os territórios do interior de baixa densidade. O setor dos transportes necessita um verdadeiro investimento na mobilidade elétrica. Ao ritmo a que aumenta o uso de veículo próprio, ou há um verdadeiro incentivo à troca de veículos de combustão por veículos elétricos ou esta batalha estará comprometida. Há ainda que melhorar em muito o sistema de transportes coletivos apostando na ferrovia, essencialmente em

distâncias longas, e no uso de modos suaves (bicicleta e a pé) em distâncias curtas.



Figura 10. Atuais linhas férreas em funcionamento em Portugal (fonte: I.P. – Infraestruturas de Portugal)

AGRADECIMIENTO

O autor deste artigo quer agradecer ao Programa Iberoamericano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento (CYTED), já que o mesmo foi elaborado no âmbito do projeto Red Iberoamericana de Transporte y Movilidad Urbana Sostenible (RITMUS, 718RT0566). À CIMAC – Comunidade Intermunicipal do Alentejo Central pelo apoio institucional.

REFERENCIAS

- APA-Agência Portuguesa do Ambiente, (2018), *PORTUGUESE NATIONAL INVENTORY REPORT ON GREENHOUSE GASES, 1990 - 2016*. Amadora, Portugal.
- APA, A. P. (2018), *REA 2018 EXECUTIVE SUMMARY*. Lisboa: APA, Agência Portuguesa do Ambiente.
- APVE - Associação Portuguesa do Veículo Eléctrico, (2018), disponível em <http://www.apve.pt/content01.asp?treeID=00>.
- Correia de Almeida, José Antonio (2013), *Análise de Eficiência Energética de Transportes Rodoviários*. Lisboa: INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA.
- DGEG - *Direção-Geral de Energia e Geologia*, (2018), disponível em <http://www.dgeg.gov.pt/>.
- EVvolumes.com*, (2019), disponível em EVvolumes.com: <http://www.ev-volumes.com/news/global-plug-in-vehicle-sales-for-2017-final-results/>
- Fernandes, A. C., Déjean, M., Ribeiro, R., & Rodrigues, S., (2018), *Relatório do Estado do Ambiente 2018*. Lisboa: APA, Agência Portuguesa do Ambiente.
- Pordata* (2019), disponível em Pordata, Base de Dados Portugal Contemporâneo: <https://www.pordata.pt/>
- Portugal Energia, R. P., (n.d.), *Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética*.

Sistemas de Transporte Urbano en Latinoamérica

Urban Transport Systems in Latin-American

CARMEN LUISA VÁSQUEZ STANESCU¹, RHONMER ORLANDO PÉREZ CEDEÑO¹, RODRIGO RAMÍREZ-PISCO², WILLIAM JOSÉ OSAL HERRERA¹

¹Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, Barquisimeto, Venezuela. Parque Tecnológico, 3001

cvasquez@unexpo.edu.ve

ORCID: 0000-0002-0657-3470

²Universidad de Barcelona y Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Gran Via de les Corts Catalanes, 585, 08007

rramirez@unibarcelona.com

ORCID: 0000-0001-8648-3805

Recibido: 15/07/2019. Aceptado: 15/11/2019.

Cómo citar: Vásquez Stanescu, Carmen Luisa; Pérez Cedeño, Rhonmer Orlando; Ramírez-Pisco, Rodrigo; Osal herrera, William José (2019). “Sistemas de Transporte Urbano en Latinoamérica”, *TRIM*, 17: 31-44.

Este artículo está sujeto a una [licencia “Creative Commons Reconocimiento-No Comercial” \(CC-BY-NC\)](#).

DOI: <https://doi.org/10.24197/trim.17.2019.31-44>

Resumen: La evolución de los sistemas de transporte urbano en Latinoamérica ha sido significativa, producto de los elevados índices de urbanización. Entre estos destacan al servicio público los metros y los buses de tránsito rápido. El presente trabajo describe la evolución de estos sistemas en Latinoamérica. Para esto se seleccionaron ocho (8) ciudades, referenciadas como emblemáticas. Como resultado se muestra el creciente número de pasajeros anuales de los sistemas metro de las ciudades de Buenos Aires y Lima. Adicionalmente, en seis (6) de las ciudades los pasajeros diarios superan los 100.000 y en las restantes alrededor de los 26.000.

Palabras clave: Bus de tránsito rápido, Latinoamérica, sistema de transporte urbano, sistema de metro.

Abstract: The evolution of urban transport systems in Latin America has been significant, due to the high rates of urbanization. These include the public service, subways and rapid transit buses. This research describes the evolution of these systems in Latin America. Here eight (8) cities were selected, referenced as emblematic. The result shows the increasing number of annual passengers of the subways systems of the cities of Buenos Aires and Lima. Additionally, in six (6) of the cities the daily passengers exceed 100,000 and in the rest it was around 26,000.

Keywords: rapid transit buses, Latin-American, urban transport systems, subways systems

Lista de Acrónimos y Abreviaturas

AATE	Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico de Lima
BA	Buenos Aires
BOG	Bogotá
BRT	Bus de Transito Rápido (<i>Bus Rapid Transit</i>)
CAF	Banco de Desarrollo de América Latina
CUR	Curitiba
DAS	Caso de Avance Sostenido
ENATRU	Empresa Nacional del Transporte Urbano del Perú
EUA	Estados Unidos de América
GUA	Guatemala
LIM	Lima
MON	Montevideo
PEI	Pereira
PER	Perú
REF	Caso Referencial
RIM	Caso de Reciente Implementación
RIT	Red Integrada de Transporte
SAL	El Salvador
SBASE	Subterráneo de Buenos Aires Sociedad del Estado
SITRAMSS	Sistema Integrado de Transporte del Área Metropolitana de San Salvador
SUBTE	Subterráneo de Buenos Aires
TEG	Tegucigalpa

INTRODUCCIÓN

Las últimas tres (3) décadas del Siglo XX, ocurren cambios al proceso de urbanización en Latinoamérica, que afectan la estructura de la sociedad existente (Quijano, 1976). Lo primero que destaca son los elevados índices de urbanización (Zarate Martín, 1989), sobre todo si los comparas con el crecimiento en otras regiones similares, lo que genera mayores necesidades de movilidad y transporte. Para 1989, el 67% de la población latinoamericana vive en ciudades, comparativamente con un 31% en Asia. Para este período, en algunos países de la región, por ejemplo Chile y México, el transporte urbano se caracteriza por una significativa desregulación en la libertad de ingreso al mercado, determinación de cupos, recorridos, frecuencia y, finalmente, de tarifas. Prevalciendo la operación privada sobre el transporte superficial (CEPAL, 1990) (Figueroa, 1990). Pare este período, como sistemas de transporte urbano coexistían en colectivos, autobuses de propiedad privada, tranvías, trolebuses, ferrocarriles y metros.

Para finales de los años 60, la obsolescencia de los tranvías y trolebuses hizo que los autobuses se utilizaran como medios de transporte, administrado de manera privada y desregulados. Sin embargo, buscando garantizar mejores estándares de calidad de vida, a finales de los 70 aparecen los primeros sistemas de ferrocarriles subterráneos o metros.

El impacto que genera la ampliación de líneas de Metro sobre la demanda por servicios de transporte, público y privado al interior de las ciudades, indican que esta alternativa, a pesar de ser mayores costos de inversión y capital, logra reducir el aumento progresivo en el uso del automóvil, tendiendo a revertir la tendencia hacia una menor participación del transporte público (De Grande, 2010). En Latinoamérica destacan los Metros de las ciudades más grandes y pobladas como lo son México, Santiago de Chile, Sao Paulo, Caracas y otros. Tomaremos como referencia el Metro de Buenos Aires, por ser un caso emblemático y de permanente crecimiento.

La necesidad de transportar mayores volúmenes de personas, a menores costos e impactos ambientales (Lizzáraga Mollinero, 2006) hizo que se comenzaran a implementar los Buses de Tránsito Rápido (BRT, por sus siglas en inglés), iniciando con el de la ciudad de Curitiba en 1973. Estos traen como ventajas, menores costos de inversión (comparativamente con los sistemas metros), traslado de mayor número de personas y menores impactos ambientales. Pare este período coexistían, como medios de transporte urbano los que se muestran en la Figura 1 y en la Tabla 1 se describen los utilizados por el sector público.

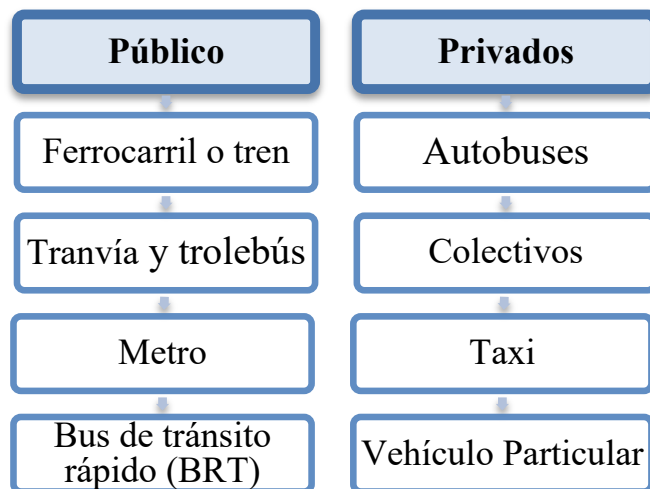


Figura 1. Medios de transporte urbano de propiedad pública o privada en Latinoamérica

El propósito del presente trabajo es describir la evolución que han tenido los sistemas de transporte urbano de metros y BRT en Latinoamérica, en cuanto a la atención a los pasajeros, que la diferencian del resto del mundo. Para esto se seleccionaron ocho (8) ciudades que se muestran en la Tabla 2, referenciadas en (Nevo, y otros, 2017), como modelos en políticas de movilidad y transporte urbano. De estas, se ha excluido la ciudad de Tegucigalpa, Honduras, por no tener avances significativos actualmente en su sistema de transporte urbano.

Tabla 1. Descripción de los sistemas de transporte urbano al servicio público

Medio	Características
Ferrocarril o tren	<p>Es uno de los medios de transporte de tracción mecánica más antiguo de la historia, manteniéndose en discrepancia su fecha conmemorativa de inicio entre el <i>Surrey Iron Railway Company</i> (1801) o el ferrocarril de Manchester a Liverpool (1830) (Gourvish, 1999). Su inicio en Latinoamérica se remonta a 1857, con el ferrocarril de Buenos Aires (Rivas, 1984). Inicialmente se utilizaban sólo para el transporte de mercancía y personas, hoy en día se distinguen por sus servicios turísticos, entre otros. Actualmente, sus principales características son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Constituyen una serie de vagones arrastrados por una máquina (inicialmente de vapor, actualmente eléctrica o de combustión a base de diésel) o locomotora sobre una líneas férreas. Una variante de este sistema lo constituyen los trenes autopropulsados, con motores en sus ruedas y sin uso de la locomotora. • Capital mixto, con participación del Estado para su administración. • Uso de estaciones, túneles, puentes y otras estructuras exclusivas para su tránsito • A partir del siglo XX, por el uso de la tracción eléctrica y el diésel (como combustible), su velocidad es superior a los 250 km/h, conocidos como trenes de alta velocidad.
Tranvía	<p>El tranvía eléctrico fue la primera aplicación a gran escala de la electricidad. Sus inicios se remontan a los países EUA (1888), Gran Bretaña y Francia (1895) y Alemania (1913). En Latinoamérica comenzaron a utilizarse en 1852, en Rio de Janeiro, Brasil, y en Córdoba, Argentina, en 1898 (Tafunell, 2010). Con la urbanización de las ciudades comienzan a aparecer los tranvías, para transporte de las personas. Su velocidad promedio es de 36 km/h hasta alcanzar los 70 km/h (Ríos & García, 2010).</p>

Medio	Características
	Inicialmente, se alimentaban eléctricamente por un tercer riel en el piso, los riesgos que esto condujo, hizo que los más modernos tomen la energía por medio de un tendido o catenaria.
Trolebús	Es un bus alimentado eléctricamente por una catenaria, se diferencia del tranvía por el uso de neumáticos. Por ser eléctrico, no produce emisiones ni contaminación sonora, con una velocidad promedio de 24 km/h. Especialmente con ventajas por su sistema de tracción en ciudades con pendientes significativas (Loaizana & Morales, 2012). A diferencia de los tranvías, generan mayores gastos de energía eléctrica al frenado, por el uso de neumáticos.
Metro	Conocido inicialmente como ferrocarril o tren subterráneo. Es un sistema de trenes gestionado por el Estado, como un servicio público. La mayoría utiliza sistemas mixtos de transporte superficial y subterráneo. Es el sistema más rápido y de mayor capacidad, su velocidad se encuentra entre los 70 a 100 km/h (Ríos & García, 2010).
BRT	<p>Son un sistema flexible con cauchos, generalmente, con corredores exclusivos para su tránsito. Este combina el modo de estaciones, vehículos, servicios, modos de funcionamiento, los elementos en un sistema integrado con una identidad fuerte y positiva que evoca una imagen única (Zamora-Colín, Campos -Alanis, & Calderón-Maya, 2013). Entre sus características tienen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilización de buses de gran capacidad y múltiples puertas. • Acceso al servicio en estaciones dedicadas, donde se cancelan los tickets antes de abordar • Control centralizado, habilitando el uso de tecnologías moderna de monitoreo e información permanente a los pasajeros.

El presente trabajo se encuentra dividido en la descripción de los sistemas metro de las ciudades de Buenos Aires y Lima. Se incluye otra destinada a los BRT e las ocho (8) ciudades de Buenos Aires, Curitiba, Bogotá, Ciudad de Guatemala, Lima, Pereira, Montevideo y San Salvador. En las secciones se incluyen algunas reflexiones sobre las ventajas e inconvenientes que el uso de estos sistemas y medios de transporte urbano traen en la región.

Tabla 2. Ciudades en estudio

PAÍS	CIU	Población		METRO		BRT	
		Aprox (2018)*	Área (km ²)	Año	Nombre	Año	Nombre
ARG	BA	15.594.428	278.049	1913	SUBTES	1974	Metrobus
BRA	CUR	3.168.707	8.515.770			1972	RIT
COL	BOG	9.155.100	11.427.748			2000	Transmilenio
GUA	GUA	3.134.276	108.889			2007	Transmetro
PER	LIM	8.482.619	1.285.216	2011	Metro de Lima y Callao	1974	Metropolitano
COL	PEI	700.577	702			2006	Megabus
URG	MON	1.973.572	176.217			2008	Montevideo-bus
SAL	SAL	2.177.432	21.041			2012	SITRANMSS

*Fuente: Global BRT Data (2002)

1. SISTEMA METRO

Al ser una de las áreas metropolitanas de mayor superficie y población, como se muestra en la Tabla 2, la ciudad de Buenos Aires es un excelente ejemplo de gestión del transporte con diversos operadores y sistemas (Nevo, y otros, 2017). La ciudad fue la primera en Latinoamérica en contar con un sistema de transporte urbano masivo con tranvías, metro y ferrocarriles. El Subterráneo de Buenos Aires (SUBTE) se inaugura oficialmente en el año 1913, tras la construcción de su sistema férreo (1857) y de tranvías (1863). Actualmente, consta de seis (6) líneas, con 64 km de extensión y 108 estaciones. Además posee un Premetro, es decir, un tranvía inaugurada en 1987. Se encuentra gestionada por la empresa del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, Subterráneos de Buenos Aires SE (SBASE). La Tabla 3 muestra el número de pasajeros anualmente atendido, con su porcentaje de variación anual.

Tabla 3. Número de pasajeros anualmente atendidos en SUBTE

Año	Número de pasajeros anual*	Variación internaual (%)*	Pasajeros diarios promedio**
2013	251.804.292	6,6	689.875
2014	241.222.134	-3,6	660.883
2015	274.066.392	13,1	750.867
2016	304.057.014	11,41	833.033
2017	318.389.833	4,71	872.301
2018	338.903.268	6,23	928.502

Año	Número de pasajeros anual	Variación internaual (%)	Referencia
2013	251.804.292	6,6	
2014	241.222.134	-3,6	
2015	274.066.392	13,1	
2016	304.057.014	11,41	
2017	318.389.833	4,71	
2018	338.903.268	6,23	

Fuente: *(SBASE, 2013), (SBASE, 2014), (SBASE, 2015), (SBASE, 2016), (SBASE, 2017), (SBASE, 2018). **Estimado por los autores al dividir entre 365 días.

En los años 80, el transporte urbano en Lima era a base de servicios de autobuses con capacidades de 80 a 100 pasajeros gestionados por la empresa pública Empresa Nacional del Transporte Urbano del Perú (ENATRU), buses y micro buses de carácter privados (con capacidades de menos de 26 asientos), colectivos (que transportaban entre 5 a 6 pasajeros) y taxis. En 1986, bajo la gestión de Autoridad Autónoma del Proyecto Especial Sistema Eléctrico de Transporte Rápido Masivo de Lima y Callao (AATE), comienza la obra del Metro. La primera línea fue inaugurada en el año 2011 (Callao). Actualmente, consta de seis (6) líneas, con 44 trenes y 26 estaciones. La Tabla 4, muestra el número de pasajeros atendidos desde el año del 2012 al 2014.

Tabla 4. Número de pasajeros diariamente atendidos en el metro de Lima y el Callao

Año	Número de pasajeros anual	Variación internaual (%)	Referencia
2012	32.790.940		
2013	36.148.315	9,29	
2014	70.333.239	48,60	

Fuente: AATE (2018). *Estimado por los autores**Estimado por los autores al dividir entre 365 días.

Respecto al impacto que genera el Metro sobre la demanda por servicios de transporte, los resultados indican que esta alternativa, pese a sus mayores costos de inversión y capital, normalmente logra reducir el aumento progresivo en el uso del automóvil. Esto a causa de dos (2) razones: primero, por el mayor traspaso que se observa de usuarios provenientes del automóvil y, segundo, por la reducción en la adquisición de automóviles en los hogares ubicados en sectores cercanos a estaciones de Metro. A esto debe sumarse el efecto de largo plazo que genera en las distancias medias de viaje, que tienden a reducirse producto de la concentración de actividades (De Grande, 2010). Otras ventajas de este sistema sobre los BRT son la liberación de espacios públicos, no interfiere con los restantes vehículos que utilizan la red vial, mayor confiabilidad y seguridad de los servicios y, finalmente, menor accidentabilidad y mortalidad (De Grande, 2010).

A. Bus de Transito Rápido

Los BRT hicieron su aparición en Latinoamérica en el año 1972 en la ciudad de Curitiba, Brasil, con su conocido “corredor verde”. Junto al de la ciudad de Buenos Aires son referentes mundiales en el uso de estos sistemas de transporte. La Tabla 4 muestra la evolución de este sistema en las ciudades de referencia. Como se puede observar en la Tabla todas las ciudades mencionadas poseen su sistema de BRT, siendo uno de los medios de transporte en Latinoamérica más utilizado (Vásquez, y otros, 2019). La Tabla 5 muestra las características de los sistemas BRT utilizados en las ciudades de Buenos Aires, Curitiba, Bogotá, Ciudad de Guatemala, Lima, Pereira, Montevideo y San Salvador, como muestra representativa de Latinoamérica.

Tabla 5. Características de los sistemas BRT de algunas ciudades de Latinoamérica

PAÍS	CIU	SISTEMA	Pasajeros/día	Corredores	Long (km)
ARG	BA	Metrobus	1.419.000	8	55
BRA	CUR	RIT	566.500	7	79
COL	BOG	Transmilenio	2.192.009	11	18
GUA	GUA	Transmetro	210.000	2	21
PER	LIM	Metropolitano	704.000	1	26
COL	PEI	Megabus	121.171	3	16
URG	MON	Montevideo-bus	25.000	1	6
SAL	SAL	SITRANMSS	26.000	1	6

Fuente: Global BRT Data (2002)

Haciendo una análisis simple, comparando las Tablas 3 y 5, se puede observar que para el año 2018, en las ciudades de Buenos Aires y Lima, el número de pasajeros usuarios del BRT es mayor que el sistema metro. Análisis más profundo compararían las demandas en horas picos, en días no laborables, tiempos de viaje y otros para poder tener una conclusión más ajustada a la realidad.

En la Tabla 5, destaca el sistema de Pereira, por ser una ciudad intermedia. En este sentido, se evidencian los esfuerzos realizados por implementar medidas que sirvan para mejorar el tránsito de su población.

Las ventajas de los BRT son (Thonsom, 2007):

- La separación de los buses de la congestión provocada por los automóviles permite que los primeros circulen más rápidamente que antes y, de este modo, logren mayores índices de productividad.
- Los costos de implantación son relativamente bajos.
- En principio, hay menor necesidad de hacer transbordos durante los viajes
- (en comparación, por ejemplo, con los metros), puesto que los buses que circulan sobre vías segregadas lo pueden hacer también sobre las demás vías de la ciudad.
- El sistema permite que los microempresarios que operan las líneas de buses se reagrupen y sigan prestando servicios en el marco del nuevo régimen.

- Finalmente, salvo con una demanda muy alta, los buses sobre vías segregadas permiten minimizar los costos de transporte por pasajero.

Desventajas (Thonsom, 2007):

- Al formar parte de una reorganización de las líneas de buses, de acuerdo con el concepto de troncales y alimentadoras, aumenta el número de transbordos, que no son convenientes para los usuarios.
- Los costos de infraestructura suben dramáticamente si es necesario construir vías nuevas en lugar de transformar las existentes.
- Aunque los buses puedan circular a velocidades bastante altas sobre la vía segregada, en las intersecciones con las calles transversales ocurren demoras que se pueden aliviar, pero no evitar, mediante métodos sofisticados de control de tránsito.
- Las vías exclusivas crean dificultades para el tráfico general que quiere virar hacia la izquierda o derecha cruzando la vía segregada.
- La aplicación de estos sistemas exige una revisión en la estructura de la red de líneas existente, a la cual los usuarios suelen estar muy acostumbrados, muchas veces a lo largo de varias décadas de uso.

CONCLUSIONES

En los últimos 40 años, Latinoamérica se ha visto envuelta en una era de cambios, entre éstas la necesidad de sistemas de transporte urbano, que garanticen la calidad de vida y sostenibilidad. Entre los que han ido desapareciendo se encuentran los ferrocarriles urbanos, tranvías y trolebuses, a pesar que su sistema de alimentación con energía eléctrica los hacen parecer más amigable con el ambiente. A su vez, se han desarrollado en mayor medida los sistemas de metros y BRT, como una alternativa a una población con mayores necesidades de movilidad y traslado. El presente artículo indica algunas tendencias sobre el uso de estos sistemas, como el incremento constante en el número de usuarios de los sistemas metro en ciudades congestionadas como las de Buenos Aires y Lima. En contra partida, los los sistemas mayormente implementados en la región son los buses de tránsito rápido, como lo demuestran los presenten en las ciudades de Buenos Aires, Curitiba, Bogotá, Ciudad de Guatemala, Lima, Pereira, Montevideo y San Salvador.

AGRADECIMIENTO

Los autores de este artículo quieren agradecer al Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), ya que el mismo fue elaborado en el marco del proyecto Red Iberoamericana de Transporte y Movilidad Urbana Sostenible (RITMUS, 718RT0566).

BIBLIOGRAFÍA

AATE (2018), Memoria anual. Oficina de planeamiento, Presupuesto y Modernización, en <https://www.aate.gob.pe/nosotros/memorias/>

BA, B. A. (2019), SUBTE, (Vamos Buenos Aires) en <https://www.buenosaires.gob.ar/subte/nuestra-historia> (10/01/2019)

Global BRT Data (2002), (BRT+ CoE; EMBARQ; Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP), en <https://www.brtdata.org/> (01/05/2019)

CAF (2015), El Metro de Lima. Caso de la Línea 1, Lima, en <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/894>

Callao, M. d. (n.d.), Metro de Lima y el Callao, Ministerio del Transportes y Comunicaciones del Perú, en <https://www.metrodelima.gob.pe/index.php> (01/06/2019)

CEPAL (1990), "Diagnóstico del Sector Transporte Colectivo en Santiago de Chile: Los efectos de la Desreglamentación", CEPAL, en <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/29623>

De Grande, Louis (2010), "El Gran Impacto del Metro", *Tribuna EURE*, 36(107), pp. 125-131, en https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612010000100007

Figuroa, Óscar (1990), "La evolución de las políticas de transporte urbano colectivo en ciudad de México entre 1965 y 1988", *Estudios Demográficos*, 5(2), pp. 221-235 en

<https://estudiosdemograficosyurbanos.colmex.mx/index.php/edu/article/view/770>. DOI: <http://dx.doi.org/10.24201/edu.v5i2.770>

Gourvish, Terry (1999), "Los ferrocarriles como medio de transporte en Gran Bretaña", 1830-1990, Madrid: Fundación de los ferrocarriles españoles, en <http://www.docutren.com/historiaferroviaria/Alicante1998/pdf/2.pdf>

Lizzáraga Mollinero, Carmen (2006), Movilidad Urbana Sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI, *Economía, Sociedad y Territorio*, VI(22), pp. 283-321, en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2287244>

Loaiza, Luis & Morales, Carlos (2012), "El trolebús como una política pública", *FERMETUM*, 34, 271-284, en <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwi8hqKxspznAhVhw1kKHY4rAYkQFjAAegQIBB&url=http%3A%2F%2Fwww.saber.ula.ve%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F20625%2Farticulo2.pdf%3Fsequence%3D2%26isAllowed%3Dy&usg=AOvVaw2wGhoWoINfn9nMk0siwdn8>

Nevo, Miroslava; Taddia, Alejandro Pablo; Ríos Flores, Ramiro Alberto; Pérez Fiaño, José Enrique; Brennan, Patricia; Ortiz, Paola (2017), "Evolución de los sistemas de transporte público urbano en América Latina", *BID*, en <https://publications.iadb.org/es/publicacion/evolucion-de-los-sistemas-de-transporte-urbano-en-america-latina>

Quijano, Aníbal (1976), "Dependencia, Cambio Social y Dependencia en Latinoamérica", *CEPAL*, en <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/33675>

Ríos, Mario & García, Gabriel (2010), "Modelo de cálculo de demanda de potencia eléctrica en sistemas de tracción tipo metro, tren y tranvía", *Revista de Ingeniería*, 32, pp. 7-15, en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121018987002>

Rivas, Ricardo (1984), "Los ferrocarriles en América Latina antes de 1914", *Boletín del Departamento de Historia*, 5, pp. 29-68, en <http://170.210.83.53/htdoc/revele/index.php/boletin/article/view/778>

SBASE (2013), Memoria y Estados Contables al 31 de diciembre del 2013, Buenos Aires, en <https://www.buenosaires.gob.ar/subte>

SBASE (2014), Memoria y Estados Contables al 31 de diciembre del 2014, Buenos Aires, en <https://www.buenosaires.gob.ar/subte>

SBASE (2015), Memoria y Estados Contables al 31 de diciembre del 2015, Buenos Aires, en <https://www.buenosaires.gob.ar/subte>

SBASE (2016), Memoria y Estados Contables al 31 de diciembre del 2016, Buenos Aires, en <https://www.buenosaires.gob.ar/subte>

SBASE (2017), Memoria y Estados Contables al 31 de diciembre del 2017, Buenos Aires, en <https://www.buenosaires.gob.ar/subte>

SBASE (2018), Memoria y Estados Contables al 31 de Diciembre del 2018, Buenos Aires, en <https://www.buenosaires.gob.ar/subte>

Tafunell, Xavier (2010), "La revolución eléctrica en América Latina", CLADHE II, Segundo Congreso Latinoamericano de Historia Económica, Ciudad de México, en *La revolución eléctrica en América Latina*

Thonsom, Ian (2007), "Una respuesta Latinoamericana a la pesadilla del tránsito", Los buses sobre vías segregadas, *Nueva Sociedad*, 212, pp. 112-119, en https://www.nuso.org/media/articles/downloads/3483_1.pdf

Vásquez, Carmen, Ramíres-Pisco, Rodrigo, Vilorio, Amelec, Martínez, David; Ruíz-Barrios, Erika; Hernández, Hugo; Martínez, Jairo; De La Hoz, Juan (2019), "Conglomerates of Bus Rapid Transit in Latin American Countries", *International Conference on Intelligent Computing, Information and Control Systems*, pp. 220-228, en https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-30465-2_25.

Zamora-Colín, Uriel; Campos-Alanis, Héctor & Calderón-Maya, Juan (2013), "Bus Rapid Transit (BRT) en ciudades de América latina, los caos de Bogotá (Colombia) y Curitiba (Brasil)", *Quiviera. Revista de Estudios Territoriales*, 15(1), pp. 101-118, en <https://www.redalyc.org/pdf/401/40128395007.pdf>

Zarate Martín, Antonio (1989), "Notas sobre el modelo urbano latinoamericano", *Espacio, tiempo y frontera. Serie VI, Geografía*, 2, 267-290, en <http://revistas.uned.es/index.php/ETFVI/article/view/2465>

Estudio exploratorio de evaluación de la accesibilidad en la ciudad capital de El Salvador

Exploratory study of accessibility assessment in the El Salvador's capital city

GRANDE AYALA, CARLOS ERNESTO*; ACEVEDO PAZ, KATHERINE ELIZABETH; GONZÁLEZ GONZÁLEZ, EDUARDO LUIS; GUZMÁN HERNÁNDEZ, MIRIAM ALEJANDRA; MARAVILLA GALDÁMEZ, ANA GABRIELA

*Profesor en Universidad Centroamericana José Simeón Cañas
Doctorando en Desarrollo Inclusivo y Sostenible de la Universidad Loyola Andalucía
cgrande@uca.edu.sv

ORCID: 0000-0003-0406-3538

Recibido: 15/07/2019. Aceptado: 15/11/2019.

Cómo citar: Grande, Carlos et al. (2019). “Estudio exploratorio de evaluación de la accesibilidad en la ciudad capital de El Salvador”, *TRIM*, 17: 45-62.

Este artículo está sujeto a una [licencia “Creative Commons Reconocimiento-No Comercial” \(CC-BY-NC\)](#).

DOI: <https://doi.org/10.24197/trim.17.2019.45-62>

Resumen: El Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) está integrada por catorce municipios, entre ellos San Salvador que es el municipio capital de El Salvador, esta condición ha hecho que a través del tiempo se consolide una gran cantidad de servicios y equipamientos urbanos para la población del municipio y fuera de éste; esto influye en la oferta de transporte público y la movilización con transporte privado, convirtiéndolo en un interesante espacio de análisis del nivel de accesibilidad hacia los diferentes servicios urbanos. Dada la diversidad de enfoques, metodologías y técnicas orientadas a la medición de la accesibilidad, este estudio exploratorio tiene por objetivo determinar qué variables son sensibles ante los resultados de la evaluación del nivel de accesibilidad a los equipamientos urbanos a través del transporte privado y público, pero haciendo énfasis en este último, para el caso específico de San Salvador. Para ello se recurre a la definición de un enfoque adaptado a la realidad salvadoreña, construcción de base de datos, análisis de redes a través de sistemas de información geográfica, finalmente, se presenta como resultado una serie de elementos claves al momento de valorizar el nivel de accesibilidad a los equipamientos urbanos dentro del contexto urbano salvadoreño.

Palabras clave: Movilidad urbana; accesibilidad; usos del suelo; planificación urbana.

Abstract: The Metropolitan Area of San Salvador (AMSS by spanish meaning) is composed by fourteen municipalities, including San Salvador, which is the capital municipality of El Salvador. This condition has resulted in the consolidation of a large number of urban services and facilities

over time for the population of this municipality and outside of it; this influences the supply of public transport and the mobilization with private transport, making it an interesting space for analyzing the level of accessibility to different urban services. Given the diversity of approaches, methodologies and techniques aimed at measuring accessibility, this exploratory study aims to determine which variables are sensitive to the results of the assessment of the level of accessibility to urban facilities through private and public transport, but with an emphasis on the latter, for the specific case of San Salvador. For this purpose, this work build a definition of an accessibility approach and geographic database too adapted to the Salvadoran reality, a analysis of networks it is developed through geographic information systems and finally it is defined a series of key elements is presented as a result of valuing the level of accessibility to urban facilities within the Salvadoran urban context.

Keywords: Urban Mobility, accessibility; land use, urban planning

INTRODUCCIÓN

Acceder es uno de los objetivos principales que se persigue con la planificación y gestión de la movilidad urbana, la cual es considerada un derecho (ONU Asamblea General, 1948, 13) que una vez realizado favorece el encuentro y el fortalecimiento de vínculos (Amar, 2011), potenciando espacios y conexiones entre distintas capas sociales, moldeando la ciudad para la gente (Gehl, 2014).

En el AMSS, la falta de integración entre la gestión de los usos de suelo y el transporte (Grande, 2016b), el estado de la infraestructura, el elevado parque vehicular establecido en un poco más de 850 mil vehículos equivalentes al 45% del parque vehicular nacional (Hernández, 2019), representan algunos de los problemas que se debe enfrentar si se desea mejorar las condiciones de accesibilidad a los servicios básicos.

1. MARCO CONCEPTUAL

Movilidad Urbana

Además de las líneas introductorias de este texto la movilidad se puede comprender desde su aporte a la dinámica económica urbana (Camagni, 2011, 2; Goodall, 2013, 85). Esta dimensión permite cuestionar sobre la situación en América Latina, la cual, “En promedio, los hogares urbanos dedican entre el 6% y el 19% de su gasto mensual a transportarse. Además, esta actividad consume una porción significativa de su tiempo.” (Daude, Fajardo, Brassiolo, Estrada, Goytia, Sanguinetti, Álvarez, & Vargas, 2017). La Figura 1 destaca al menos tres situaciones

clave para entender la movilidad; las dimensiones de la sostenibilidad, las implicaciones que tiene el modelo de ciudad con la eficiencia de la movilidad y la relevancia que tiene la accesibilidad como medida de éxito de la movilidad urbana.

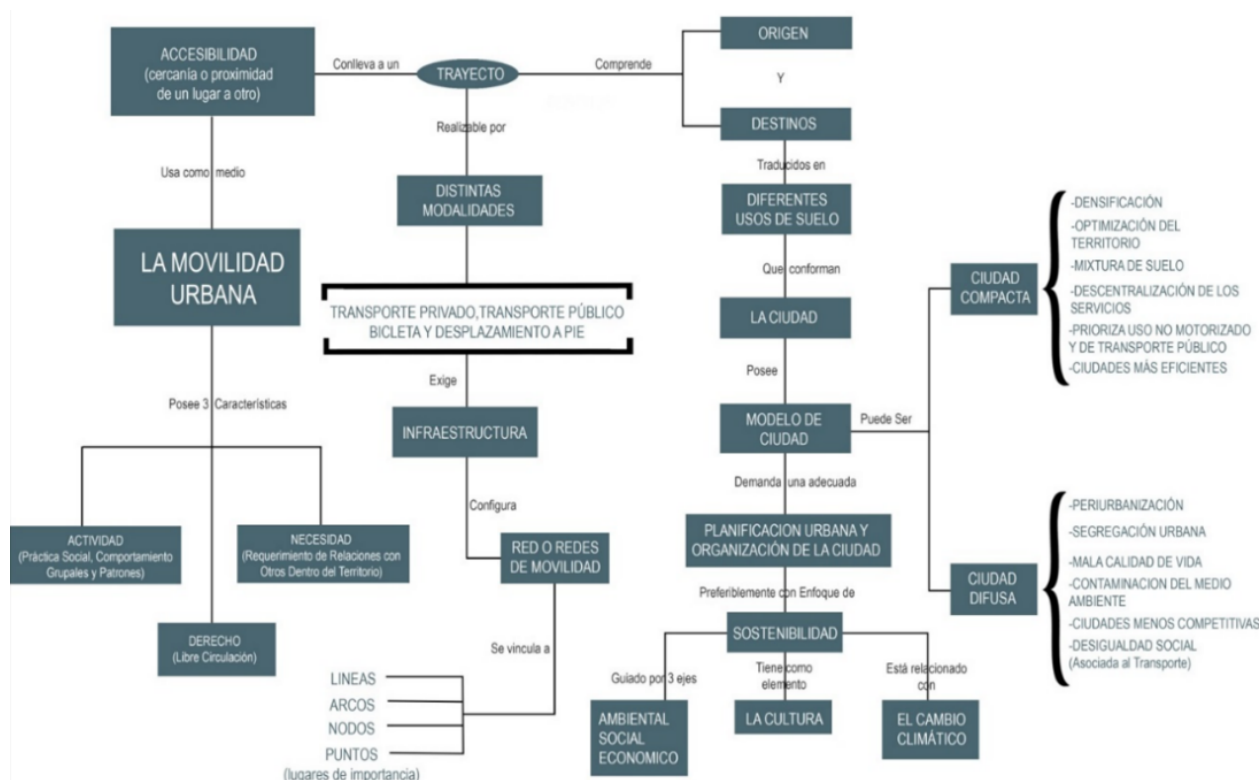


Figura 1. Esquema sobre movilidad urbana. Fuente: elaboración propia

Como complejo sistema socio-técnico (2011, 555), la movilidad urbana implica la interdependencia de la dinámica de los usos de suelo, su respectiva planificación, gestión y su vínculo con la oferta de transporte, los cuales plenamente integrados se convierten en factor clave si se desea reducir la dependencia del vehículo privado y volver más sostenible la movilidad urbana (Miralles, 2002; Suzuki, Cervero, & Luchi, 2014).

Accesibilidad

El concepto de accesibilidad es relevante en el tema de movilidad urbana; Brian Goodall (Como se cita en Garrocho & Campos, 2006, 353) y Camagni la definen como “la superación de la barrera impuesta por el espacio al movimiento de personas y cosas y al intercambio de bienes,

servicios e informaciones” (2011, 51), Zegras aporta a la accesibilidad la acepción de indicador de eficiencia de la movilidad urbana, lo que implica una definición operativa y concisa y va más allá cuando pone en evidencia que la movilidad urbana es solo una “demanda derivada” y que se “consume” la movilidad, porque esta nos brinda accesibilidad (2011, 556).

En este contexto tal vez uno de los textos más relevantes sobre accesibilidad es el de Van Wee y Karst Geurs (2016, 55), en el cual logran determinar lo que ellos denominan los cuatro componentes de la accesibilidad, el primero se refiere al componente del sistema de usos de suelo, el segundo se refiere a los sistemas de transporte, le sigue las restricciones temporales y finalmente el componente individual.

Otro de los grandes aportes de este texto se refiere a la valoración que hacen sobre las metodologías de medición de la accesibilidad, aquí Van Wee y Geurs realizan una relevante discusión sobre ellas y proponen cuatro categorías para la operacionalización de las variables antes expuestas, las cuales se pueden dividir en Medidas basadas: En infraestructura, en localización, en las personas y en la utilidad (2016, 57).

Como se puede advertir en el texto de Van Wee y Geurs la operacionalización de la accesibilidad para su evaluación no deja de ser compleja, sin embargo, para efectos de este estudio exploratorio se optó por una definición propia en la que se estableció como accesibilidad a la facilidad que las personas tienen para movilizarse en función tiempo-distancia desde un origen hasta los puntos donde se encuentran localizados los equipamientos urbanos, a través de redes viales que permiten el flujo de distintos tipos de movilidad esto con la idea de establecer un punto de partida reconociendo los limitantes de tiempo y acceso a la información que existe en la realidad salvadoreña.

La Figura 2 explica los elementos que dan forma a esta definición de accesibilidad y parte de la relación del ser humano con el territorio que habita, donde sus necesidades específicas se satisfacen a través la movilidad, dichas necesidades provocan el desplazamiento desde un origen hasta diversos destinos le permita satisfacer sus necesidades.

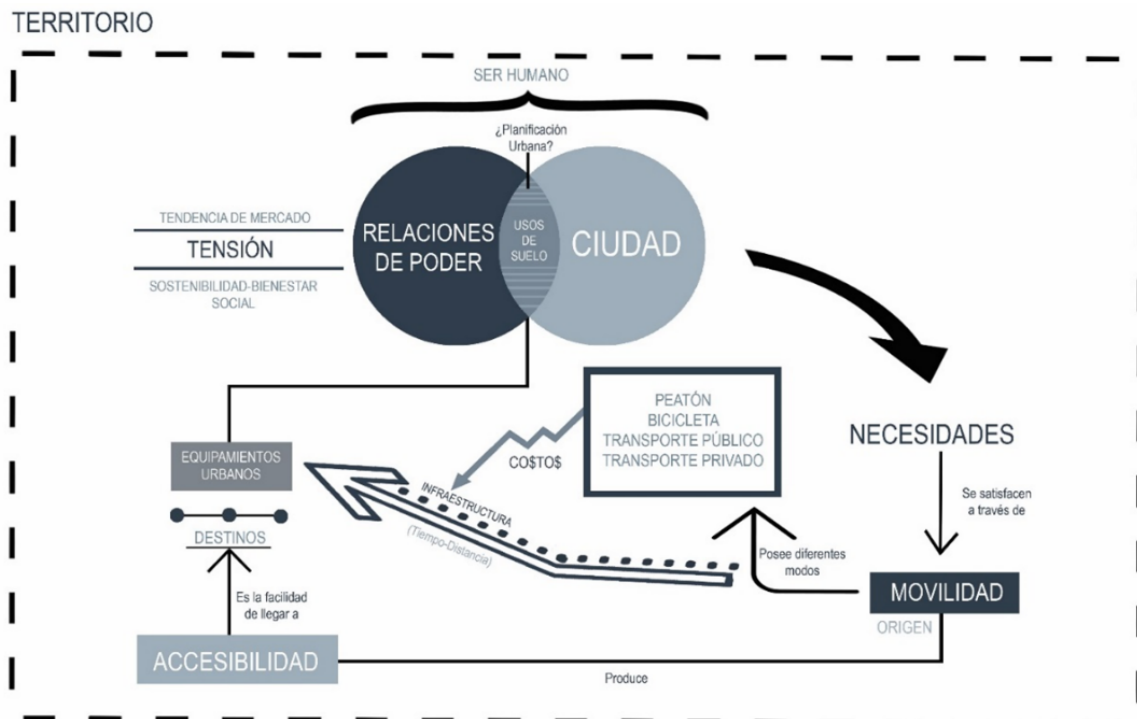


Figura 2. Esquema de accesibilidad. Fuente: elaboración propia

2. EL PROBLEMA

Tomando como base lo anterior, se analiza la realidad de San Salvador, que al ser ciudad capital, concentra diversos servicios para todo el país, mediante la red vial, mantiene conexión directa con 6 municipios y es adyacente a 9 de los 14 municipios del AMSS (véase Figura 3), todas las líneas del SITRAMSS¹ lo atraviesan, dotándolo del mayor número de kilómetros y estaciones de la red BRT (Grande, 2012, 367).

Se sabe que entre los factores relevantes para indicar el nivel de accesibilidad a los servicios y equipamientos se encuentran: *el uso del suelo* como representación de la distribución espacial de las oportunidades, *la planificación de la ciudad* entendiéndola como esa actividad que mejora las oportunidades de conexión y servicio y finalmente *la red vial y el sistema de transporte público* que comprenden el sistema físico-técnico que da soporte a la movilidad urbana (Zegras, 2011, 571).

¹ SITRAMSS: Sistema Integral de Transporte del Área Metropolitana de San Salvador, es la versión de un proyecto de transporte masivo tipo BRT adaptado para El Salvador.

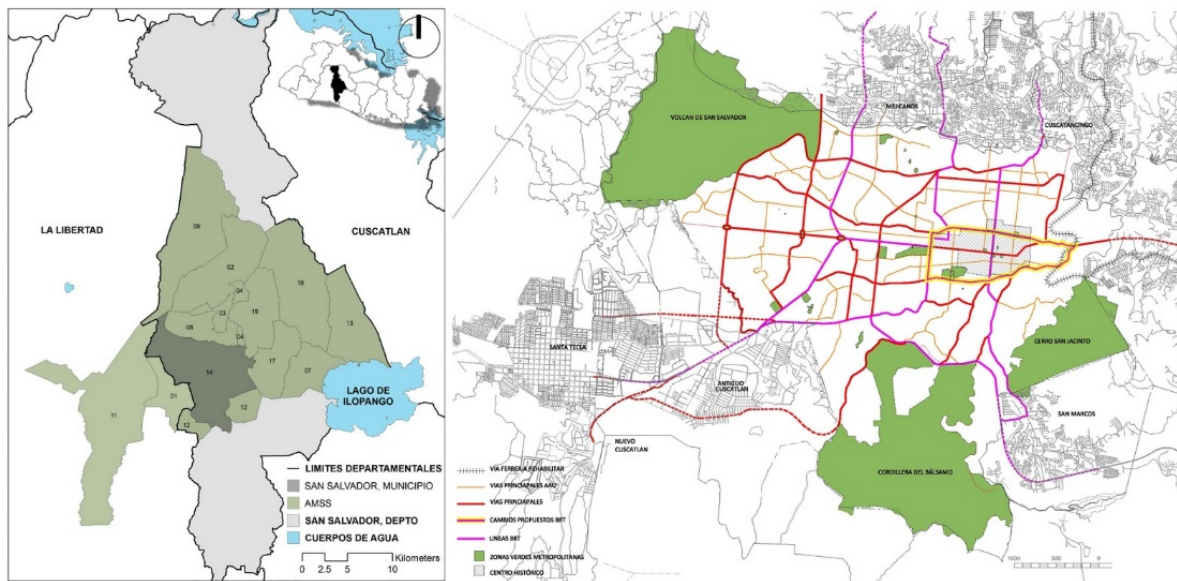


Figura 3. San Salvador y su red vial en el contexto del AMSS.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al *uso de suelo*, es determinado en parte por las relaciones de poder (Hidalgo & Zunino, 2011, 84–87); creando tensión entre el mercado, la sostenibilidad y bienestar social de la población lo genera o profundiza las condiciones de fragmentación y exclusión socioespacial. Para mejorar esta condición, políticas de desarrollo urbano que integran un vínculo estratégico entre uso de suelo y el transporte han logrado incidir en la demanda de viajes y en general establecen condiciones para una movilidad urbana más sostenible (Suzuki et al., 2014), conocidas como Desarrollo Orientada al Tránsito (DOT) estas políticas han sido implementadas con éxito en distintas partes del mundo (ITPD, 2014).

En 2010 el Concejo de Alcaldes del Área Metropolitana de San Salvador (COAMSS) y la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS) lanzan su primera serie de políticas integradas que implementan algunos elementos TOD en la planificación, vinculando a la gestión del suelo, políticas específicas para espacios públicos, movilidad urbana y desarrollo urbano (COAMSS-OPAMSS, 2010), 6 años más tarde la formulación del Esquema Director del AMSS, introdujo en la normativa, directrices claras que orientan el desarrollo del uso del suelo vinculado con sistemas de transporte masivo específicamente en la definición del tratamiento urbanístico denominado revitalización de corredores (OPAMSS, 2016, 63), sin embargo COAMSS-OPAMSS no tiene las competencias en el transporte y su vínculo con el Viceministerio de Transporte (VMT) es escaso (Grande,

2016a), comprometiendo la gestión del plan por dos razones, la primera porque el SITRAMSS tiene un bloqueo legal que impide que el BRT circule de manera exclusiva en su vía, disminuyendo su eficiencia (EDH, 2017), segundo porque en torno a estos corredores la planificación que potencie las características de mixtura de usos de suelo como lo hacen un TOD es inexistente, evidenciando que no se logra efectiva densificación y mixtura de usos si las zonas a densificar no están acompañadas de políticas DOT (Cervero, 2013; Rodríguez & Tovar, 2013).

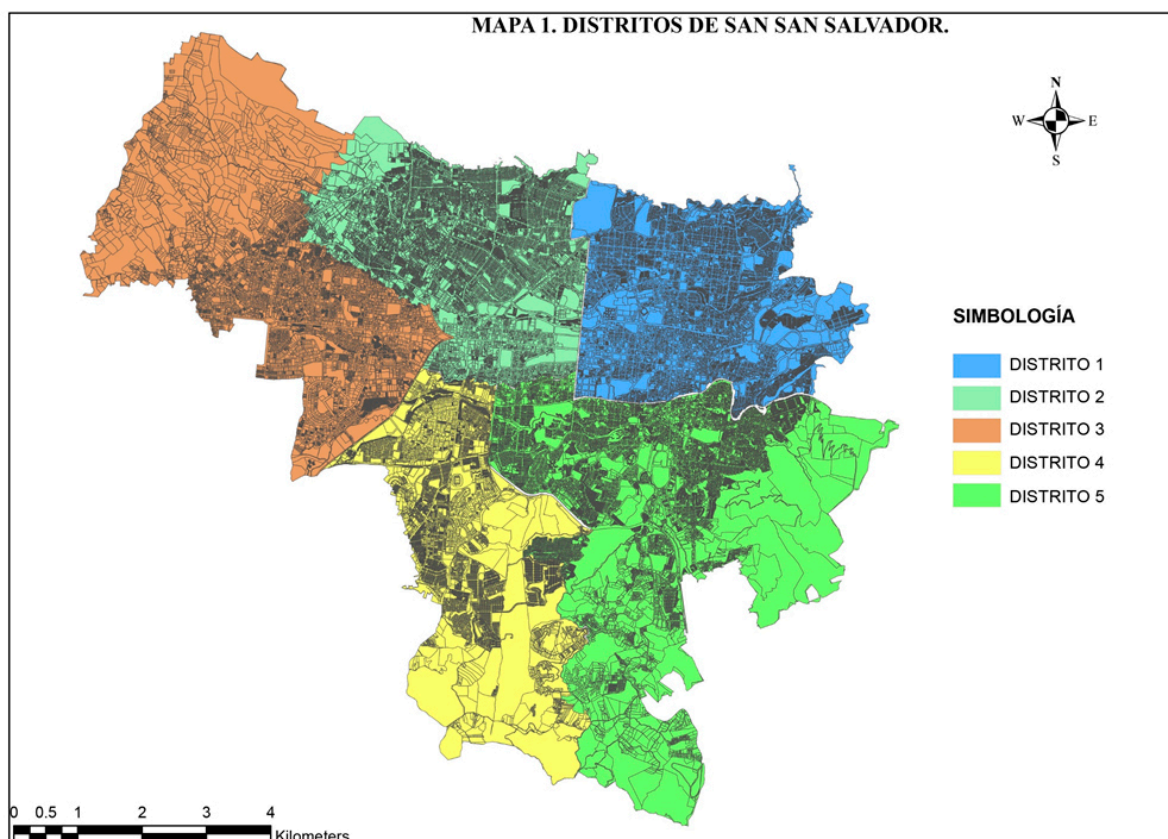


Figura 4. Delimitación de Distritos del Municipio de San Salvador.

Fuente: Elaboración propia

Gabriel Dupuy, advierte que el vínculo entre la movilidad urbana y *la planificación de la ciudad*, no siempre ha sido bien comprendido por los urbanistas y sobre todo no siempre se supo visualizar los impactos de la movilidad en el diseño de la misma durante la época de los Congresos Internacionales de Arquitectura Moderna conocidos como CIAM, (1998, 1), el caso de San Salvador no ha sido la excepción y tiene su punto más

álvido cuando el último plan de transporte, PLAMATRANS² (TAHAL, 1998), con un horizonte de largo plazo, se desarrolló de manera separada a la planificación urbana del AMSS en 1997 (Brutti & Umaña Cerna, 2002). A partir del 97 se dan una serie de planificaciones en las que el transporte y lo urbano no dialogan, aunque existen iniciativas de integración de competencias en una autoridad metropolitana (Lungo & OPAMSS, 1999), en el 2019, no han visto la luz ninguna de ellas.

Respecto a la red vial, en San Salvador se estructura en los ejes norte-sur y oriente poniente (véase Figura 3); existe evidencia para asegurar que la red vial en el municipio cuenta con niveles de conectividad³ aceptables (Mendoza, Molina, Pérez, & Torres, 2018, 29), sin embargo, no está exenta de obstáculos que impiden su óptima utilización, PLAMATRANS identificaba como deficiencias más relevantes: las vías discontinuas, falta de mantenimiento por baches, débil funcionamiento semafórico, desorden en las paradas de autobuses que agudizan el congestionamiento vehicular y falta de señalización adecuada (1998, 7), actualmente muchas de estas deficiencias se mantienen en el AMSS que además enfrenta el cerramiento de muchas vías, principalmente terciarias producto de la situación de violencia en El Salvador y en particular en la infraestructura vinculada con el transporte (Natarjan, Clarke, Ponce, Carach, Beneke, Polanco, Chávez, & Shi, 2015), afectando la facilidad de desplazamientos.

Otro problema es el consumo de espacio del parque vehicular; que repercute en la falta de redes especializadas para diferentes tipos de movilidad (rutas de ciclo vía, corredores para BRT) y cuando los hay son segmentados, discontinuos y con múltiples obstáculos que dificultan la accesibilidad universal a los mismos (Renderos, 2013).

Sistema de transporte público: las proyecciones del PLAMATRANS auguraban para el 2017 un reparto modal 51% transporte colectivo / 49% transporte de personas en vehículo liviano, considerando que desde 1997 el transporte público no ha sido sujeto de una reforma sustancial y el SITRAMSS ha disminuido el número de viajes producto de su bloqueo operativo, las tendencias pueden mantenerse en firme y sin ningún elemento que brinde un punto de inflexión a esta tendencia a la alza en la

² Plan Maestro de Transporte del Área Metropolitana de San Salvador.

³ El concepto de conectividad utilizado en este estudio se desprende de la teoría de los grafos y se centra más es aspectos de sus propiedades topológicas que en sus medidas reales (Cardozo, Gómez, & Parras, 2009, 94).

tasa de motorización. En cuanto al ambiente interno en el transporte público, predomina el uso de música estridente, la presencia de grafitis e imágenes de contenido sexual, el abuso y acoso verbal hacia las mujeres y en donde con regularidad, suceden hurtos y robos (Natarjan et al., 2015, 11), potenciando el desincentivo del uso del transporte público. En El Salvador después de 5 años de monitoreo, la seguridad en el transporte público no mejora y sigue obteniendo índices de reprobación de 66.2 % de usuarios habituales del transporte público dijeron sentirse poco o nada seguros mientras utilizan un unidad de transporte (Aguilar & Andrade, 2017, 20–41).

3. METODOLOGÍA

Dada la condición de estudio exploratorio, se delimitó el alcance de la metodología de éste en aspectos físicos como la red vial, la distribución de los equipamientos sociales que se vinculan a la accesibilidad de las zonas residenciales y un estimado de población producto de los datos obtenidos de las dada la formación en urbanismo del equipo de investigación, pero integrando enfoques sociales de los mismos como los planteamientos de Dupuy (1998) y Gelh (2014) vinculados a una visión de red y con la dimensión social de estas infraestructuras. Posteriormente se delimito el área de estudio anticipada en las primeras líneas de este artículo (los distritos 2 y 3 del municipio de San Salvador), se desarrolló un análisis comparativo de metodologías de medición de accesibilidad, entre las cuales destacan indicador de separación espacial (garrocho & campos, 2006); Indicadores de oportunidades acumulativas (Monzón de Cáceres, 1988); Indicador de interacción espacial; (Garrocho & Campos, 2006); Indicador de utilidad (Garrocho & Campos, 2006; Monzón de Cáceres, 1988) y el Indicador espacio-temporal (garrocho & campos, 2006); con el fin de determinar qué elementos de esas metodologías pueden utilizarse en esta medición exploratoria, considerando además los siguientes aspectos: viabilidad técnica, tiempo de ejecución la investigación (4 meses), disponibilidad de información para desarrollar la evaluación y el objeto de medición de dichas metodologías .

Como resultado de esa selección, la cual se puede ver con mayor detalle en el trabajo más amplio de Acevedo, González, Guzmán, y Maravilla (2019), se determina usar el indicador de oportunidades acumulativas, pues se consideró que es viable realizarlo con información

disponible en en sitios web; se tiene acceso a la ubicación de equipamientos, datos estimados de población y dominio necesario en Sistemas de información geográfica para realizar la medición.

Definida la metodología a implementar, se construyó una base de datos geográfica de los distritos seleccionados, la medición se realizó utilizando Análisis de Redes (*Network Analyst*) con el Software ArcGIS, 10.5, principalmente el desarrollo de isócronas (*Service area*), de forma general esta metodología indica “el número de bienes alcanzables en el destino de un viaje efectuado desde un origen definido, y con una determinada magnitud”(Monzón de Cáceres, 1988, 62–65).

Para analizar la accesibilidad se generaron dos modelos de redes (*Network Dataset*), una para los *vehículos privados* que incluye todas las vías de los distritos dos y tres y para el transporte público un modelo que solo incluye las vías por las que se mueven ocho rutas seleccionadas por que conectan de norte-sur o de oriente-poniente el AMSS (véase Figura 5). Creados los *Network Dataset*, se generaron los mapas con isócronas para modelar los siguientes escenarios de accesibilidad: transporte público-velocidades 30 km/h (velocidad comercial) y 5km/h (velocidad

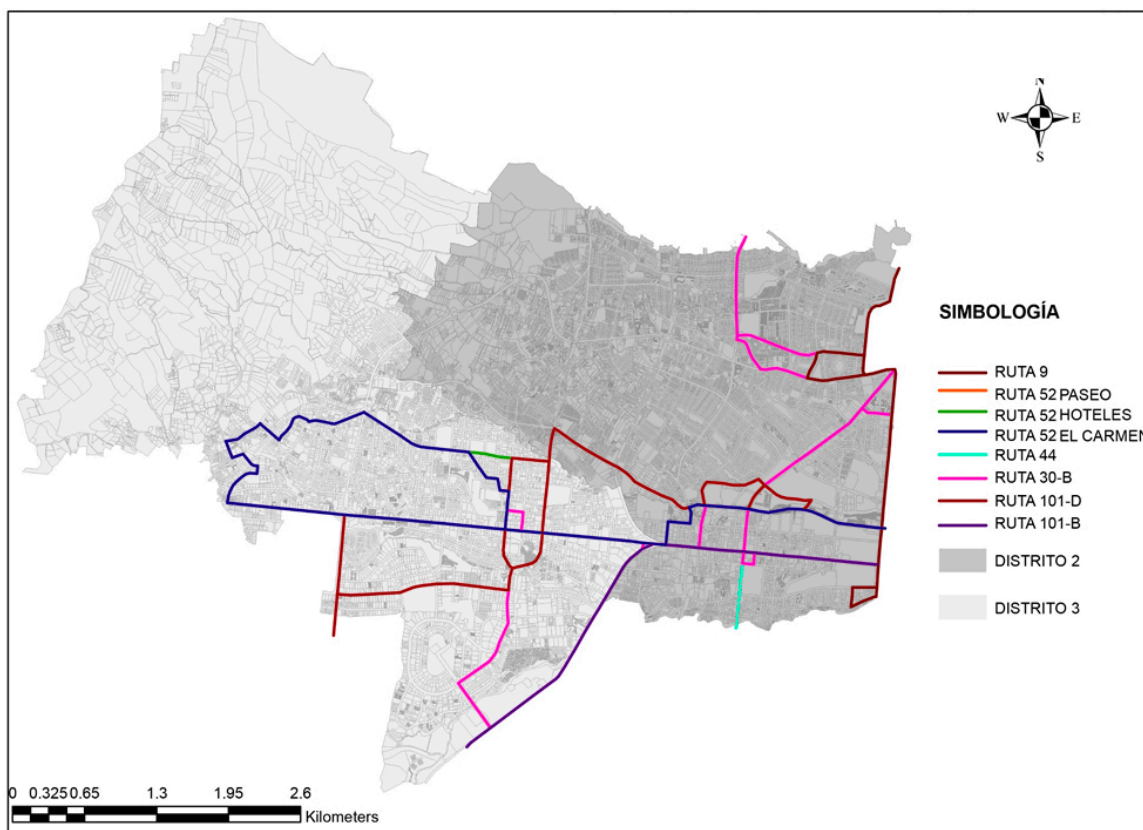


Figura 5. Red vial de transporte público; Fuente: Elaboración propia

en hora punta), transporte privado-velocidades 50 km/h (velocidad máxima en zona urbana) y 5 km/h (velocidad en hora punta). Se generaron isócronas para cinco tipos de equipamientos⁴, las cuales se convierten en capas de polígonos y se intersecan con las zonas residenciales. Lo que permite un análisis de población servida.

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir del análisis con la extensión *Network Dataset* para la red vial de los distritos 2 y 3 se presentan de manera parcial en la Figura 6, que expone 4 de los 20 mapas generados para establecer isócronas y que dan cuenta del espacio y tiempo destinado por una persona para acceder a los equipamientos mencionados más atrás, en el caso concreto que se muestra abajo las isócronas de

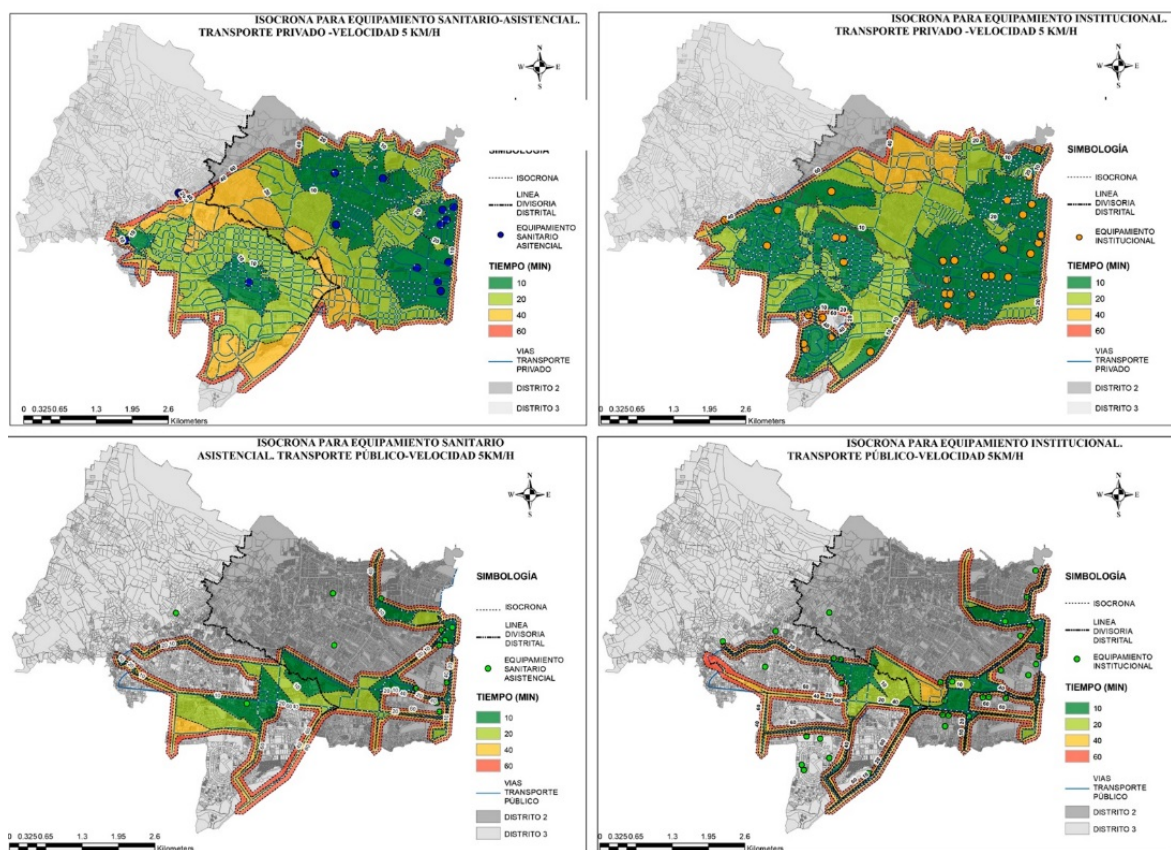


Figura 6: Resultados de análisis con Sistemas de Información geográfica;
Fuente: Elaboración propia

⁴ Estos son: sanitario-asistencial, recreativo, institucional, cultural-religioso, comercio servicios y oficinas.

accesibilidad a equipamientos sanitario-asistencial e institucional en hora pico con una velocidad de 5 km/h modelada para vehículo privado y transporte público, dichas imágenes se complementan por medio de un cuadro que muestra un consolidado de población que tarda entre 20 y 60 minutos en acceder a los cinco tipos de equipamientos analizados en transporte público.

SÍNTESIS ACCESIBILIDAD A EQUIPAMIENTOS EN TRANSPORTE PÚBLICO				
EQUIPAMIENTO	Distrito 2		Distrito 3	
	Población	%	Población	%
Sanitario Asistencial	4,250	57.36%	13,288.0	47.14%
Recreativo	7,514	62.90%	7,041.7	100%
Comercio, Servicio y oficinas	4,147	58.44%	10,139.3	69.78%
Cultural recreativo	6,788	82.64%	23,356.4	76.36%
Institucional	7,459	63.11%	20,470.2	72.89%
Total / Promedio	30,158	64.89%	74,295.6	73.23%

Tabla 1: Población y nivel de accesibilidad en transporte público a equipamientos urbanos en el distrito 2 y 3 de San Salvador. Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

Los resultados generales muestran que la accesibilidad a los equipamientos urbanos a través del sistema de transporte público, aumenta el tiempo de viaje en un promedio de 28.5 minutos más que al utilizar un medio motorizado privado.

En promedio casi el 65% y un poco más del 70% de los distritos 2 y 3 respectivamente tardan entre 20 a 60 minutos en lograr acceder al equipamiento más cercano a través de transporte público. siendo el equipamiento mejor el de tipo sanitario asistencial.

Existe mayor accesibilidad para las zonas residenciales con densidades bajas, las densidades medias y altas tardarán más tiempo en acceder a un equipamiento urbano, reforzando la tendencia a la motorización pues los residentes de estas zonas no ven como una alternativa el transporte público, al no conectarles adecuadamente a los servicios urbanos.

La red vial brinda buena conectividad, por lo que se puede inferir que la mala accesibilidad no depende del sistema vial en sí (disposición y densidad de la red); sino de otros factores claves que en concreto se proponen de manera preliminar para la discusión en las siguientes líneas:

La cantidad, distribución y localización de equipamientos urbanos en el territorio: la idoneidad de su ubicación y su relación con las densidades poblacionales, son aspectos a profundizar, por ejemplo fortalecer red de clínicas de salud o espacios públicos de escala barrial para que más personas puedan acceder a ellos de forma rápida, favoreciendo el uso de medios no motorizados.

La velocidad de circulación promedio a diferentes horas del día: la congestión es un factor que influye con el nivel de accesibilidad a los servicios urbanos, ajustar el modelo con velocidad cada vez más reales utilizando bases de datos como Google maps o Waze puede contribuir a mejorar la modelación de esta variable.

La cantidad de calles disponibles para circular (densidad de red): el sistema vial disponible determina las distintas posibilidades que se tiene para acceder a determinado destino, que para el caso del transporte público es más limitado y para el caso del transporte privado aunque en menor medida también se ha visto afectado por los cierres de vías secundarias que surcan las zonas habitacional, afinar estos aspectos en el modelo contribuye a una mejor valoración de la accesibilidad.

Las rutas de transporte público: la red disponible para el transporte público es menos densa, plantearse nuevos criterios que incluyan más rutas en el modelo podría ayudar a mejorar la medición; sin embargo, matizar que las rutas del transporte público del AMSS no responden a la idea de red (Molina, Paz, Salamanca, & Velásquez, 2013)., es decir no existen rutas alimentadoras hacia un sistema de transporte masivo, establecer mejores parámetros para modelar esta particular situación en el AMSS es un reto de las futuras mediciones.

Los puntos de conexión entre calles (nodos): los puntos en los que se interceptan las vías, generalmente presentan problemas de tráfico, haciendo lentos los flujos. La calidad de funcionamiento de los nodos influye en la variación de resultados de accesibilidad y esto no se ha incluido adecuadamente en este estudio exploratorio.

La medición de la accesibilidad reconoce en las condiciones particulares de cada persona un elemento relevante en la consecución de niveles adecuados de la misma, en esta medición se ha realizado una medición que simplemente reconoce un volumen de personas sin

distinguir en este volumen cualidades propias y relevantes de la demanda como lo son, grupos sociales vulnerables, niveles de renta, motivos de desplazamiento y la duración de los mismos (Herce, 2009, 30).

Afinar los aspectos antes mencionados en un modelo de red vial, contribuye a mejorar la metodología presente, sin embargo los datos obtenidos son útiles para confirmar la percepción de que el transporte público, es ineficiente por la distribución de sus rutas y no tanto por la red vial que le da soporte, los niveles de accesibilidad bajos, la creciente inseguridad así como el deficiente servicio a zonas residenciales de densidad media y alta refuerzan la tendencia de motorización que satura y congestiona la red vial que da soporte al AMSS.

AGRADECIMIENTO

Los autores de este artículo quieren agradecer al Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), ya que el mismo fue elaborado en el marco del proyecto Red Iberoamericana de Transporte y Movilidad Urbana Sostenible (RITMUS, 718RT0566).

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, Katherine Elizabeth, González, Eduardo Luis, Guzmán, Miriam Alejandra y Maravilla, Ana Gabriela (2019), *Estudio exploratorio sobre la accesibilidad a los equipamientos urbanos localizados en los distritos dos y tres del municipio de San Salvador, con énfasis en la modalidad de transporte público*. [recurso en línea], Grado de arquitectura, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, UCA, Antiguo Cuscatlán, La Libertad.
- Aguilar, Jeannette y Andrade, Laura (2017), *La percepción de la seguridad y la confianza en las instituciones públicas* (p. 305), Antiguo Cuscatlán, La Libertad: Instituto Universitario de Opinión Pública de la Universidad José Simeón Cañas (IUDOP) y USAID.
- Amar, Georges (2011). *Homo mobilis: la nueva era de la movilidad*. La Crujía.

- Brutti, Fabrizio y Umaña Cerna, Carlos (2002), *Resumen PLAMADUR AMSSA: Plan Maestro de Desarrollo Urbano del Área Metropolitana de San Salvador Ampliada (1st ed.)*, San Salvador: FundaUngo.
- Camagni, Roberto (2011), *Economía Urbana*, (Vittorio Galletto, Tran.). Barcelona; España: Antoni Bosch.
- Cardozo, Osvaldo Daniel, Gómez, Erica Leonor y Parras, Miguel Alejandro (2009), *Teoría de grafos y sistemas de información geográfica aplicados al transporte público de pasajeros en Resistencia (Argentina)*. Revista Transporte y Territorio, (1), pp. 89–111.
- Cervero, Robert (2013), *Bus Rapid Transit (BRT): An Efficient and Competitive Mode of Public Transport*, IURD Working Paper 2013-01.
- COAMSS-OPAMSS (2010), *Políticas Metropolitanas: Desarrollo Urbano y Territorial, Espacios Públicos, Medio Ambiente y Movilidad*.
- Daude, Christian, Fajardo, Gustavo, Brassiolo, Pablo, Estrada, Ricardo, Goytia, Cynthia, Sanguinetti, y Pablo, Vargas, Juan (2017), *Crecimiento urbano y acceso a oportunidades: un desafío para América Latina*. CAF.
- Dupuy, Gabriel (1998), *El urbanismo de las redes: teorías y métodos*. Oikos-Tau.
- EDH (2017), *Sala de lo Constitucional ordena paso libre al público en carril SITRAMSS*, El Diario de hoy, (8/5/2017)
- Garrocho, Carlos y Campos, Juan (2006), *Un indicador de accesibilidad a unidades de servicios clave para ciudades mexicanas: fundamentos, diseño y aplicación*, Economía, sociedad y territorio, 6(22), pp. 349–397.
- Gehl, Jan (2014), *Ciudades para la gente*, Infinito Buenos Aires.

- Goodall, Brian (2013), *The economics of urban areas* (Vol. 3), Elsevier.
- Grande, Carlos (2012), *Modernización del Sistema de Transporte Masivo en el AMSS, Oportunidades de Desarrollo Local en un proyecto regional, el caso de San Salvador*, Estudios Centroamericanos ECA, 67(730), pp. 361–383.
- Grande, Carlos (2016a), *El diálogo entre el territorio y la movilidad urbana*, La Casa de Todos, (21), pp. 20–23.
- Grande, Carlos (2016b), *Yuxtaposición de competencias en el transporte público; oficina de planificación del área metropolitana de san salvador (OPAMSS) vs viceministerio de transporte en el salvador (VMT)*, XIX Congreso Latinoamericano de Transporte Público y Urbano (CLATPU), Congreso.
- Herce, Manuel (2009), *Sobre la movilidad en la ciudad: propuestas para recuperar un derecho ciudadano*, Editorial Reverté.
- Hernández, Guadalupe (2019), *Parque vehicular impulsa la inversión en gasolineras*, EDH (12/03/2019)
- Hidalgo, Rodrigo y Zunino, Hugo Marcelo (2011), *La urbanización de las áreas periféricas en Santiago y Valparaíso: el papel de las relaciones de poder en el dibujo de la geografía socioresidencial*, EURE (Santiago), 37(111), pp. 79–105.
- Lungo, Mario y OPAMSS (1999), *La Gestión del Transporte en el Área Metropolitana de San Salvador: el desafío de la construcción de una nueva forma de gestión** (p. 5), Presentado en la Segunda reunión del Comité de Tránsito y Transporte de la Unión de Ciudades Capitales de Iberoamerica UCCI, Quito, Ecuador.
- Mendoza, Efraín, Molina, Rodolfo, Pérez, Cindy y Torres, Dayana (2018), *Propuesta de movilidad urbana intermodal en el área de influencia en las fases I y II del Sistema Integrado de Transporte del Área Metropolitana de San Salvador*. Trabajo para optar al grado de Arquitecto, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, UCA, Antiguo Cuscatlán, La Libertad.

Miralles, Carme (2002), *Transporte y territorio urbano: del paradigma de la causalidad al de la dialéctica*. Documents d'anàlisi geogràfica, (41), pp. 107–120.

Molina, Rodrigo, Paz, José, Salamanca, Roberto y Velásquez, Rubén (2013), *Diseño de un sistema de rutas alimentadoras a partir de una troncal de transporte público: en el área del AMSS*. Trabajo para optar al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, UCA, Antiguo Cuscatlán, La Libertad.

Monzón de Cáceres, Andrés (1988), *Los indicadores de accesibilidad y su papel decisor en las inversiones en infraestructuras de transporte: aplicaciones en la Comunidad de Madrid*. PhD Tesis, Caminos.

Natarjan, Mengai, Clarke, Ronald, Ponce, Carlos, Carach, Carlos, Beneke, Margarita, Polanco, Dolores, Shi, Mauricio (2015), *Prevención del Crimen en el Transporte Público en El Salvador* (p. 53), Antiguo Cuscatlán, La Libertad: FUSADES.

ONU Asamblea General (1948), *Declaración Universal de Derechos Humanos*, Paris: Naciones Unidas.

OPAMSS, Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (2016), *Esquema director del AMSS*. (p. 100). San Salvador: Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador.

Renderos, Alexander (2013), *La Accesibilidad Universal como parte de los Planes de Movilidad Urbana en el AMSS*. Presentado en CONIA 2013.

Rodríguez, Daniel A. y Tovar, Erik Vergel (2013), *Sistemas de transporte público masivo tipo BRT (Bus Rapid Transit) y desarrollo urbano en América Latina*. Land Lines.

Suzuki, Hiroaki, Cervero, Robert, & Luchi, Kanako (2014), *Transformando las ciudades con el transporte público: integración del transporte público y el uso del suelo*. The World Bank.

TAHAL (1998), *Plan Maestro de Transporte del Área Metropolitana de San Salvador / Resumen Ejecutivo*, San Salvador: Ministerio de Obras Públicas.

van Wee, Bert y Geurs, Karst (2016), *The role of accessibility in urban and transport planning*, En Bliemer, M. C., Mulley, C., & Moutou, C. J. (Eds.), *Handbook on transport and urban planning in the developed world* (pp. 53–66). Edward Elgar Publishing.

Zegras, Christopher (2011), *Mainstreaming sustainable urban transport: putting the pieces together*. In Harry T. Dimitriou & Ralph Gakenheimer (Eds.), *Urban Transport in the Developing World, A handbook of Policy and Practice* (pp. 548–588), Edward Elgar Publishing.

Criterios intermodales para la inclusión de modos no motorizados en el área de influencia del Sistema Integral de Transporte del Área Metropolitana de San Salvador

Intermodal criteria to include non-motorized transport modes in the influence zone of Integral System of Transport of metropolitan area of San Salvador

GRANDE AYALA, CARLOS ERNESTO*; MENDOZA NÚÑEZ, EFRAÍN EDUARDO; MOLINA NOLASCO, RODOLFO ANTONIO; PÉREZ QUINTEROS, CINDY VANESSA; TORRES MARROQUÍN, GISEL DAYANA

*Profesor en Universidad Centroamericana José Simeón Cañas

Doctorando en Desarrollo Inclusivo y Sostenible de la Universidad Loyola Andalucía

cgrande@uca.edu.sv

ORCID: 0000-0003-0406-3538

Recibido: 15/07/2019. Aceptado: 15/11/2019.

Cómo citar: Grande, Carlos; Mendoza, Efraín; Molina, Rodolfo; Pérez, Cindy; Torres, Dayana (2019). “Criterios intermodales para la inclusión de modos no motorizados en el área de influencia del Sistema Integral de Transporte del Área Metropolitana de San Salvador”, *TRIM*, 17: 63-79.

Este artículo está sujeto a una [licencia “Creative Commons Reconocimiento-No Comercial” \(CC-BY-NC\)](#).

DOI: <https://doi.org/10.24197/trim.17.2019.63-79>

Resumen: objetivo principal de la investigación que da origen a este texto es comprender las dinámicas que generan dificultades en mejorar la movilidad intermodal en el proyecto de SITRAMSS y a partir de ese conocimiento establecer criterios que permitan introducir y aspectos que favorezcan la movilidad intermodal en el AMSS, principalmente guiados por el enfoque de la urbanización del movimiento que valora la riqueza de las oportunidades de los encuentros, la experiencia de esos encuentros, las actividades y descansos proporcionadas por esos desplazamientos que favorecen unas condiciones de vínculo o “religancia” (Amar 2011). La estructura metodológica articula tres técnicas de investigación y que consideran la naturaleza de los aspectos determinantes del problema, finalmente se establecen resultados preliminares que contribuyen a determinar criterios para el diseño intermodal.

Palabras clave: Criterios intermodales; movilidad urbana; sistemas intermodales; transporte; redes de movilidad.

Abstract: The principal aim of this paper is to understand the social and technical dynamics that prevent intermodal mobility. From that knowledge, establish criteria that allow intermodal mobility in AMSS, mainly guided by the Amar (2011) ideas of values the richness of the opportunities of the meetings, the experience of those encounters, the activities and breaks provided by those trips that favor conditions of bond or "religancia". The methodological structure link three research technics that consider the nature of determinant aspects of the problem, finally it establishes preliminary results that contribute to define intermodal design criteria.

Keywords: Intermodal Criteria; Urban Mobility; Intermodal Systems; transport; Mobility Networks

INTRODUCCIÓN

La movilidad urbana del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), enfrenta grandes retos, con 14 municipios conurbados en 610 km², más de 1.7 millones de personas y una expansión urbana constante que ya supera sus fronteras, las dificultades de accesibilidad a los servicios urbanos, conflictúa con los usos de suelo y dificultan las relaciones sociales.

En este contexto, esta investigación analiza la movilidad urbana desde el enfoque metodológico de George Amar (citado en Korstanje, 2013), que propone tres niveles de análisis, los cuales se operativizan a través de cuatro elementos concretos de la realidad salvadoreña que se muestran en la figura 1, pero poniendo especial énfasis en proponer líneas de acción para introducir al modelo actual de movilización en el AMSS la dimensión intermodal. Para profundizar en la situación concreta de la movilidad en el AMSS, se presenta de manera sintética algunos datos relevantes sobre el estado de los elementos considerados como determinantes en el análisis.

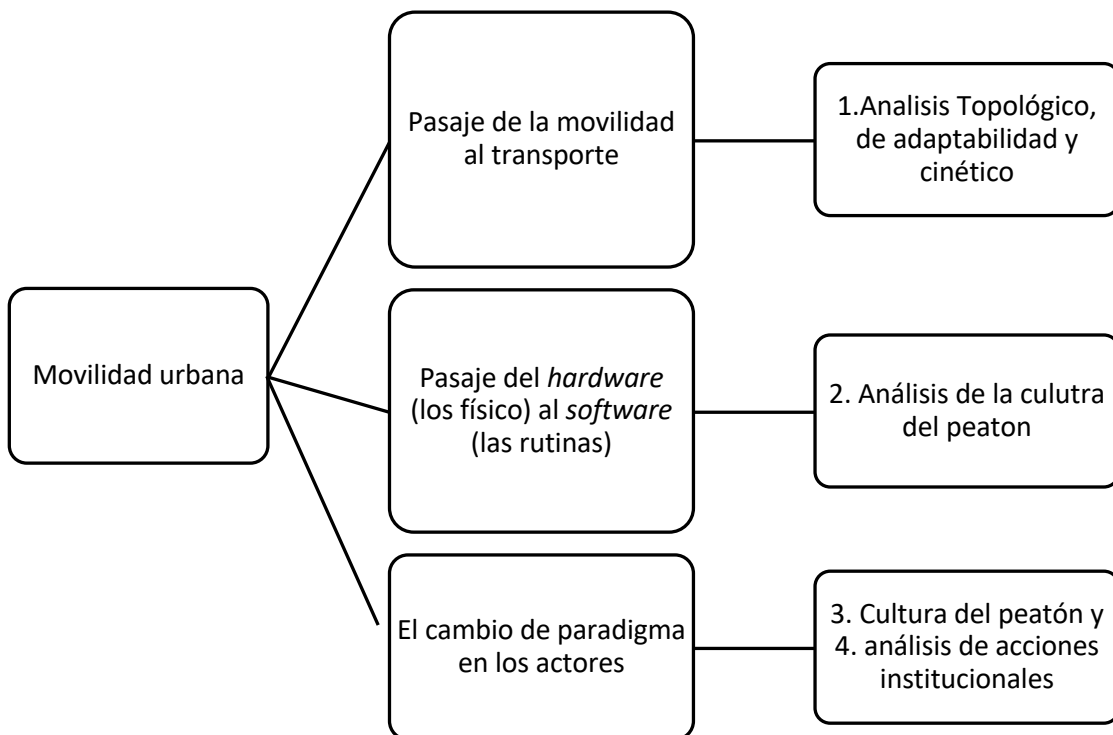


Figura 1. Esquema teórico metodológico de la investigación.

Fuente: elaboración propia con base en (Amar, 2011)

1.1 Aumento de la motorización privada

El aumento de la motorización privada, es responsable de la congestión de las redes de movilidad y se ha convertido en indicador de una forma insostenible de transporte en el AMSS, el cual según datos del Viceministerio de Transporte (VMT) concentra casi la mitad de los vehículos automotores del país, el 45.77%, de los cuales el 73.47% son vehículos privados (LPG, 2017b). Se puede inferir, que uno de los factores claves en esta alza sea la inseguridad, ya Jane Jacobs (2013, 73) advertía sobre este fenómeno y su relación con la inseguridad que en el caso de El Salvador tiene un punto especialmente sensible en relación con el transporte público. Las estadísticas muestran que el 20.60% de los robos ocurre en autobuses y un 7.50% en las paradas de transporte público, e incluso según informes de medicina legal el 3.30% de homicidios del país ocurre dentro de las unidades de transporte (Natarjan, Clarke, Ponce, Carach, Beneke, Polanco, Chávez, & Shi, 2015). Esto deja como resultado un ingreso promedio de cerca de 90,000 vehículos anuales al parque vehicular nacional lo cual se mantiene en crecimiento sostenido sin ningún punto de inflexión.

1.2 Cultura y seguridad vial

Tradicionalmente conductores de automotores privados y transporte público son los primeros señalados de escasa cultura y educación vial, sin embargo, sin embargo no existen datos sobre lo anterior, por el contrario, las distracciones al conducir y la excesiva velocidad en los vehículos automotores, si se han registrado y están entre las causas principales de los accidentes de tránsito, en el AMSS en menos de un año pudieron contabilizarse cifras de hasta 21,582 accidentes de tránsito para el año 2017 en un país de 6 millones de habitantes (VMT, 2018).

1.3 La acción institucional

En el ámbito del transporte la institucionalidad es fundamental para impulsar transformaciones sustanciales en los sistemas de movilidad urbana, Touber y Sclar (2011) exponen sobre la eficacia que tienen las transformaciones de los sistemas de transportes cuando están acompañadas por transformaciones en la institucionalidad que las rige, Por otro lado Zegras (2006) y Jeon (2010) introducen en sus indicadores de medición de sistemas de movilidad sostenibles índices relacionados con la institucionalidad y la eficiencia en la gestión del transporte.

Las competencias de la acción institucional en el binomio transporte-territorio, clave en la gestión de la movilidad urbana (Miralles, 2002), están segregadas o yuxtapuestas (Grande, 2016), entre la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS) y el VMT, principalmente en lo relacionado con los cambios constantes de gestión y diferentes visiones políticas e ideológicas que provocan discontinuidad en la aplicación de proyectos e iniciativas para la mejora de la movilidad urbana. Lo que impide ir consolidando la planificación de una imagen de ciudad más coherente que vincule infraestructura y movilidad urbana con la cultura vial (Brandão, 2011).

1.4 Las redes y los medios de movilidad urbana en el AMSS

El último de los cuatro aspectos problemáticos de la movilidad urbana del AMSS son sus redes viales, entre las cuales destacan cuatro:

Primero, la red de movilidad peatonal adolece múltiples deficiencias, se encuentra deteriorada, o no garantiza la accesibilidad universal. La

colocación inadecuada de mobiliario urbano y obstáculos en aceras agravan la situación de la red peatonal (Renderos, 2013). La segunda, es la red de movilidad para ciclistas, prácticamente inexistente, con pocas vías con infraestructura adecuada pero inconexas, irrespetadas por el vehículos automotores, sin vínculos con el sistema de transporte masivo y desconectadas de nodos de interés, aunque con una incipiente organización ciudadana que aún no se ha logrado organizar en un bloque integrado (Grande & Aguilar, 2017), sin embargo, desde el 2017 la red peatonal y ciclista se integraron en la propuesta de las Redes Ambientales Peatonales Seguras (RAPS), que impulsa la OPAMSS en el Esquema Director¹ (OPAMSS, 2016), y se potencia por la propuesta de ciclo rutas de la Dirección de Infraestructura Inclusiva y Sostenible del Ministerio de Obras públicas (DIIS-MOP) en el AMSS (LPG, 2017a).

Una tercera red es la del transporte público, que se subdivide en dos, la primera es del Sistema Integral de Transporte del Área Metropolitana de San Salvador (SITRAMSS), con una cobertura limitada de 6.5 km pero con una relativa eficiencia en los puntos de abordaje y la seguridad al interior del sistema tipo BRT (Bus Rapid Transit), 8 estaciones y una congestionada red que no cuenta con carril exclusivo debido a un fallo legal (EDH, 2017) limitando su eficiencia, expansión y condición de “tramo vitrina” (Nevo, Granada, & Ortiz, 2016). La segunda red es la del sistema convencional de transporte público de la cual se ha introducido ya algunas de sus desventajas con anterioridad y que comparte vía en la totalidad de los casos con la red de para vehículos particulares. Finalmente, respecto a la red para el vehículo privado, la saturación de las vías vuelve ineficiente en muchos momentos del día el uso de este modo de transporte, convirtiendo diferentes puntos de la ciudad en inaccesibles e inconexos para los usuarios, en general las vías más transitadas han aumentado entre 15% y 25% de vehículos en dos años (LPG, 2018).

1.5 Hacia la intermodalidad en el Área Metropolitana de San Salvador

Todo sistema de transporte de alguna forma goza de intermodalidad, pero en distintos niveles de eficiencia. El Instituto para la Política de Transporte Orientada al Desarrollo sostiene que la

¹ Instrumento de planificación territorial vigente para el AMSS desde 2017.

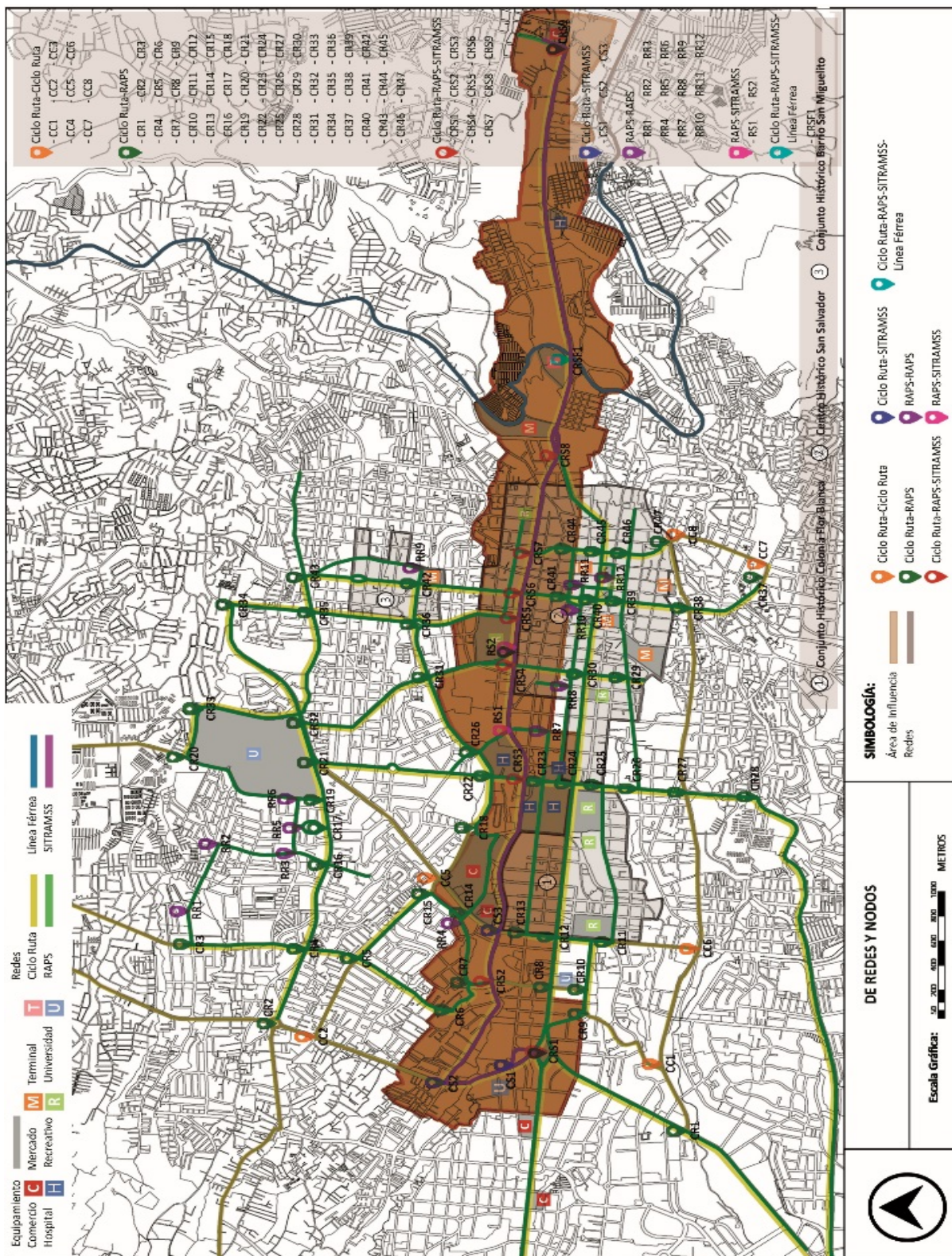


Figura 2. Redes y nodos en área de influencia SITRAMSS

utilización de distintos sistemas de transporte en un viaje, permite desplazarse rápidamente dentro de la ciudad (ITPD, 2014), dotar al espacio con equipamientos necesarios para la adecuada integración de la bicicleta con el transporte colectivo, disminuye el viaje en vehículo privado e incentiva a las personas a realizar los viajes de manera intermodal (ITPD Mexico & I-CE, 2011, 5). Además, existen estudios que confirman que el diseño eficiente de los “intercambiadores” favorece la articulación y cohesión del territorio (Márquez & de Ureña Francés, 2010), impacta en la imagen de la ciudad, la calidad de vida de sus habitantes, favorece la equidad e integración social e influye en la consecución de una movilidad sostenible, con este horizonte a la vista, esta investigación tiene por objetivo establecer criterios estratégicos para introducir en la movilidad urbana actual en el área de influencia² del SITRAMSS (véase Figura 2) que favorezcan la implementación de acciones que contribuyan a mejorar los niveles de integración intermodal de la movilidad urbana.

2. METODOLOGÍA

Tal como lo sintetiza la figura 1, para cumplir el objetivo de esta investigación se establecen cuatro variables que permiten comprender aspectos claves que limitan la intermodalidad de la movilidad urbana del AMSS, para analizar esas variables se establecen las siguientes técnicas de investigación que permiten recuperar información sobre su estado.

En primer lugar, con los planteamientos de Gabriel Dupuy en el Urbanismo de las Redes, se analizan las principales redes de movilidad a partir de sus tres dimensiones, topológicas (conectividad y accesibilidad), cinéticas y de adaptabilidad (1998, 93–94), Para la primera utilizando metodologías específicas de la teoría de los grafos para el análisis de redes de transporte (Cardozo, Gómez, & Parras, 2009) se construyó un grafo de “red de redes” que integra las cuatro redes de interés de esta investigación, (véase Figura 2), se clasificaron los nodos según las tipologías de las redes interconectadas y la amplitud de la influencia de la red de redes a nivel regional del AMSS para acotar el análisis se definió el área de influencia del SITRAMSS en color marrón claro. Para la

² El área de influencia es definida por la distancia máxima que una persona está dispuesta a caminar bajo ciertas condiciones ambientales, climatológicas y topográficas esto es 600 m o 10 minutos a pie (Salingaros 2008).

segunda dimensión se utilizó un análisis de pendientes para evaluar principalmente las modalidades no motorizadas y finalmente se definieron para la última dimensión se definieron los criterios de adaptabilidad según se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Criterios de adaptabilidad para ciclo rutas y RAPS

Categoría de adaptabilidad	Distribución de uso de suelo	Densidades de población	Espacio destinado a la red	
			Ciclo Rutas	RAPS
Sin adaptabilidad	Vivienda Alta Densidad/Z. Comercial	> 500 Hab/Ha.	< 2.00m	< 1.20m
A cinco años	Vivienda Alta Densidad/Z. Comercial	400 a 500 Hab/Ha.	2.00m a 2.80m	1.20m a 1.80m
A diez años	Vivienda Media Densidad/Z. Comercial	300 a 400 Hab/Ha.	2.80m a 4.00m	1.80m a 2.40m
A veinte años	Vivienda Media Densidad	200 a 300 Hab/Ha.	4.00m a 6.00m	> 2.40m
A más de veinte años	Vivienda Baja Densidad	< 200 Hab/Ha.	> 6.00.	

En segunda instancia con respecto al estudio de la cultura vial se realizó adaptó la metodología de observación participante de la etnografía (O'toole & Were, 2008) con el estudio del espacio propuestos por Gehl (2014, 239), con un instrumento de sistematización de las observaciones que evalúa el aspecto físico y sensorial a través de tres dimensiones cualitativas como *la protección*: relacionada con la seguridad del peatón, *el confort*: identifica oportunidades que posibilitan el uso diverso del espacio hacia el peatón, (caminar, permanecer, sentarse, potenciar visuales, actividades físicas y de interacción social), finalmente, *el placer*: identifica elementos que permiten prolongar la estancia del usuario como edificios bajos, espacios con sombra y vegetación así como la existencia de elementos arquitectónicos y naturales de interés. Esto permitió evaluar el comportamiento de la población (peatones, transporte público y vehículos privados), que es uno de los datos ausentes en la información nacional, referidos al uso del espacio público entendido principalmente como nodo de intercambio modal.

La tercera técnica se centra en la dimensión institucional, se realizó un FODA que permite sistematizar y comprender las fortalezas y debilidades de las acciones de las instituciones rectoras del transporte, finalmente como ejercicio de síntesis de los resultados de análisis preliminares se determinaron criterios para el diseño intermodal divididos en las tres dimensiones del análisis de redes, clasificados con

una jerarquización de prioridad hacia el peatón, en segundo lugar al ciclista-como una forma emergente de movilidad en el AMSS seguido por el transporte público para incentivar su uso y por último el vehículo privado.

3. RESULTADOS

Uno de los primeros resultados obtenidos de la investigación son los mapas de análisis de la dimensión topológica a partir de la teoría de grafos (Cardozo, Gómez y Parras 2009) de la “red de redes” esto es el estado de la conectividad y la accesibilidad que se muestran en la Figura 3. Es posible destacar de estas imágenes como los valores de conectividad y accesibilidad se vuelve más densa y con valores de accesibilidad mayores para los cuales se ha evaluado en términos de

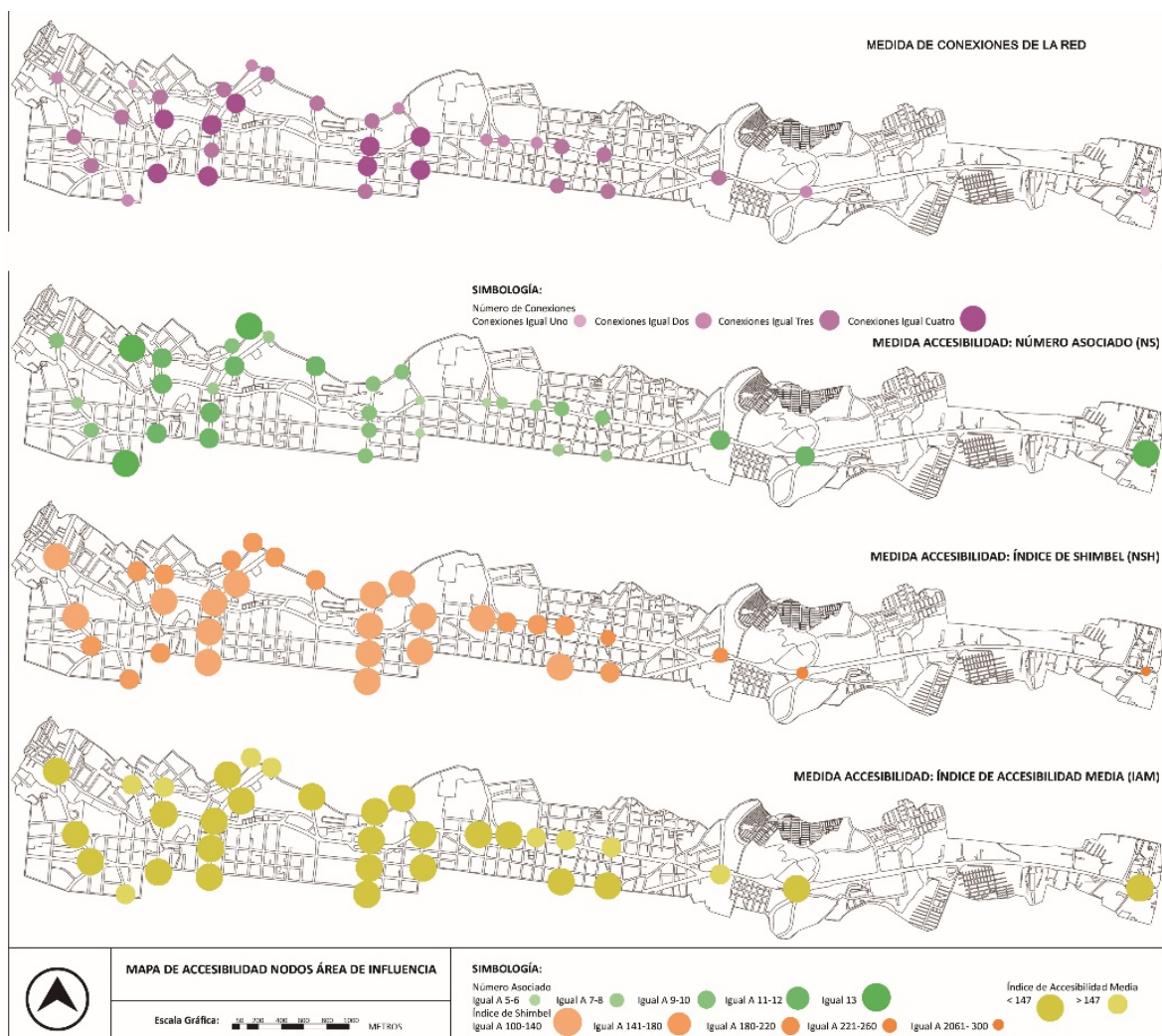


Figura 3. Análisis topológico de las redes de redes (conectividad y conexión)

conectividad, el número de conexiones de los nodos de esta red, en cuanto a la accesibilidad se han evaluado: el Número Asociado (NS), Índice de Shimbel (NSH) y el índice de accesibilidad media (IAM).

Un segundo resultado es la dimensión cinética, se puede observar en la figura 4, una representación de las condiciones de pendiente en las que se ve la red en análisis y en borde negro el área de influencia del SITRAMSS, en la cual predominan pendientes del 0% al 5% considerándose como aptas para la inclusión de redes de movilidad no motorizada. En la periferia, en el poniente y oriente del área de influencia existe una variación de pendiente que va desde el 5% hasta mayores al 9%, sin embargo, su incidencia no representa un impedimento para las redes propuestas.

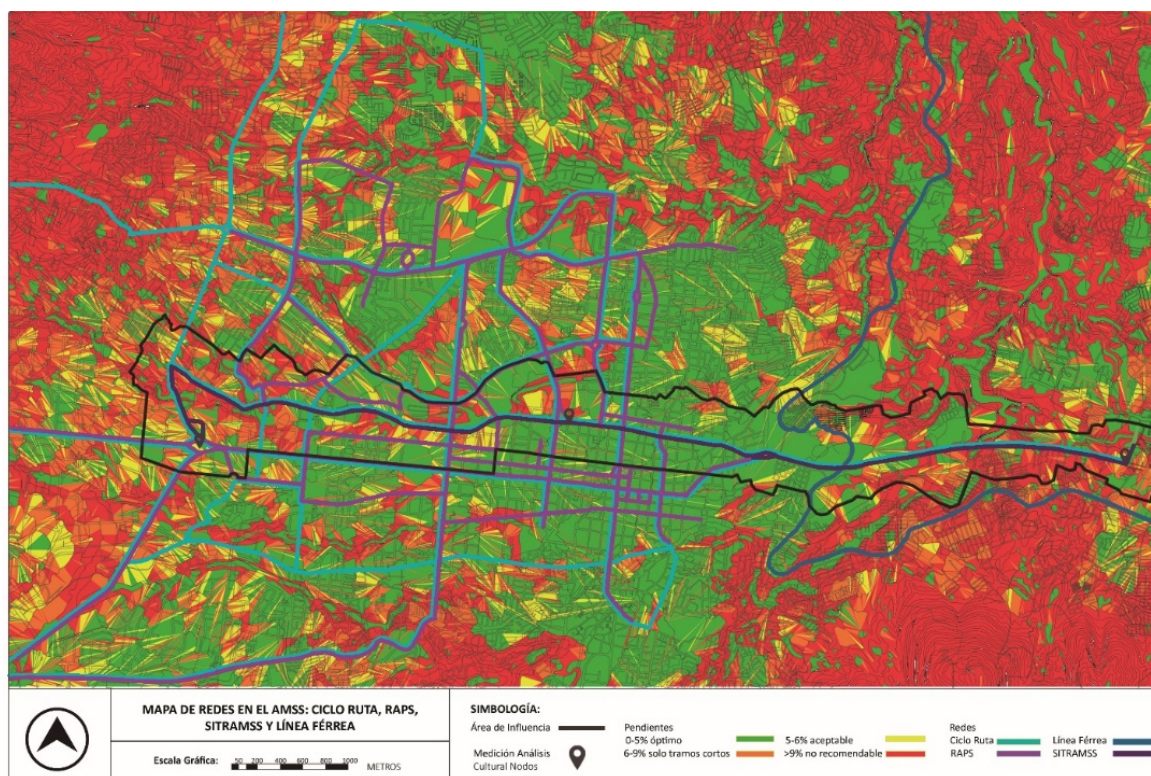


Figura 4: Análisis de pendientes

La Figura 5 muestra la clasificación por rangos de adaptabilidad propuestos en la tabla 1, se realizó para la red de Ciclo Rutas y las RAPS respectivamente, estas últimas poseen mejores condiciones para adaptarse puesto que, la mayoría de la red posee un rango de adaptabilidad igual a veinte años debido a que el espacio destinado para ella les permite la aceptación de modificaciones y la inclusión de nuevos

tipos de redes. Caso contrario al de las ciclo rutas, ya que estas en su mayoría aceptan rangos de adaptabilidad de diez años y en algunos casos no posee adaptabilidad, probablemente por las condiciones de espacio pues no es capaz de soportar modificaciones por extensión y/o diversificación ya que depende de otras redes para aceptar dichos cambios al no poseer un espacio propio para su adecuado funcionamiento.

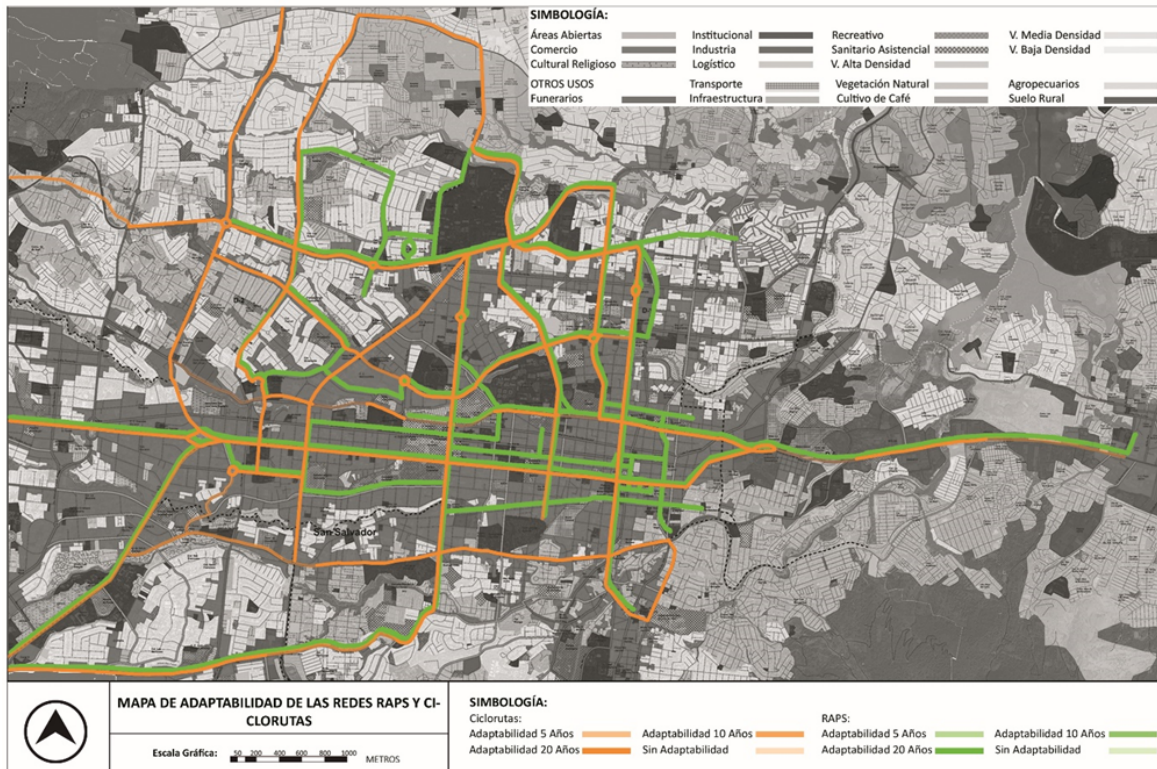


Figura 5. Mapa de adaptabilidad de Ciclo Rutas, RAPS.

Para la parte cultural se presentan en la figura 6 los resultados obtenidos en uno de los 4 nodos evaluados, que es el del nodo Plaza Salvador del Mundo, en el cual se puede observar los siguiente aspectos, el uso que le dan los peatones a los espacios de movilidad principalmente aquellos que interactúan con otros modos de transporte y para contrastar el uso que le da la movilidad motorizada a los espacios de movilidad que le permiten interactuar con otros modos de transporte principalmente con los modos de transporte no motorizados. Como es posible constatar el irrespeto a las señales de tránsito se dio en mayor grado en el transporte particular a pesar de que se tiene estigmatizado el transporte público en este rubro del irrespeto, sin embargo, existe mucho problema aún con el respeto hacia un peatón que está pasando sobre las líneas cebras.

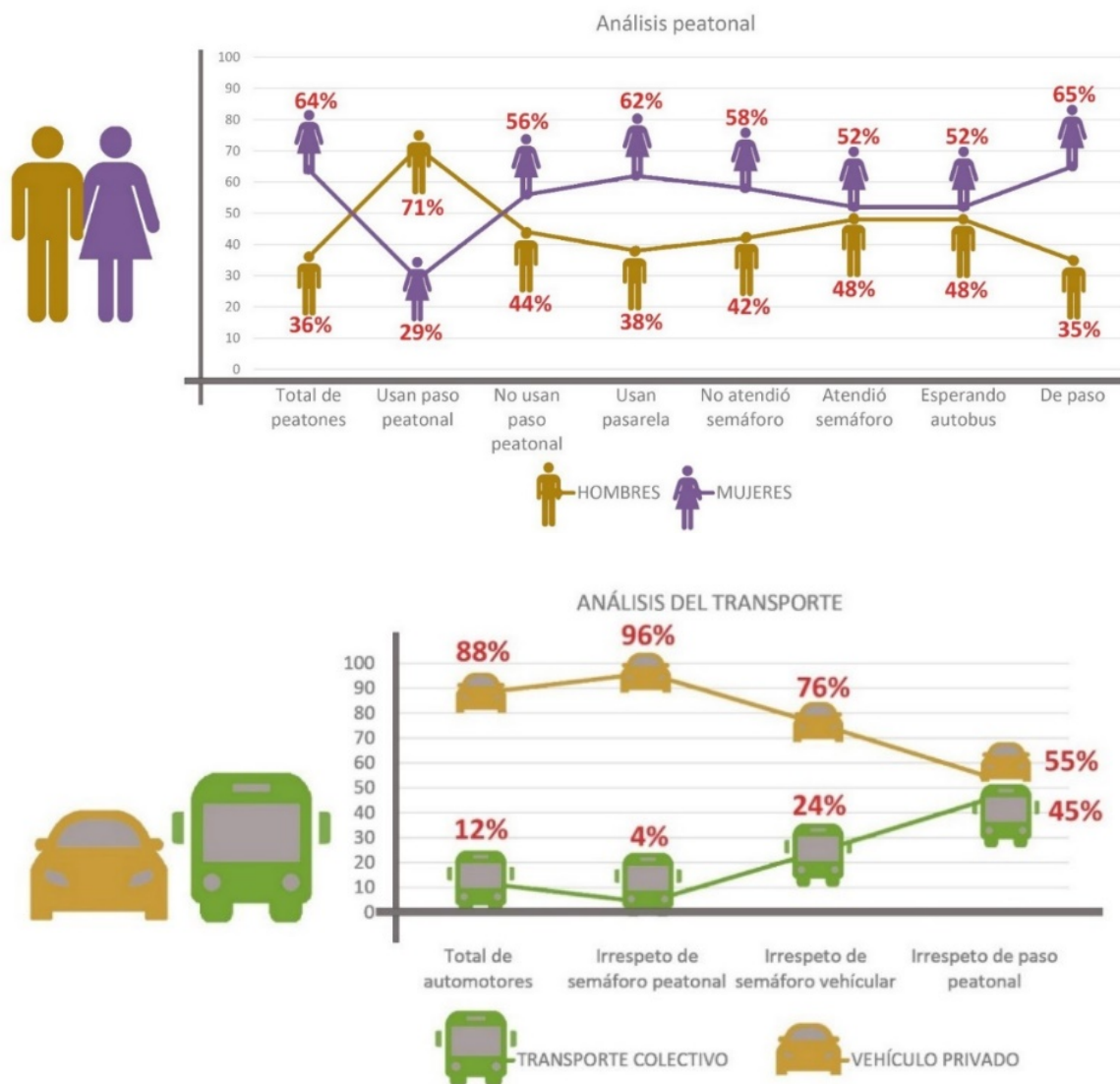


Figura 6: Gráfico flujo vehicular, peatonal y su relación intermodal

CONCLUSIONES

• Conclusiones para el contexto concreto del Área Metropolitana de San Salvador

Los resultados del análisis de conectividad y accesibilidad confirman que el desarrollo de dinámicas y crecimiento comercial promueve y se fortalece de la cantidad de conexiones y accesibilidad que puede tener la zona de influencia de SITRAMSS, esto en contraste con la variación en la densidad de puntos de conexión en las zonas residenciales lo que acentúa las condiciones de exclusión a movilidades más eficientes y sostenibles a las zonas residenciales.

El análisis cinético utilizado para evaluar las movilidades no motorizadas se centró en las pendientes y se contrastó con estándares urbanísticos referidos a ello y comprueba que el estado topográfico de San Salvador es adecuado para el desarrollo de redes de movilidad no motorizada ya sea para una idea de mayado de ciclorutas o bajo el enfoque de itinerarios de movilidad propuesto por Herce (2009, 240); en contraste el análisis de puntos de congestión demuestra que la preferencia por el vehículo privado es una de las causas que satura las redes de movilidad, volviéndolas ineficientes, optar por potenciar rutas de movilidad no motorizada constituiría una oferta de movilidad no existente que podría aportar nuevas alternativas para desincentivar el uso del vehículo privado.

El análisis de adaptabilidad expone que la planificación urbana del AMSS, no desarrolló alternativas de movilidad diferentes al vehículo privado y el transporte público de pasajeros, aun así, la ciudad está en capacidad y en necesidad de habilitar nuevas formas de transporte que representen alternativas sostenibles y potencias mejores espacios de convivencia y cohesión social.

Basados en los resultados del análisis de observación participante se demuestra que la falta de educación y cultura vial, no está presente solo en los conductores sino en los peatones, esto conflictúa la relación en la red de los distintos modos de movilidad urbana y de manera más palpable en las movilidades no motorizadas.

Debe priorizarse e intensificarse una campaña de educación vial para modos motorizados y no motorizados, resaltando la prioridad del peatón en la ciudad, pero también los deberes del peatón, potenciar un mejor diseño urbano centrado en la movilidad no motorizada y no en el vehículo, favorecerá espacios públicos que eduquen y construyan una nueva imagen urbana que potencie y sea coherente con la búsqueda de una sociedad cohesionada.

• Conclusiones generales sobre la intermodalidad desde la experiencia salvadoreña

Transitar hacia una intermodalidad más sofisticada, eficiente y moderna en El Salvador no solo depende de la infraestructura, precisa de también de educación vial y un cambio de cultura tanto de la sociedad como de la institucionalidad, las observaciones participantes de esta investigación revelaron que en zonas aceptablemente marcadas y con la infraestructura mínima requerida para su correcto funcionamiento los

usuarios de modalidades no motorizadas no utilizan dichos recursos para sus viajes, lo que confirma que la eficiencia en el transporte no se debe solo a un problema técnico pues estamos ante un fenómeno técnico-social (Zegras, 2011) que requiere un abordaje interdisciplinario.

Existe coincidencia en la planificación, pero se dificulta la ejecución de los cambios. La yuxtaposición de las competencias de instituciones en el ámbito del transporte en el AMSS de alguna manera ha posibilitado un importante impulso en la planificación de infraestructura, producto de una imagen urbana ampliamente compartida por los técnicos institucionales, como se ha podido constatar en esta investigación MOP y OPAMSS coinciden en la visión de potenciar las modalidades no motorizadas, sin embargo no se logra materializar dicha infraestructura, este es un punto importante para profundizar en futuras investigaciones, es clave comprender las dinámicas institucionales y sociales que impiden la realización de mejoras en la movilidad más allá que la ampliación y construcción de vías para vehículos privados, coordinar visiones, concertar enfoques para lograr visualizar que las redes viales, las modalidades, las personas, las políticas y las instituciones producen juntos un espacio que si bien necesita de un alto grado de conocimiento técnico también requieren de una fuerte impronta de cohesión social que produzca la visión de la ciudad que sea sostenible, segura e inclusiva, una ciudad producida conscientemente por toda su sociedad.

AGRADECIMIENTO

Los redactores de este artículo agradecen de manera especial al Dr. Emilio Reyes Schade por su aporte conceptual, comentarios a la redacción y recomendaciones bibliográficas para enriquecer lo expuesto en este texto. Adicionalmente, quieren agradecer al Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), ya que el mismo fue elaborado en el marco del proyecto Red Iberoamericana de Transporte y Movilidad Urbana Sostenible (RITMUS, 718RT0566).

BIBLIOGRAFÍA

- Amar, Georges (2011), *Homo mobilis: la nueva era de la movilidad*. La Crujía.
- Brandão, Pedro (2011), *La imagen de la ciudad: estrategias de identidad y comunicación* (Vol. 8). Edicions Universitat Barcelona.
- Cardozo, Osvaldo Daniel, Gómez, Erica Leonor, & Parras, Miguel Alejandro (2009), *Teoría de grafos y sistemas de información geográfica aplicados al transporte público de pasajeros en Resistencia (Argentina)*. Revista Transporte y Territorio, 1, pp. 89–111.
- Dupuy, Gabriel (1998), *El urbanismo de las redes: teorías y métodos*, Oikos-Tau.
- EDH (2017), *Sala de lo Constitucional ordena paso libre al público en carril SITRAMSS*, El Diario de hoy (8/5/2017).
- Gehl, Jan (2014), *Ciudades para la gente*, Infinito, Buenos Aires.
- Grande, Carlos (2016), *Yuxtaposición de competencias en el transporte público; oficina de planificación del área metropolitana de san salvador (OPAMSS) vs viceministerio de transporte en el salvador (VMT)*. Presentado en XIX Congreso Latinoamericano de Transporte Público y Urbano (CLATPU). Congreso.
- Grande, Carlos y Aguilar, Luis (2017), *Participación ciudadana en movilidad urbana: Identificación de actores sociales y construcción del “sujeto social” para las rutas de movilidad no motorizada en el Área Metropolitana de San Salvador, El Salvador*. En Nataly Pinto, Elisa Puga y Gustavo Endara (Eds.), *Más allá de los límites, apuntes para una movilidad inclusiva* (Friedrich-Ebert-Stiftung (FES-ILDIS) Ecuador. Quito, Ecuador.
- Herce, Manuel (2009), *Sobre la movilidad en la ciudad: propuestas para recuperar un derecho ciudadano*, Editorial Reverté.
- ITPD (2014). TOD Standard (p. 78). New York: ITPD.

- ITPD Mexico y I-CE (2011), Manual Ciclociudades, Retrieved from <http://ciclociudades.mx/manual-ciclociudades/>.
- Jacobs, Jane (2013), *Muerte y vida de las grandes ciudades*. (Abad, Ángel & Useros, Ana, Trans.) (Tercera edición.). Madrid, España: Capitán Swing.
- Jeon, C.M., Amekudzi, A., & Guensler, R. (2010), *Evaluating Plan Alternatives for Transportation System Sustainability: Atlanta Metropolitan Region*. International Journal Of Sustainable Transportation, (4), p. 227.
- Korstanje, Maximiliano E. (2013), *Homo Mobilis: La nueva era de la movilidad*. Alteridades, 23(46), pp. 138–140.
- LPG (2017a), *Proyectan hacer 100 kilómetros de ciclorruta en AMSS*. La Prensa Gráfica (22/09/2017).
- LPG (2018). *23,404 vehículos más circulan hoy por el bulevar Los Próceres*. La Prensa Gráfica (5/08/2018).
- LPG, La Prensa Gráfica (2017b). *Casi medio millón de vehículos en el AMSS* - La Prensa Gráfica. (11/6/2017).
- Márquez, Sonia Esperanza Díaz, & de Ureña Francés, José María (2010). *El estudio del papel territorial de los intercambiadores de transporte: revisión y propuesta metodológica*. BAGE, 54.
- Miralles, Carme (2002), *Transporte y territorio urbano: del paradigma de la causalidad al de la dialéctica*. Documents d'anàlisi geogràfica, 41, pp. 107–120.
- Natarjan, Mengai, Clarke, Ronald, Ponce, Carlos, Carach, Carlos, Beneke, Margarita, Polanco, Dolores, Shi, Mauricio (2015), *Prevención del Crimen en el Transporte Público en El Salvador* (p. 53). Antiguo Cuscatlán, La Libertad: FUSADES.
- Nevo, Miroslava, Granada, Isabel y Ortiz, Paola (2016). *SITRAMSS: Mejorando el transporte público del Área Metropolitana de San Salvador*.

- OPAMSS, Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (2016), *Esquema Director del AMSS*. (p. 100). San Salvador: Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador.
- O'toole, Paddy y Were, Prisca (2008), *Observing places: using space and material culture in qualitative research*. *Qualitative research*, 8(5), pp. 616–634.
- Renderos, Alexander (2013). *La Accesibilidad Universal como parte de los Planes de Movilidad Urbana en el AMSS*. Presentado en CONIA 2013.
- Sclar, Elliott y Touber, Julie (2011). *Economic fall-out of failing urban transport systems: an institutional analysis*. En Harry Dimitriou y Ralph Gakenheimer (Eds.), *Urban Transport in the Developing World: A Handbook of Policy and Practice* (pp. 174–202). UK; Northampton, MA: Edward Elgar Publishing.
- VMT, Viceministerio de Transporte (2018). *Detalles de accidentes de tránsito período del 01 de enero al 31 de diciembre de 2017* (p. 1). San Salvador: VMT.
- Zegras, Christopher (2006). *Sustainable transport indicators and assessment methodologies*. En Biannual Conference and Exhibit of the Clean Air Initiative for Latin American Cities (Vol. 1) (pp. 25–27).
- Zegras, Christopher (2011). *Mainstreaming sustainable urban transport: putting the pieces together*. En Harry T. Dimitriou & Ralph Gakenheimer (Eds.), *Urban Transport in the Developing World, A handbook of Policy and Practice* (pp. 548–588). Edward Elgar Publishing.

Trolebus eléctrico, una primera solución a la movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito-Ecuador

Electric trolleybus, a first solution to mobility in the Metropolitan District of Quito-Ecuador

JAIME PAÚL AYALA TACO¹, ALEXANDER IBARRA

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador. Av. General Rumiñahui s/n y Ambato

jpayala@espe.edu.ec

ORCID: 0000-0001-5128-9084

Recibido: 15/07/2019. Aceptado: 15/11/2019.

Cómo citar: Ayala, Jaime; Ibarra, Alexander (2019). “Trolebus eléctrico, una primera solución a la movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito-Ecuador”, *TRIM*, 17: 81-92.

Este artículo está sujeto a una [licencia “Creative Commons Reconocimiento-No Comercial” \(CC-BY-NC\)](#).

DOI: <https://doi.org/10.24197/trim.17.2019.81-92>

Resumen: Se presenta un resumen de las experiencias obtenidas de la implantación de un sistema de transporte basado en autobuses con locomoción eléctrica-trolebus en el Distrito Metropolitano de Quito, capital de la República del Ecuador. Además se provee de un análisis del empleo de la electricidad como medio energético para alimentar vehículos urbanos como propuesta de solución para mejorar la movilidad urbana y hacerla sostenible.

Palabras clave: Trolebus; movilidad urbana; Quito

Abstract: A summary of the experiences obtained from the implementation of a transportation system based on buses with electric locomotion-trolleybus in the Metropolitan District of Quito, capital of the Republic of Ecuador is presented. It also provides an analysis of the use of electricity as an energy source to power urban vehicles as a solution proposal to improve urban mobility and make it sustainable.

Keywords: Trolleybus; Urban mobility; Quito

INTRODUCCIÓN

La movilidad urbana en la actualidad se ha convertido en un problema para los administradores de las ciudades. El caos que genera la dificultad de movimiento de la población en las ciudades tiene su origen en el incremento constante del parque automotor, el ineficiente sistema de

transporte público y privado, la carencia de legislación y aplicación escasa de las leyes y normativas existentes orientadas a una organización eficiente en el transporte, debido fundamentalmente al poder que las asociaciones y gremios de transportistas disponen frente al bienestar general de la población.

El futuro de América Latina es urbano. Hoy en día, casi el 80 % de la población de la región vive en centros urbanos y esa proporción llegará a cerca del 90 % en las próximas décadas. Casi 60 ciudades de la región ya cuentan con más de un millón de habitantes, incluyendo cuatro “megaciudades” (más de 10 millones de habitantes) y 23 con más de un millón, todas ellas con un crecimiento poblacional por encima del promedio de sus respectivos países. Esta realidad tiene profundas implicaciones para los esfuerzos de inclusión social y lucha contra la pobreza. La agenda social latinoamericana es hoy por hoy esencialmente una agenda de desarrollo urbano. Los sistemas de transporte público son uno de los elementos centrales que definen las dinámicas de desarrollo urbano, para bien o para mal. La movilidad urbana es determinante tanto para la productividad económica de la ciudad como para la calidad de vida de sus ciudadanos y el acceso a servicios básicos de salud y educación, Fomento (2010).

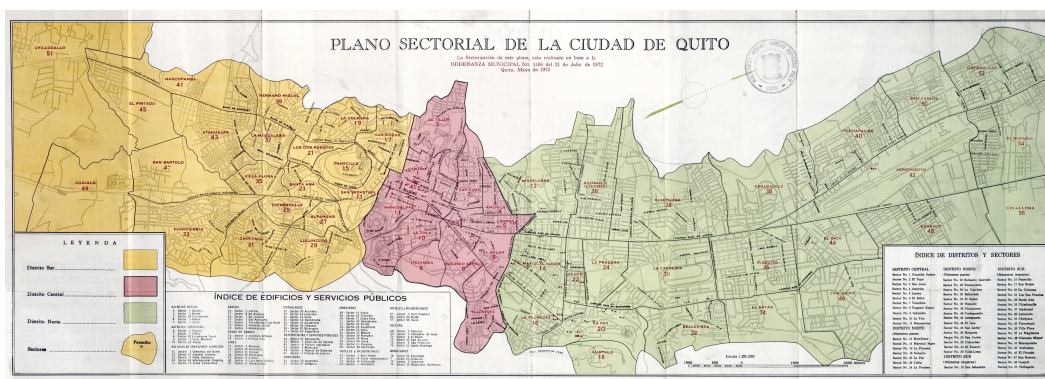


Fig. 1. Topografía de San Francisco de Quito-Ecuador, Distrito Metropolitano de Quito (2019)

La tecnología de tracción eléctrica es la única completamente exenta de emisiones de gases de combustión y partículas contaminantes a la atmósfera en su zona de operación, Alvarado Arias (2016). Por lo que este tipo de tecnología, en la actualidad, es una real posibilidad de mejora en la movilidad urbana.

1. PROBLEMA DE TRANSPORTE

Quito, capital de la República del Ecuador, es una ciudad que se encuentra sobre los 2800 msn., y que tiene aproximadamente 47 km de largo por 5 km de ancho. Su topografía particular, (fig. 1), hace que las calles y avenidas no sean lo suficientemente anchas ni tengan un trazado lineal, esto, sumado a los 432,000 vehículos (datos 2018) que circulan en promedio a diario, provoca la existencia de congestionamientos habituales de tráfico. En Quito, los conductores pierden en promedio hasta 28 horas al año atascados en el tráfico, como una medida para atenuar los problemas de movilidad en Quito, en el año 2010 el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito instauró la restricción vehicular por franjas horarias en función del último dígito de la placa de identificación, sin embargo la cantidad de vehículos se incrementó, ya que los usuarios adquirirían un nuevo auto que supla la restricción. El que no exista un horario diferenciado para ingresar al trabajo y también en las unidades educativas contribuye a que se incremente el tráfico en las vías mientras transcurren las horas pico. La curva de crecimiento del parque automotor es como una 'S', por lo que Quito ya se ubica en la parte superior, pero no llega a la saturación de algunas ciudades como Santiago de Chile, Fomento (2010).

Otra arista de la problemática de la movilidad urbana lo constituye el crecimiento de los vehículos en las ciudades. El promedio anual de crecimiento de motos ha sido del 30 %, mientras que de los vehículos tipo SUV (todoterreno pero ligeros) fue del 13,88 % y seguido de los autos con un 8,88 %. En términos de ocupación del espacio público, la motocicleta ocupa el mismo espacio que un vehículo particular. "Las vías no dan abasto para los vehículos particulares y cada vez hay más congestión". Actualmente en el mundo se propone el uso del transporte público. Desde ese punto de vista no es conveniente alentar la compra de la moto. Lo único que tiene de beneficio es que están al alcance del bolsillo de mucha gente, Chauvin (2007).

Según datos del estudio del Metro de Quito, menos de la tercera parte de la población (23 %) de Quito se moviliza en auto privado; incluido taxis, pero ocupan más del 80 % del espacio público de la calle. La gran mayoría de quiteños se movilizan en transporte público, y un increíble 15 % se moviliza a pie y solo a pie por temas de accesibilidad económica al autobús.

Desde el punto de vista ambiental, mientras más tiempo permanecen los automotores en la congestión pasan más tiempo encendidos, por lo cual hay más emisiones de CO₂. El aumento de autos y más vías para estos es un modelo que no es sostenible en la actualidad, por lo que es mejor trabajar en mejorar el transporte público.

2. SOLUCIONES DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA

2.1. Trolebus

A inicios de la década de 1990 el servicio de transporte urbano en Quito era muy similar al del resto de ciudades ecuatorianas. Buses pequeños y viejos competían en las calles en busca de pasajeros, abriéndose paso forzosamente entre automóviles particulares, parando súbitamente en cualquier lugar para recoger o dejar clientes, o simplemente reduciendo la velocidad, sin llegar a detenerse, mientras que apresurados usuarios intentaban subir o bajar de los vehículos en movimiento, Chauvin (2007).

La Municipalidad de Quito creó en 1990 la Unidad de Estudios de Transporte encargada de proponer un plan de racionalización del sistema que conllevaba una reestructuración institucional, una refundación de la red de transporte y sobre todo la implementación de un sistema de transporte colectivo público masivo. Varias hipótesis fueron consideradas (metro, tren urbano, tranvía), pero muy pronto abandonadas dados los costos elevados de construcción. Poco a poco, maduró la idea de adoptar un sistema integrado superficial en carril exclusivo en su tramo central que atravesaría el centro histórico de la ciudad. Es así como nació el sistema trolebús inspirado del modelo de Curitiba, Brasil, Demoraes (2005).

El trole, inicialmente previsto para transportar 115.000 pasajeros diarios, moviliza hoy a cerca de 210.000 personas, es decir el 11 por ciento de la demanda total en transporte colectivo, por lo que los usuarios viajan sumamente incómodos en las horas pico. Los buses alimentadores, de su lado, transportan 63.000 personas diariamente de las cuales el 90 por ciento realiza una transferencia hacia el trole, Distrito Metropolitano de Quito (2018).

El sistema trolebús opera gracias a la energía eléctrica. Los capitalinos lo ven como un modo de transporte más limpio, en comparación con el sistema de transporte convencional en bus, cuyas emanaciones sumadas a las del parque automovilístico individual contribuían en 1998 a un 87 por ciento de la contaminación atmosférica de Quito, OPS-OMS (2000). Las

unidades del trole están equipadas con motores auxiliares a diesel que les permiten funcionar desde el despacho hasta el corredor electrificado. Este motor es útil también en caso de cortes eléctricos.

Los viajes en transporte público están siendo atendidos por 3.131 unidades (buses “tipo”, articulados, trolebuses y minibuses), distribuidos en 60 operadoras (59 privadas y 1 municipal), de los cuales el 90 % son buses convencionales y el restante 10 % son buses articulados y trolebuses que operan en las troncales de los corredores troncales integrados (BRT). La oferta de transporte público en número absoluto de unidades de buses no ha tenido variaciones significativas en últimos 10 años, tiempo en el cual se ha verificado una disminución de 257 unidades que se asocia a una parte del retiro de buses convencionales en sustitución de los buses articulados incorporados al Corredor Central Norte; mientras que en ese mismo período se incrementó flota solo en casos específicos: 80 buses articulados adquiridos por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ) en el 2011 para los Corredores Nororiental (Ecovía) y Sur Oriental; una ruta interparroquial con 16 minibuses (Floresta-Cumbayá); y, 4 rutas Intraparroquiales (2 en Calderón y 2 en Cumbayá-Tumbaco) con 36 minibuses, Movilidad (2014).



Fig. 2. Sistema trolebús. Primera etapa

El sistema trolebús, (fig. 2), fue diseñado para constituirse en la troncal del Sistema Integrado de Transporte (SIT) del MDMQ, actualmente cuenta con un recorrido principal de 16.1 km y ha sido implantado en dos etapas que se detallan a continuación, Espinel y Morales (2001):

En el año 1995 el trolebús entró en funcionamiento parcial y desde abril de 1996 empieza a operar con una flota de 54 trolebuses. La infraestructura esta compuesta de las vías, estaciones de transferencia,

paradas, taller de mantenimiento, sistema eléctrico, semaforización centralizada, boletaje y un sistema de comunicaciones entre paradas. Para brindar una mejor servicio al usuario y disminuir los tiempos de viaje, las autoridades de la empresa de transporte metropolitano establecieron carriles exclusivos de circulación a los trolebuses, lo que ha permitido establecer cronogramas temporales exactos de viajes y paradas.

2.1.1. Segunda etapa: extensión sur de Sistema Trolebus

A finales de 1999 fueron incorporados a la flota 59 nuevos trolebuses, lo que brinda un total de 113 vehículos, que brindarían servicio a la parte sur de la ciudad; con lo que se incrementa la longitud del servicio en aproximadamente 5 km y 8 paradas.

Quito, al ser una ciudad de altura y por su topografía particular exige las mejores especificaciones de los vehículos que tiene que lidiar con constantes paradas, ascensos con pendientes de hasta 25 grados y descensos abruptos, por lo que las autoridades del MDMQ seleccionaron los trolebuses con las características que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Características técnicas básicas de trolebus Distrito Metropolitano de Quito (2018)

	Flota 1: 0405G	Flota 2: 0405GT
Regulador de marcha	EFB 142 Kiepe	EFB 154 Kiepe
Convertidor de potencia	DPU 305 Ondulador de pulsos tecnología GTO Enfriamiento: ventilación forzada	DPU 401 Ondulador de pulsos tecnología IGBT Enfriamiento: ventilación forzada
Convertidor estático	SEPSA Potencia total 11KVA Salida trifásica 380 V (7.5 KVA) Salida continua 27.5 V (3.5 KVA)	KIEPE: BNU 409 Potencia total 11.5 KVA Salida trifásica 400 V/ 230 v (7.5 KVA) Salida continua 27.6 V (4 KVA)
Potencia	157 Kw (210 HP)	230 Kw (308 HP)
Tecnología	Sistema de inyección mecánica, sistema de aceleración controlado electrónicamente	Sistema de inyección EDC

Motor de Tracción asíncrono trifásico	4 polos ABB BAZU 4651/4 Potencia 230 kW Enfriamiento: ventilación forzada	4 polos ABB BAZU 4651/4 Potencia 230 kW Enfriamiento: ventilación forzada
Pantógrafo	Trole tipo OSA 301 Tensión a hilo: 100 N Altura operación: 3200 mm a 5700 mm	Trole tipo OSA 301 Tensión a hilo: 100 N Altura operación: 3200 mm a 5700 mm
Articulación	Sistema antipandeo controlado electrónicamente	Sistema antipandeo controlado electrónicamente

En la actualidad se dispone de una flota de más de 300 unidades que prestan servicio en la línea trolebús con un recorrido que se resume en la (fig. 3).

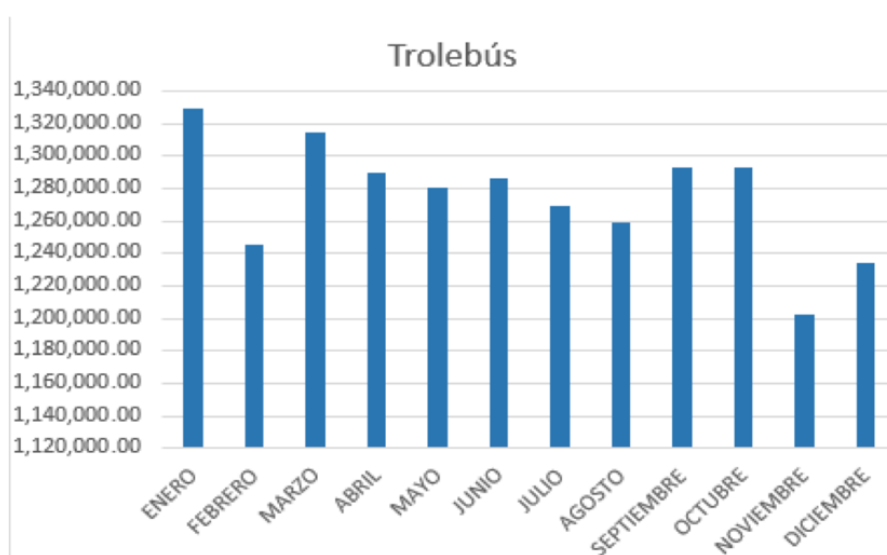


Fig. 3. Recorrido del servicio trolebus

En cuanto al empleo de combustible, se puede manifestar que el costo de diesel por galón en el Ecuador es de 1.04 USD y en referencia al costo eléctrico es de 0.09 USD por kWh. Para el caso del trolebús, el consumo energético es función del kilometraje promedio recorrido. La línea aérea de contacto y las doce subestaciones rectificadoras, o de tracción, se encuentran instaladas a lo largo del recorrido del sistema. Las nueve subestaciones de la primera etapa son alimentadas a 6 kV desde la Empresa Eléctrica Quito S.A., y disponen de 2 cuartos, uno de control y uno de

potencia. Las tres subestaciones de la segunda etapa son alimentadas a 22,8 kV también desde la Empresa Eléctrica Quito S.A. y disponen de tres cuartos, dos de control y uno de potencia, Distrito Metropolitano de Quito (2018).

Para el año 2017, el número de pasajeros transportados por el sistema trolebús de Quito fue de 294,326,105. Sin embargo en la actualidad ya se encuentra finalizado el proyecto Metro-Quito que pretende servir a más de 400,000 pasajeros al día. En estas circunstancias el sistema trolebus pasará a formar parte del sistema multimodal del Metro-Quito.

2.2. Autobuses 100% eléctricos

En el Ecuador, y en particular en las ciudades de Quito y Guayaquil, actualmente se están introduciendo soluciones de movilidad urbana bajo el esquema de autobuses 100 % eléctricos. Estos autobuses miden 18 metros, tienen capacidad para 160 pasajeros, no permiten que el conductor sobrepase los 60 kilómetros por hora (la legislación establece un límite de velocidad de 50 km/h dentro de las ciudades) y no emite gases contaminantes, fabricante BYD, (fig.4). Para que este bus funcione requiere ser cargado durante tres horas y con ello logra una autonomía de 300 kilómetros. En cuanto al valor es casi el doble que su equivalente a diesel. Al no tener motor, ni funcionar con combustible, le ahorra al operador hasta el 50 % del costo de mantenimiento. Con la primera carga podremos conocer cuánto se debe pagar, pero vale mencionar que en promedio hay un 70 % de ahorro en relación a lo que se gasta en combustible.



Fig. 4. Autobuses eléctricos para servicio en Quito, Comercio (2019)

Según un estudio realizado por Bloomberg New Energy Finance, BloombergNEF (2019), incluso en el peor de los casos (autobús con pequeña batería que requiera de muchas cargas, con la opción de carga más cara) podría salir más barato un autobús eléctrico que uno convencional al final de los 15 años de su vida útil. La diferencia de precio se amortizaría a partir de los 60.000 km al año, esto es, al realizar como mínimo 164 kilómetros al día, teniendo en cuenta que la media en una ciudad mediana es de 170 km y en una gran ciudad de 220 km.

Una ciudad con aproximadamente medio millón de habitantes se ahorraría unos 12 millones de dólares anuales, y este dato crece exponencialmente cuanto más grande es la ciudad y más personas viven o trabajan en ella. Imaginen ciudades como México, D. F., París, Londres, Madrid o Barcelona.

Para realizar este análisis se han tenido en cuenta factores como el tiempo medio del viaje, las emisiones, el consumo de energía, el uso de recursos naturales, los impuestos y hasta el ruido que generan los autobuses convencionales.

Esta ciudad modelo tendría una flota de aproximadamente 400 autobuses eléctricos que emitirían 0 partículas cancerígenas durante su funcionamiento y además no generarían casi nada de ruido. A parte de los ahorros directos, el gobierno se ahorrarían algo más de 1.2 millones de USD solo en materia de sanidad porque se reducirían las visitas a los médicos según el estudio. La reducción anual de dióxido de carbono sería de unas 33.000 toneladas, algo así como las emisiones de unas 3.000 viviendas que podrían acoger hasta 12.000 personas.

- El consumo medio de los vehículos eléctricos que ahora mismo están en el mercado se encuentra en torno a 14 kWh/100Km
- Las emisiones medias del mix eléctrico de generación es de 0,234 KgCO₂/kWh
- El consumo de un vehículo diesel de unos 100 CV es de 5 L/100Km
- Las emisiones producidas por litro de diesel consumido es de 2,67 kgCO₂/L

Según los valores anteriores, las emisiones de CO₂ expulsadas por un eléctrico serían unos 3,3 KgCO₂, mientras que las de un vehículo de motor

diesel serían 13.3 KgCO₂, viendo rápidamente las enormes diferencias en materia contaminante que existe a día de hoy entre ambos modelos.

- Pero para hacer un cálculo más preciso tendríamos que considerar las pérdidas energéticas producidas en la generación, transporte y transformación de la electricidad, sucediendo exactamente lo mismo con el petróleo, que además posee un mayor gasto en transporte debido a su necesaria importación.
- Pero además de la eficiencia, el consumo también es un aspecto clave para entender las diferencias entre ambos tipos de vehículos. El consumo medio a los 100 km de los eléctricos puros o BEV disponibles en el mercado, descartando los industriales, es de aproximadamente 12.65 kWh. Pero estos kWh consumidos son solamente los que contiene la batería. La electricidad necesaria extraída de una toma de corriente o generada en una central eléctrica, para que estos 12.65 kWh lleguen a las ruedas, es ligeramente mayor, debido a las pérdidas de la cadena de suministro, tanto en el transporte o distribución de esa energía como en el proceso de carga de la batería.
- Las pérdidas debidas al transporte y distribución de la electricidad promedio son del 6,32 %. Lo que nos deja un rendimiento del 93,7 %. Un convertidor electrónico de potencia estándar, como los que fábrica ABB, tienen un rendimiento según el propio fabricante del 97 %. Una batería tipo Ion-Li como la que montan la mayoría de los vehículos eléctricos modernos, con una resistencia interna de 0.175 mΩ, tiene un rendimiento eléctrico del 99,14 % y uno térmico del 99,63 %, que combinados dejan a la batería con un rendimiento del 98,8 %. En cuanto al motor eléctrico, los avances en la materia han permitido que los actuales coches eléctricos equipen motores de alta eficiencia, cifrando su rendimiento medio en un 88,7 %. Para terminar, el rendimiento del sistema mecánico del vehículo, transmisión y auxiliares, es entorno al 80 %.
- Con estos resultados, se puede comprobar la verdadera energía eléctrica que necesita un vehículo eléctrico para hacer 100 km. Es interesante ver que debido a las diferentes pérdidas del sistema, 12,65 kWh aplicados a las ruedas del vehículo necesitan hasta 32,80 kWh.
- Como vemos, la diferencia es verdaderamente ventajosa para el vehículo eléctrico, incluso comparándolo con los coches de

combustión más eficientes del mercado, estos tienen un gasto solo en combustible del orden de 2,5 – 3 veces más.

- Cabe destacar que los vehículos eléctricos, además de tener una gran capacidad para reducir las emisiones de CO₂, también tienen un papel positivo en la reducción de otros gases contaminantes, quizás menos conocidos, pero muy perjudiciales para la salud, como pueden ser las partículas en suspensión (PM) o los óxidos de nitrógeno (NO_x). Estos elementos llegan a producir en núcleos urbanos problemas respiratorios, irritaciones o incluso muertes prematuras. Según algunos estudios, la reducción de este tipo de compuestos evitaría de manera directa un mínimo de 800 muertes al año en cada una de las grandes ciudades.

CONCLUSIONES

Para las características topográficas de una ciudad con vías angostas y continuas irregularidades en el terreno se ha demostrado, durante 25 años de funcionamiento del sistema trolebus, que una propuesta de movilidad eléctrica, como el trolebus, aporta a la movilidad de la población y mejora las características medioambientales de convivencia.

El subsecuente fenómeno pico-petróleo hace que cada día más se vuelva escaso y costoso el empleo de combustibles fósiles, con el subsecuente impacto de huella de carbono que estos generan al ser utilizados. Por tal motivo, el transporte en base a energía eléctrica se constituye en una posible solución vanguardista y futurista para la movilidad urbana al rededor del planeta.

AGRADECIMIENTO

Los autores de este artículo quieren agradecer al Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), ya que el mismo fue elaborado en el marco del proyecto Red Iberoamericana de Transporte y Movilidad Urbana Sostenible (RITMUS, 718RT0566).

BIBLIOGRAFÍA

Alvarado Arias, F. (2016). “El Trolebús, una alternativa de transporte público que genera ciudades sustentables”. En: *13 Foro de Eficiencia Energética en el Transporte: e-Movilidad*.

- BloombergNEF (2019). *Electric Vehicle outlook 2019*. Inf. téc. BloombergNEF.
- Chauvin, J.P. (2007). *Conflicto y Gobierno Local: El Caso del Transporte Urbano en Quito*. 1.a ed. ABYA-YALA. isbn: 978-9978-67-113-9.
- Comercio, El (2019). *Las pruebas de buses eléctricos comenzarán la próxima semana*. url: <https://www.elcomercio.com/actualidad/pruebas-buses-electricos-quito-transporte.html>
- Demoraes, F. (2005). *Movilidad, elementos esenciales y riesgos en el distrito metropolitano de Quito*. Inf. téc. Colección Quito Metropolitano.
- Distrito Metropolitano de Quito, M.I. Municipio del (2018). *Informe de Gestión 2018*. Inf. téc. Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros.
- Distrito Metropolitano de Quito, Municipio del (2019). *Plano Sectorial de la Ciudad*. (Visitado 2019). Espinel, S. y M. Morales (2001). “Diseño eléctrico de la extensión norte del sistema trolebús del Distrito Metropolitano de Quito”. Proyecto de Titulación de Ingeniería.
- Fomento, Corporación Andina de (2010). *Observatorio de Movilidad Urbana para América Latina*. Ed. por Antonio J. Sosa. 1.a ed. Vol. 1. Panamericana Formas e Impresos S.A. isbn: 978-980-6810-54-9.
- Movilidad, Secretaría de (2014). *Diagnóstico de la movilidad en el distrito metropolitano de Quito para el Plan Metropolitano de desarrollo Territorial (PMOT)*. Inf. téc. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.
- OPS-OMS, CEPIS (2000). url: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/E/fulltext/lencuent/ecupre2.pdf> (visitado 2000).

Eficiencia e intensidad energética en Honduras, subsector eléctrico: Antecedentes y situación actual

Energy efficiency and energy intensity in Honduras, electrical subsector: Background and present situation

MARCO ANTONIO FLORES BARAHONA

Instituto de Investigación en Energía

Sección de Energía/Escuela de Física

Facultad de Ciencias

Universidad Nacional Autónoma de Honduras

marcoaflores@yahoo.com y marco.flores@unah.edu.hn

ORCID: [0000-0003-0203-5592](https://orcid.org/0000-0003-0203-5592)

Recibido: 15/07/2019. Aceptado: 15/11/2019.

Cómo citar: Flores Barahona, Marco Antonio (2019). “Eficiencia e intensidad energética en Honduras, subsector eléctrico: antecedentes y situación actual”, *TRIM*, 17: 93-109.

Este artículo está sujeto a una [licencia “Creative Commons Reconocimiento-No Comercial” \(CC-BY-NC\)](#).

DOI: <https://doi.org/10.24197/trim.17.2019.93-109>

Resumen: Se muestra el perfil del subsector eléctrico y eficiencia eléctrica en Honduras, se observa que, el Gobierno, no ha tenido el interés real en promover la eficiencia energética, elemento fundamental para el desarrollo sostenible. El estudio del comportamiento del subsector eléctrico, abarca el período 2000-2018. Se detallan proyectos nacionales, de eficiencia energética para el sector residencial y alumbrado público. Se detallan los objetivos de un documento de política energética que data de 2009, el que aún no está implementado. Mostramos el comportamiento de la intensidad energética nacional comparado con el regional.

Palabras clave: Eficiencia energética; intensidad energética; Producto Interno Bruto; Consumo de energía; generación.

Abstract: The profile of the electrical subsector and electrical efficiency in Honduras is shown, it is observed that the Government has not had the real interest in promoting energy efficiency, a fundamental element for sustainable development. The study of the behavior of the electrical subsector covers the period 2000-2018. National projects of energy efficiency for the residential sector and public lighting are detailed. The objectives of an energy policy document dating from 2009, which is not yet implemented, are detailed. We show the behavior of the national energy intensity compared to the regional one.

Keywords: Energy efficiency; energy intensity; Gross Domestic Product; Energy consumption; generation.

INTRODUCCIÓN

La energía ha jugado un papel fundamental desde la época prehistórica; por ejemplo, cuando la humanidad descubrió los usos del fuego para calentar los espacios y para la cocción de alimentos, le permitió un desarrollo superior de su capacidad intelectual. En la sociedad moderna, todas las actividades dependen por completo del adecuado acceso en cantidad y calidad a diversos tipos de energía.

En los países en desarrollo, como Honduras, que tratan de mejorar sustancialmente el nivel de vida de la población, el papel de la energía es fundamental, es imposible el desarrollo social, sin el suministro permanente de energía y a precios fijados de acuerdo a los costos de producción.

Según la Red Ambiental de Asturias, el 61.4% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs), están relacionadas con el sector energía (Red ambiental de Asturias, 2019), gracias a que los GEIs, son promotores del calentamiento global y del posible cambio climático, por lo que, con toda certeza, podemos afirmar que el consumo energético, particularmente los combustibles fósiles son los responsables del posible cambio climático; por lo que para mitigarlo, habría que reducir las emisiones de CO₂. En ese sentido, en el ámbito global, se incentiva el desarrollo de proyectos de generación eléctrica o de calor, con energía renovable, pero el consumo de energía en los países desarrollados, las fuentes de energía renovable no pueden cubrir la totalidad de la demanda de energía, por lo que la alternativa de solución más inteligente es consumir menores cantidades de energía, sin sacrificar la satisfacción de las necesidades, aspecto que es de alta rentabilidad y amigable con el ambiente. Para lograr lo anterior, es responsabilidad de los gobiernos, diseñar políticas energéticas de largo plazo de implementación inmediata, de corte sostenible y dinámicas.

1. EL SUBSECTOR ELÉCTRICO EN HONDURAS

Los primeros antecedentes de la energía eléctrica en Honduras datan de 1892, cuando se iniciaron las gestiones para desarrollar el alumbrado eléctrico en la capital del país, Tegucigalpa, mediante la Empresa Agua y Luz. También inició en la Rosario Mining Company, Public Utilities Corporation en San Pedro Sula, las compañías bananeras en La Lima, Progreso, Puerto Cortés, Tela y Ceiba (Cosenza, 2019). En 1894 surgió la

Empresa de Luz Eléctrica y Fuerza Motriz. En 1897, la Empresa Luz Eléctrica y en 1899, se fusionaron la Junta de Agua y Luz Eléctrica. Desde 1930, se hicieron estudios de proyectos hidroeléctricos en El Paraíso y Valle de Ángeles, posteriormente las centrales hidroeléctricas de cobertura nacional: Cañaveral y Río Lindo (Andara, C., 2004).

La Empresa Nacional de Energía Eléctrica fue creada el 20 de febrero de 1957, mediante el Decreto No. 48 de la Junta Militar de Gobierno, empresa verticalmente integrada (ENEE, 2015). En 1994, se aprobó la Ley Marco del Subsector Eléctrico (Decreto 158-94) que regula la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica, permitiendo la participación de la empresa privada en el mercado eléctrico nacional, también, se creó la Comisión Nacional de Energía, la que posteriormente, se transformó en la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE).

En 1985 entró en operación la Central Hidroeléctrica Francisco Morazán, mejor conocida como El Cajón, con una capacidad instalada de 300 MW, la que ha sido la hidroeléctrica más grande en el país.

En mayo de 2014, se derogó la Ley Marco del Subsector Eléctrico y mediante Decreto Legislativo 404-2013, se aprobó la Ley General de la Industria Eléctrica, cuyo objetivo es regular las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio de la Republica de Honduras; la importación y exportación de energía eléctrica, en forma complementaria a lo establecido en los tratados internacionales sobre la materia, celebrados por el Gobierno de la Republica; y, la operación del sistema eléctrico nacional, incluyendo su relación con los sistemas eléctricos de los países vecinos, así como con el sistema eléctrico y el mercado eléctrico regional centroamericano. También se transformó la CNEE en la Comisión Reguladora de Energía Eléctrica (CREE).

En agosto de 2013, se reformó el Decreto 70-2007, Ley de Incentivos a la Generación Eléctrica con Recursos Renovables, mediante el Decreto 138-2013, el cual promueve la inversión en plantas de generación solar fotovoltaica, al otorgar un precio extra de tres centavos de dólar sobre el Costo Marginal de Corto plazo, a los proyectos solares fotovoltaicos que cumplieran con lo indicado en el Decreto.

En marzo de 2017, mediante Decreto Presidencial en Consejo de Ministros, PCM-017-2017, se creó el Consejo Nacional de Energía, cuya función principal es actuar como órgano de articulación estratégica y coordinación intersectorial sobre asuntos energéticos o actividades

conexas en el país, mediante la definición de políticas, normas y estrategias en materia de energía.

Honduras, es el país centroamericano con mayor porcentaje de pérdidas eléctricas. Según la CEPAL, en el año 2013, Honduras presentó el mayor nivel de pérdidas de Centroamérica con un 31.2%, Costa Rica presentó el menor porcentaje de pérdidas con 11.6% y el promedio para la región fue de 17.1%. Según el Departamento de Planificación de ENEE, al cierre de 2018, las pérdidas fueron de 41.1% (Heraldo, 2019). A pesar que desde agosto de 2016, el consorcio privado Empresa Energía Honduras (EEH) opera el sistema de distribución eléctrica, a pesar que, actuarialmente, existe el compromiso de reducir en 17% las pérdidas, 3 años después, aún no hay evidencias del cumplimiento de esa meta.

El sector energía en Honduras, históricamente ha estado disperso en diversas instituciones estatales. Hasta 1996, que mediante Decreto 218-96 se creó la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), al interior de la cual, hubo dos subsecretarías, entre ellas la de Recursos Naturales y Energía, donde funcionó la Dirección General de Energía (DGE), responsable de promover la producción nacional de energía de fuentes renovables, desarrollo de estudios básicos de energía renovable, administrar con otras instituciones públicas el sistema nacional de información energética y promover la participación del sector privado en la generación de energía con fuentes renovables (SERNA, 2015).

En 2009, DGE, propuso la creación del ente rector del sector energía, la Secretaría de Energía (SEN), misma que fue creada mediante Decreto Ejecutivo Número PCM-048-2017 en agosto de 2017, iniciando funciones en 2019. SEN cuenta con la Subsecretaría de Energía Renovable y Electricidad y la Subsecretaría de Hidrocarburos, siendo SEN, el ente rector de todo el sector energético nacional y de la integración energética regional e internacional. SEN también tendrá entre sus funciones la formulación, planificación, coordinación, ejecución, seguimiento y evaluación de las estrategias y políticas del sector energético hondureño. La Subsecretaría de Energía Renovable y Electricidad, cuenta con la Dirección General de Energía Renovable y Eficiencia Energética; y, la Dirección General de Electricidad y Mercados Eléctricos.

1.1. Antecedentes de la eficiencia energética en Honduras

En 1997, la DGE inició el primer proyecto, de alcance nacional, en eficiencia energética, logrando cambiar lámparas incandescentes por

lámparas fluorescentes compactas, mediante un mecanismo de adquisición, para el usuario, de pago al crédito de acuerdo a la energía ahorrada en un período determinado. En 2007, la Dirección General de Energía, diseñó un proyecto de reemplazo de 6 millones de lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas, a un costo de 10.2 millones de dólares, que logró reducir el promedio punta de demanda de la tarde en 43.1 MW y un ahorro en energía de aproximadamente 210 GWh/año, proyecto que fue implementado por La Empresa Nacional de Energía Eléctrica, al cual se le denominó Cambia un foco y ahorra un poco.

La Empresa Nacional de Energía Eléctrica, en 2018, inició el proyecto Honduras Brilla, mediante el cual se cambiaron 100 mil lámparas de alumbrado público con tecnología de vapor de sodio y mercurio por lámparas LED, con el cual, se logró una disminución en la demanda de potencia de 6.61 MW y un ahorro anual de energía de 28.95 GWh.

En 2006, la Dirección General de Energía de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), inició el desarrollo de una propuesta de política energética e implementación de proyectos de eficiencia energética de cobertura nacional, elaborando un diagnóstico de la eficiencia energética en el país y la posterior formulación de la Política Energética.

En 2007, DGE, elaboró un anteproyecto de Ley de Uso Racional de la Energía (Ley URE), el que se socializó con diversos actores del sector, posteriormente SERNA, por los canales exigidos, lo envió al Congreso Nacional (CN), donde debería ser dictaminado por una de las dos comisiones de energía que el Congreso tiene; sin embargo, el Anteproyecto de Ley, no fue dictaminado, por lo tanto, no llegó al Pleno de CN para su discusión y aprobación. En 2012, el Programa Energía Renovable y Eficiencia Energética en Centro América (4E) de la Cooperación Alemana (GIZ) contrató para SERNA; los servicios de un consultor para revisar y actualizar el Anteproyecto de Ley de 2007, mismo que fue socializado en dos ocasiones, para finalmente, nuevamente SERNA, lo enviara al Congreso, Anteproyecto que sufrió la misma suerte que el anterior. Actualmente, SEN, con el financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo, con un equipo de consultores, está en el proceso de elaboración de un nuevo anteproyecto de ley de eficiencia energética, llamado Ley de Uso Racional de la Energía Eléctrica, el cual está enfocado únicamente a la eficiencia en el subsector eléctrico, en cambio, los anteriores incluían el uso eficiente de los derivados del petróleo.

Los anteproyecto de Ley URE, han propuesto que las normas de eficiencia energética vigentes en Honduras, las que, por definición, no pueden ser obligatorias, sean obligatorias, vía reglamentos.

1.2. Normas de eficiencia energética

El Organismo Hondureño de Normalización (OHN) es, por ley, el organismo público de normalización en Honduras, el cual ha adoptado y/o aprobado, al menos quince (15) normas relacionadas con la eficiencia energética. Las normas hondureñas de eficiencia energética se han centrado en la refrigeración, climatización, lámparas fluorescentes compactas y motores.

2. POLÍTICA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Durante el período 2006-2010, la Dirección General de Energía (DGE), priorizó el establecimiento del marco legal, los proyectos de impacto nacional y el establecimiento de una política de eficiencia energética (Flores W. , Flores, Marco, Oswaldo Ojeda, & Francisco Rivas, 2011) . Para la elaboración de la política energética, se utilizó la Guía de Energía, Política y Desarrollo de OLADE – GTZ (CEPAL, OLADE, GTZ, 2003). El documento de política, fue elaborado por consultores nacionales. Los objetivos generales de la política energética son los siguientes (SERNA, 2010) :

1. Crear una institución que lidere, facilite, promueva y coordine las actividades de formulación de políticas y planificación energética nacional integral y adecuar los marcos legales de modo compatible con el desarrollo del sector energético y del país en su conjunto.

2. Alcanzar bajo un enfoque integral, una mayor participación de los recursos energéticos renovables dentro del balance energético y articular un sistema para la promoción de la eficiencia y uso racional de la energía, reduciendo así la dependencia de los combustibles importados, incrementando considerablemente la participación de generación de electricidad a partir de fuentes renovables y mejorando la sustentabilidad del abastecimiento a largo plazo y de los propios recursos.

3. Asegurar el abastecimiento de hidrocarburos con calidad y diversidad de fuentes, garantizando el desarrollo sostenible, tomando en cuenta la equidad social, la gobernabilidad y el impacto al ambiente.

4. Lograr avances significativos en el acceso de la población rural y urbano-marginal a la energía, en especial la electricidad, en el marco de estrategias de desarrollo integrado de actividades productivas y de la infraestructura social básica, además de alcanzar una importante mejora en el uso eficiente de la leña, elevando la calidad de vida, al mismo tiempo que la sustentabilidad del abastecimiento dendroenergético.

5. Lograr alcanzar, bajo un enfoque integral, una gestión adecuada del sistema de transporte, tanto en el sector público como en el privado, mejorando los sistemas de vialidad, introduciendo medidas de eficiencia y control en el consumo de combustibles y de las emisiones.

Como objetivos específicos para la eficiencia energética son los siguientes:

1. Estructurar un marco legal e institucional adecuado, un sistema de información energética suficiente, así como las normas técnicas que promuevan el ahorro y la eficiencia energética.

2. Lograr la formación y asistencia técnica necesaria para la implementación de proyectos en eficiencia energética que permiten la existencia de un mercado nacional de eficiencia energética.

3. Lograr alcanzar la percepción de los beneficios de la implementación de las medidas, tecnologías, programas y proyectos de ahorro de energía y eficiencia energética.

4. Facilitar y promover el acceso a financiamiento blando para el desarrollo de proyectos de eficiencia energética.

5. Lograr mejorar la eficiencia en el uso de la leña como el principal combustible en el sector residencial rural y urbano-marginal.

6. Mejorar el servicio del transporte público y la gestión del ordenamiento y mantenimiento vial, promover la renovación de la flota vehicular y avanzar hacia el uso alternativo de combustibles producidos nacionalmente.

3. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS

En mayo de 2019, el Consejo Universitario, a solicitud de la Facultad de Ciencias, aprobó la creación del Instituto de Investigación en Energía (IIE), el que, tiene como objetivo general, establecer la plataforma para fortalecer la investigación y capacitación en el contexto energético nacional, ofreciendo alternativas de solución al reto que plantea el ritmo actual de consumo de la energía y el desarrollo sostenible.

El IIE, en el contexto de la eficiencia energética, tiene incluido un programa de eficiencia energética, que incluye líneas de investigación para aplicaciones en los sectores industrial, terciario y residencial; campañas de uso racional de la energía, auditorías energéticas, entre otras.

4. ECONOMÍA Y ENERGÍA

El crecimiento económico tiene una íntima relación con el consumo energético, a mayor poder adquisitivo mayor consumo de energía comercial. Considerando el año 2000 como referencia, observamos la correspondencia entre el Producto Interno Bruto (PIB) y el consumo final de energía. En la Figura 1, se muestra que el crecimiento del PIB ha tenido un crecimiento lineal; sin embargo, en los años 2009 y 2013, la tasa de crecimiento del PIB se redujo (CEPAL, 2018). Al relacionar el PIB con acontecimientos político en Honduras, vemos que, la baja del PIB en el año 2009, coincide con el golpe de estado de ese año.

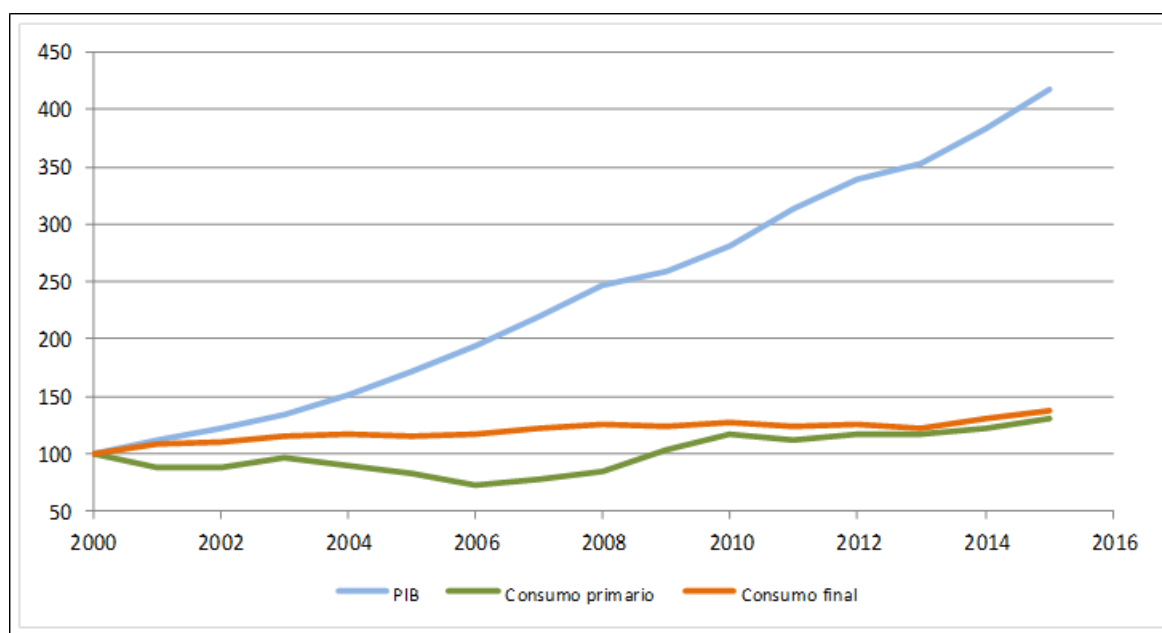


Figura 1. Crecimiento porcentual del Producto Interno Bruto y del Consumo Final de Energía

5. OFERTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La Figura 2, nos muestra la evolución histórica de la capacidad instalada en Honduras en MW, desde 1967 a 2016 (Flores M. & Martínez, L, 2016), donde observamos, a partir de 1994, el efecto de la Ley Marco del Subsector Eléctrico (Decreto 158-94), el que permitió a la empresa

privada la entrada al negocio de la generación de energía eléctrica, o privatización del subsector eléctrico.

En 1994, Honduras sufrió una profunda crisis del subsector eléctrico, con cortes de energía eléctrica de hasta 14 horas por día durante varios meses, crisis que fue creada a raíz de que ENEE, por falta de financiamiento, tuvo que abandonar todos sus proyectos de generación eléctrica con energía renovable, gracias a la política de los organismos internacionales de crédito, del no financiamiento de proyectos de infraestructura energética a los países en desarrollo.

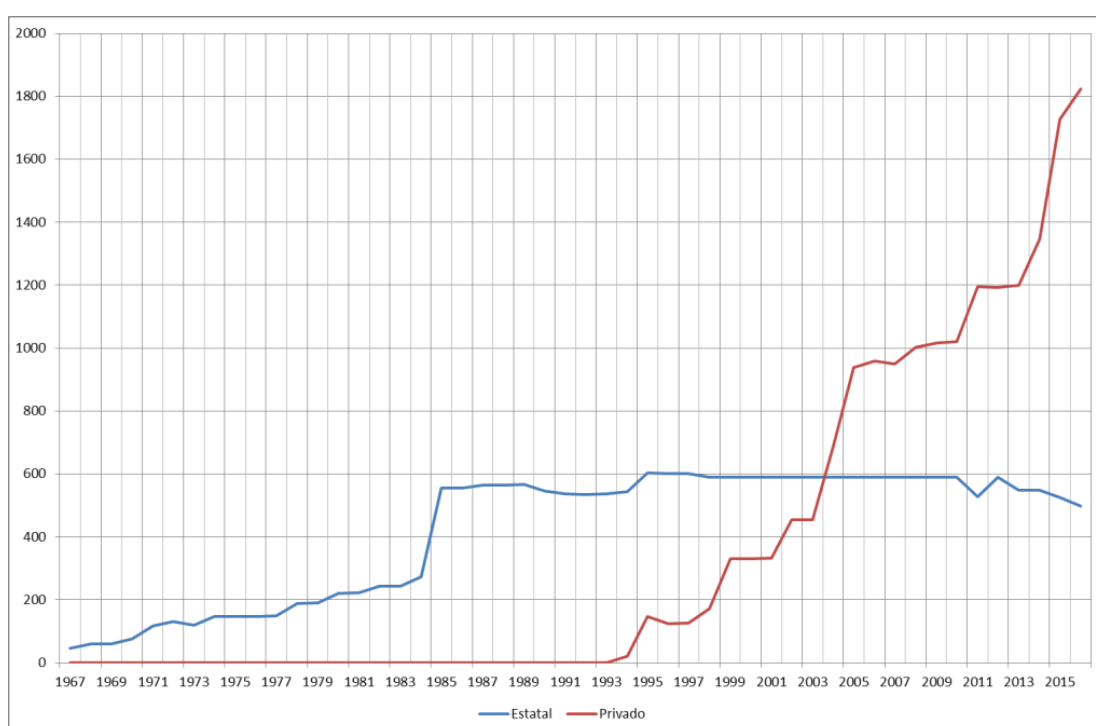


Figura 2. Generación eléctrica estatal y privada (MW)

En La Figura 3, se muestra la evolución de la participación de la iniciativa privada en la matriz eléctrica. La generación de la iniciativa privada en 1994 se inició con motores Diésel (20,5 MW) y una hidroeléctrica (0,8 MW). En 2007, en el marco de la Ley de Incentivos a la Generación Eléctrica con Energía Renovable (Decreto 70-2007), se incrementó la generación en los ingenios azucareros con 1,5MW (CEPAL, 2018).

La entrada en vigor del Decreto 70-2007, que sustituyó a los decretos 85-98 y 131-98, otorgó mayores beneficios económicos y exoneraciones de impuestos, a los inversionistas en proyectos de generación eléctrica con

energía renovable. Los efectos de la Ley comienzan a observarse a partir de 2008, en la generación eléctrica en ingenios azucareros y las hidroeléctricas. La generación eólica se inició a finales de 2011 con 102 MW, con un incremento a 152 MW en 2014.

La evolución de la capacidad instalada nacional en megavatios desde 1967 a diciembre de 2018, asciende a 2,682.36 MW. La Gráfica 4, nos muestra la capacidad instalada en MW hasta diciembre de 2018.

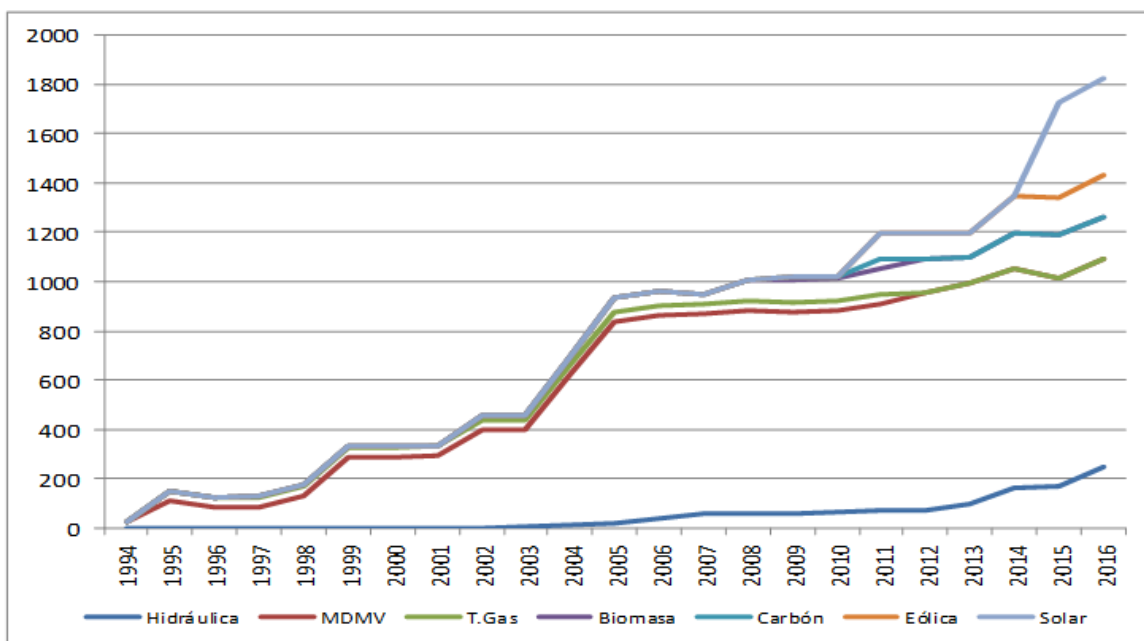


Figura 3. Evolución de la participación privada en el sistema eléctrico hondureño (MW)

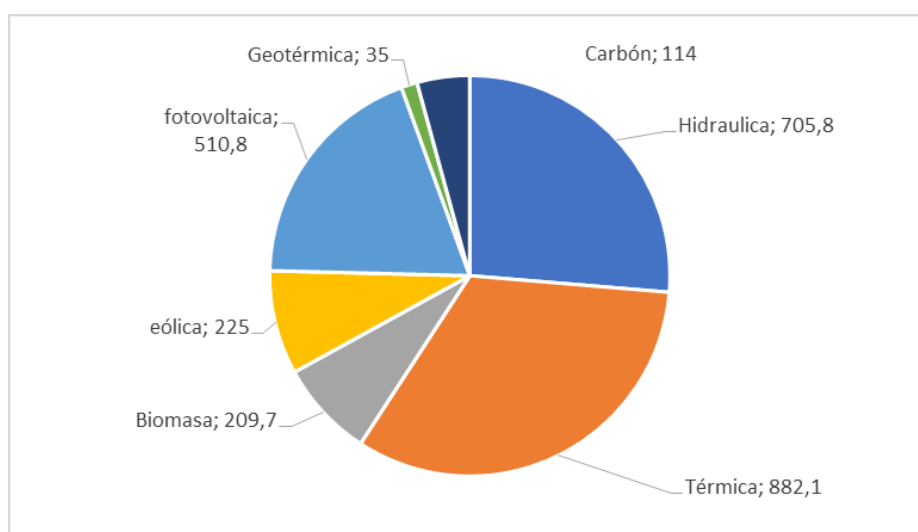


Figura 4. Capacidad instalada en MW, hasta diciembre de 2018

Hasta diciembre de 2018, la capacidad instalada de generación eléctrica con energía renovable era de 62.9% y no renovable de 37.1% y la generación eléctrica con energía renovable, a pesar de su intermitencia es del 63.3% y la no renovable es del 36.7% (ENEE, 2018).

La generación eléctrica en Honduras, hasta diciembre de 2018, estaba distribuida así: termoeléctrica no renovable, 36.7%; hidroeléctrica, 33.3%; solar fotovoltaica, 10.0%; eólica, 9.4%, biomasa 7.0% geotérmica 3.0% e importación 0.7%.

6. CONSUMO NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El consumo de energía eléctrica en Honduras tiene una importante tendencia al alza en el período 2001-2016. El consumo total de energía creció en un 74%, mientras que las tasas de crecimiento por subsector, para ese mismo período son residencial (60%), comercial (103,5%), industrial (20%), altos consumidores (161%), alumbrado público (52%), gobierno (85%), entes autónomos (36%) y municipal (74%). En promedio, el incremento del consumo general de energía eléctrica es del 85%. El consumo de energía eléctrica por sectores, para el año 2018, se distribuyó así: Residencial, 39.38%; comercial, 26.8%; industrial 12.6%; altos consumidores, 10.4%; alumbrado público, 4.2%, Gobierno, 2.4%; entes autónomos, 2.3%; municipal, 1.3% y ventas internacionales 0.1% (CEPAL, 2018).

7. INTENSIDAD ENERGÉTICA

La energía necesaria para producir una determinada cantidad de riqueza es un concepto económico, conocido como intensidad energética (IE), es por ello que, la IE es un indicador de eficiencia energética en un país, una región, o en el ámbito planetario y es determinada a partir del cociente del consumo energético y el PIB. Si la intensidad energética es alta, nos indica un alto costo de conversión de energía en riqueza, esto es, un mayor consumo de energía para un PIB menor. Si la intensidad energética es baja, es indicativo de un bajo consumo de energía para producir riqueza.

En la Figura 5, se muestra las variaciones de la intensidad energética primaria y final del 2000 al 2015, en toneladas equivalentes de petróleo (tep) por lempiras del 2000 (CEPAL, 2017), en donde observamos que las líneas de tendencia de la IE, tienen una tendencia a la baja, lo que nos

indica, que en Honduras, se está siendo más eficiente en el uso de la energía. El comportamiento de la IE, podría ser influido, por el aumento en la generación eléctrica con energía renovable (CEPAL, 2018).

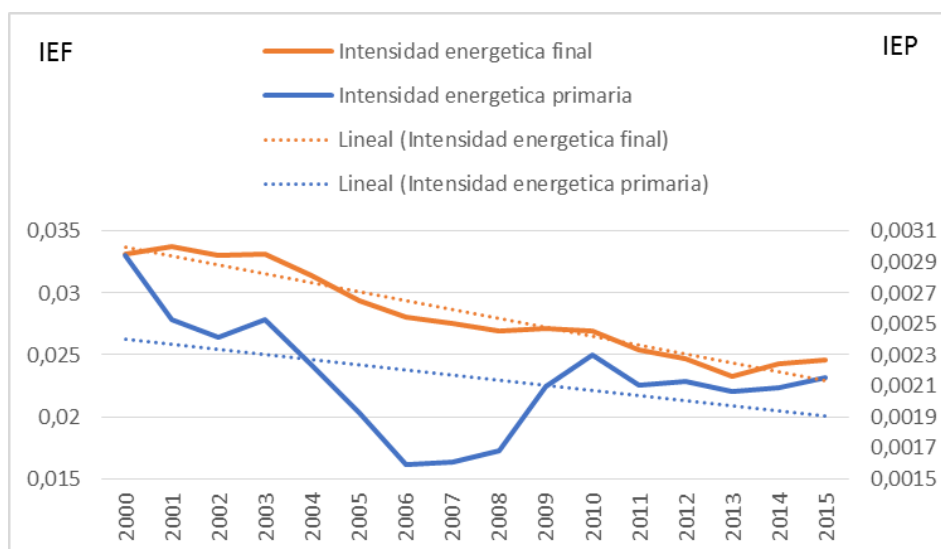


Figura 5. Evolución de la intensidad energética primaria y final

La intensidad energética de Honduras con respecto a todos los países de Centro América, es la más alta, aspecto que nos resta competitividad frente a los demás países de región y nos indica que en Honduras, se hace un uso deficiente de la energía. El promedio centroamericano de intensidad energética para el 2015, fue de 1.07 bep/1,000 US\$ del año 2010 y en Honduras, para ese mismo año, la IE, fue de 1.93 bep/1,000 US\$ del año 2010 (OLADE, 2017). El Gráfico 6, nos muestra lo indicado en este párrafo.

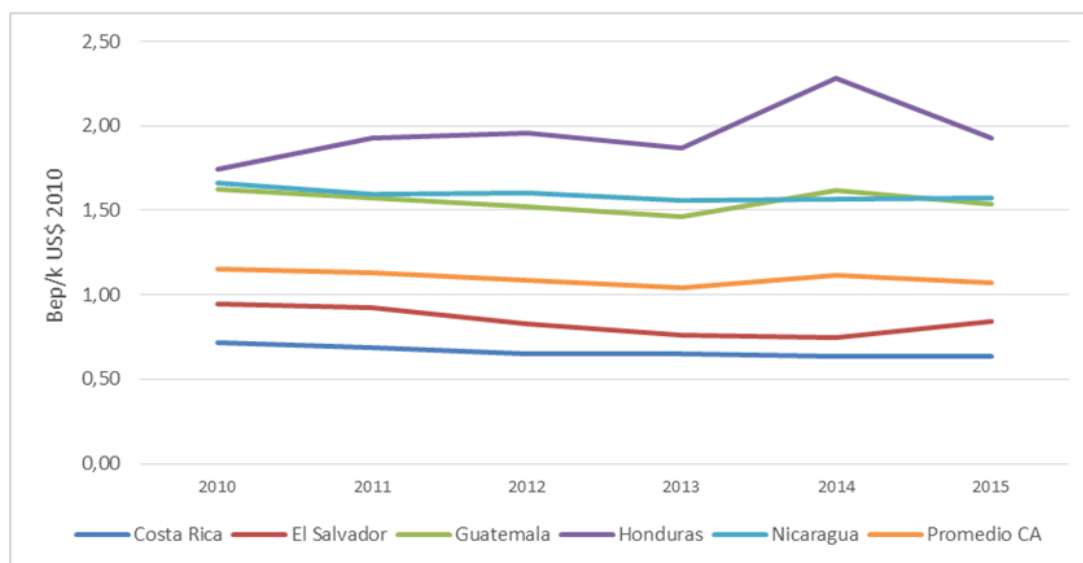


Figura 6. Intensidad energética en Centro América en bep/1,000 US\$ de 2010

8. POTENCIAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Para predecir el éxito de una política energética, es necesario definir prioridades de inversión e incentivar esas líneas de posible inversión por parte de los inversores. Es importante indicar que el término incentivar, no debe exclusivamente la exoneración de impuestos, pueden ser capacitaciones, campañas de concientización. El solo hecho de reducir la factura energética es el más importante incentivo.

Para determinar el potencial de eficiencia energética, se deben construir escenarios de la demanda de energía por cada segmento consumidor; por ejemplo, considerar la matriz energética actual y las emisiones de gases de efecto invernadero; y, su proyección a un futuro previamente definido por una política energética o por un plan de expansión. Los escenarios pueden ser técnicos, económicos y de mercado (Secretaría de Energía, 2011):

- Escenario técnico: Considera el potencial de la implantación de las alternativas posibles sin restricciones económicas (límite tecnológico).
- Escenario económico: Potencial que considera las alternativas técnicamente viables más una evaluación económica.
- Escenario de mercado: Potencial que considera las alternativas viables técnica y económicamente más las particularidades de los sectores de consumo.

Cada escenario, puede ser analizado desde las típicas ópticas, la pesimista, la esperada y la optimista. Usualmente los sectores a analizar para implementar programas de eficiencia energética (EE) son: Industrial, agrícola, comercial, residencial y público, luego al interior de cada uno de esos, identificar el de mayor efecto en un programa de eficiencia energética; por ejemplo, en Honduras, el sector residencial es el de mayor consumo, en 2016, consumió el 39.7% de la energía vendida por ENEE, por lo que, un buen programa de EE podría estar dirigido al sector residencial; ahora bien, en ese sector qué tecnología podríamos implementar, también tendríamos que considerar el escenario económico, lo que lo convierte en un escenario de mercado. Ese análisis, fue el que en 2006, la Dirección General de Energía de SERNA, realizó para definir el segundo programa de EE con impacto nacional, el que con fondos de la Cuenta del Caribe, a un costo de 10.2 millones de dólares, logró el reemplazo de 6 millones de bombillos incandescentes por lámparas fluorescentes compactas, el que permitió, en el segundo pico de consumo

de energía eléctrica, la reducción del promedio punta de demanda de potencia en 43.1 MW y el ahorro en energía de 210 GWh/año (CEPAL, 2018).

En Honduras, para determinar el potencial de expansión de tecnologías eficientes en Centro América (2019-2030), 4E-GIZ, considera cuatro indicadores: El parámetro de la tecnología, el de la rentabilidad de la inversión, el impacto ambiental y las normativas existentes (GIZ, Programa Energía Renovable y Eficiencia Energética en Centroamérica, 2019).

En Honduras, existen importantes condiciones favorables para el cambio la tecnología de iluminación en todos los sectores de consumo. En lo referente al aire acondicionado, existen condiciones favorables para el uso de tecnologías eficientes de climatización como los autocontenidos y los Split. Para la refrigeración, también existen condiciones favorables para implementar equipo de alta eficiencia en el sector residencial y comercial, con el inconveniente que no existe normativa para este equipo, siendo moderado el retorno de la inversión. Sobre la edificación bioclimática, gracias a los retornos de ciclo de vida bastante bajos, no es una buena alternativa (GIZ, Programa Energía Renovable y Eficiencia Energética en Centroamérica, 2019). En referencia a la movilidad eléctrica, aunque la tecnología esté totalmente desarrollada y su implementación implicaría menor contaminación en los centros urbanos y que, según el Inventario de emisiones y sumideros de gases de efecto invernadero de Honduras 1995, para el sector energía, el transporte terrestre, es el responsable de emitir el 77% del CO₂ (SERNA, 2000), por lo que, con la movilidad eléctrica, abría una importante reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, si los vehículos fueran cargados con energía renovable; además de que, representan , para el usuario, un gasto menor en energía eléctrica, comparado con el gasto en los derivados del petróleo; en el mediano plazo, no creemos posible que se logre la llegada al país de vehículos eléctricos, ya que actualmente, es un problema su introducción al país con el contexto actual de identificación del vehículo de acuerdo a la cilindrada, entre otras dificultades, por lo que sería necesario la creación del marco legal relacionado a ese tipo de automóvil. Sabiendo, que el Gobierno de Honduras, percibe alrededor del 30% de la factura de combustibles, a menos que logren otra fuente de financiamiento del presupuesto nacional, sería prácticamente imposible, la entrada masiva al país de vehículos eléctricos.

CONCLUSIONES

En lo referente al marco legal de la eficiencia energética en Honduras; a pesar que la Dirección General de Energía de SERNA elaboró dos anteproyectos de Ley de Uso Racional de la Energía, en 1997 y 2012, aún no existe ese necesario marco legal para incentivar la inversión en EE, los anteproyectos de ley, han permanecido en el Congreso Nacional, sin ser aprobados, lo que es un claro indicativo, que la eficiencia energética, no ha sido una prioridad para el Gobierno Central, ni para el Congreso Nacional.

Actualmente no existen proyectos de impacto nacional de eficiencia energética, por lo que, es importante revivir las campañas de educación en eficiencia energética y lograr formular y desarrollar nuevos proyectos de cobertura nacional, con tecnología de alta eficiencia energética, que logren reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero.

En 2007, se inició y culminó en 2009 el documento de Política Energética, mismo que incluye el Diagnóstico de Eficiencia Energética, trabajos que fueron realizados por técnicos nacionales con amplia experiencia en el tema, por lo que sería importante implementar las recomendaciones indicadas en ambos documentos técnicos.

La intensidad energética en Honduras es la más alta de la región, indicador económico-energético que inexorablemente, nos indica que, en Honduras no existe un uso racional de la energía, aspecto que nos resta competitividad, en el sentido de que en nuestro país, la producción de riqueza tiene un alto costo económico.

Las normativas existentes en el país, no cubren la cantidad mínima de normas para equipo eficiente que se requiere para programas masivos de EE.

Los costos de la generación eléctrica con energía renovable, seguirán siendo altos mientras no exista un mercado de oportunidades (spot) en el país y el Gobierno continúe con procesos de compra directa, sin el legal y exigido proceso de licitaciones.

AGRADECIMIENTO

Los autores de este artículo quieren agradecer al Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), ya

que el mismo fue elaborado en el marco del proyecto Red Iberoamericana de Transporte y Movilidad Urbana Sostenible (RITMUS, 718RT0566).

BIBLIOGRAFÍA

Andara, Leslie Carolina (2004), *Historia de la Energía en Honduras*, Tegucigalpa.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL (2017), *Base de Indicadores de Eficiencia Energética (BIEE)*, Tegucigalpa: Publicación de las Naciones Unidas.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL (2018), *Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energética de Honduras*, México: Publicación de las Naciones Unidas.

Cosenza Jiménez, Luis (2019), *El Subsector Eléctrico en Honduras, ¿De dónde viene, donde está y hacia dónde va?*, Memorias del Foro el Subsector Eléctrico en Honduras. Tegucigalpa.

Empresa Nacional de Energía ENEE (2015), *Historia de la ENEE*, en <http://www.enee.hn/index.php/empresa/86-historia>

Empresa Nacional de Energía ENEE (2018), *Boletín de Datos Estadísticos*, diciembre de 2018, Tegucigalpa: ENEE, en <http://www.enee.hn/planificacion/2019/Junio/Boletin%20Estadistico%20Abril%202019.pdf>

Flores Barahona, Marco Antonio; Martínez, Leslie Johana (2016), *Mi Cuaderno de Energía y Cambio Climático*, Tegucigalpa: EDITEX.

Flores, Wilfredo; Ojeda, Oswaldo; Flores Barahona, Marco Antonio; Rivas, Francisco (2011), "Sustainable energy policy in Honduras: Diagnosis and challenges". *Energy Policy*, 39, pp. 551-562, en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421510007718>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.10.020>

GIZ, Programa Energía Renovable y Eficiencia Energética en Centroamérica. (2019). Potencial de expansión de tecnologías eficientes en Centroamérica (2019-2030). Tegucigalpa.

El Heraldo (2019), Las pérdidas eléctricas de la ENEE crecen al 41.1 por ciento (07/03/2019).

OLADE (2017), OLADE, Obtenido de SIEE, América latina y el caribe, en <http://sier.olade.org/consultas/sistema-numerico.aspx?ss=2> (01/07/2017)

Red ambiental de Asturias, en <https://www.asturias.es/medioambiente/articulos/ficheros/Emisiones%20Mundiales%20de%20Gases%20de%20efecto%20invernadero.pdf>. (6/06/2019).

Secretaría de Energía (2011), Estudio do potencial de mercado para gestão de demanda e eficiência energética no estado de são paulo, Sao Paulo: Secretaria de Energia.

Serna, Hidalgo (2000), Inventario de Emisiones y Sumideros de Gases de Efecto Invernadero de Honduras 1995. Tegucigalpa: Publicación de las Naciones Unidas.

Serna, Hidalgo (2010), Política Energética y Plan Energético Nacional al 2030, Tegucigalpa.

Serna, Hidalgo (2015), Historia de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente. Obtenido de Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, en <https://portalunico.iaip.gob.hn/archivos/SERNA/Estructura/Funciones/2015/Historia%20Secretaria%20de%20Recursos%20Naturales%20y%20Ambiente.pdf> (01/03/2018).

Usabilidad, impactos ambientales y costos de los vehículos de combustión interna y eléctricos

Usability, environmental impacts and costs of internal combustion vehicles and electric vehicles

RENATO ANDARA

Estudiante del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería mención Productividad de la Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, Barquisimeto, Venezuela, Parque Tecnológico, 3001

randara@unexpo.edu.ve

ORCID: 0000-0002-6706-1567

Recibido: 15/07/2019. Aceptado: 15/11/2019.

Cómo citar: Andara, Renato (2020). “Usabilidad, impactos ambientales y costos de los vehículos de combustión interna y eléctricos”, *TRIM*, 17: 111-125.

Este artículo está sujeto a una [licencia “Creative Commons Reconocimiento-No Comercial” \(CC-BY-NC\)](#).

DOI: <https://doi.org/10.24197/trim.17.2019.111-125>

Resumen: Se realiza una revisión de la usabilidad, impactos ambientales y costos que han reportado en investigaciones previas sobre el uso de los vehículos de motor de combustión interna, eléctrico a baterías e híbridos. Inicialmente se revisa su desarrollo y evaluaciones hechas por distintos grupos de investigadores. Puede observarse como en el tiempo se van añadiendo ventajas al uso de los vehículos eléctricos sobre los de combustión interna. En cuanto a los vehículos de combustión interna se observan ventajas en el uso de diésel con respecto a la gasolina.

Palabras clave: Cambio climático, impacto ambiental, usabilidad, vehículo de combustión interna, vehículo eléctrico a batería, vehículo híbrido.

Abstract: A review of the usability, environmental impacts and costs that have been reported in previous research on the use of vehicles of the internal combustion engine, electric batteries and hybrids is carried out. Initially, its development and evaluations made by different groups of researchers are reviewed. It can be seen how over time advantages are added to the use of electric vehicles over internal combustion. As regards internal combustion vehicles, advantages are observed in the use of diesel with respect to gasoline.

Keywords: climate change, environmental impacts, usability, internal combustion vehicle, battery electric vehicle, hybrid vehicle.

INTRODUCCIÓN

Los vehículos tienen una presencia importante en las actividades humanas, según Sperling y Gordon (2009) “hoy en día hay más de mil millones de vehículos en el mundo y, dentro de 20 años, el número se duplicará, en gran parte como consecuencia del crecimiento explosivo de China e India” (Traducción libre del autor). Un alto porcentaje de estos vehículos son de combustión interna y parece que esa tendencia se mantendrá, de acuerdo a Mayersohn (2017), del New York Times, en la entrevista realiza a John Heywood, profesor de ingeniería mecánica en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT). Este predice que en 2050, el 60% de los vehículos livianos todavía tendrán motores de combustión que, a menudo, trabajaran con sistemas híbridos y estarán equipados con un turbocompresor. Adicionalmente, estima que los vehículos eléctricos a baterías representarán el 15% de las ventas.

Actualmente en el mercado existen vehículos de pasajeros con motores de combustión interna, eléctrico a baterías e híbrido. A su vez, los de combustión interna existen en base a diésel o gasolina. El híbrido posee dos (2) motores, uno de combustión y otro eléctrico a batería, que se recarga con el movimiento del vehículo, a diferencia del eléctrico que lo hace a través de estaciones de carga. La eficiencia de un motor depende del ciclo termodinámico elegido, los parámetros de funcionamiento (relación de compresión) y las pérdidas térmicas, mecánicas (de fricción) y de flujo (de admisión y de escape), así como las debidas a los accesorios necesarios para su funcionamiento, el ventilador de refrigeración, alternador, compresor de aire acondicionado y las bombas de inyección (en el caso del diésel), refrigeración y aceite, entre otros accesorios (Aversa et al., 2017). Sin embargo, la eficiencia del vehículo está asociada con su usabilidad, según la norma ISO-9421 (2018). Adicionalmente, los costos de inversión y de mantenimiento y las emisiones de CO₂ y otros efectos ambientales, han impulsado la tendencia al uso de tecnologías de vehículos eléctricos e híbridos sobre los de combustión.

La tendencia del uso de vehículos que incluyan motores eléctricos sobre el tradicional de combustión se ha visto reflejada en los trabajos de diversos investigadores de manera cronológica. En este sentido, el presente artículo se realiza una revisión de la usabilidad, beneficios para el medio ambiente y costos que han reportado estas investigaciones sobre el uso de los vehículos. El mismo se encuentra estructurado en las

secciones dedicadas a describir el procedimiento utilizado para realizar la comparación, una breve reseña sobre la tecnología de los motores de combustión y eléctrico utilizados en los vehículos hasta presentar, de manera cronológica, los resultados de las investigaciones realizadas en este tema. Finalmente, se incluye un resumen en cuanto a los aspectos de usabilidad, impactos ambientales y costos de estos vehículos.

1. PROCEDIMIENTO

Se revisa la literatura existente sobre los orígenes de las tecnologías de vehículos de combustión interna y eléctrico a baterías, así como los diferentes modelos que existen entre ambas clasificaciones. Seguidamente se verifica cómo funcionan y ventajas y desventajas que presentan los distintos autores al explicar la tecnología. Finalmente, se revisan estudios comparativos entre los distintos tipos de vehículos, en especial aquellos donde hay un uso en un período de tiempo o un acercamiento a sus usuarios. Entendiendo el concepto de usabilidad de acuerdo a la norma ISO-9241 (International Standards Organization, 2018) que la define como el grado en que un sistema, producto o servicio puede ser utilizado por determinados usuarios para conseguir objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso.

2. RESULTADOS

De acuerdo a Teodorović & Janić (2017), con respecto al tipo de combustible/energía utilizada, los vehículos de pasajeros generalmente se clasifican en tres (3) categorías:

1. Vehículo convencional de motor de combustión interna (MCI) que usa gasolina o diésel.
2. Vehículo eléctrico de batería propulsado por motores eléctricos. Éste utiliza la energía eléctrica almacenada en las baterías a bordo que se recargan en la red eléctrica (en casa, en la calle o en estaciones de carga).
3. Vehículo híbrido alimentado por gasolina convencional o diésel para MCI. Además, cuenta con un motor eléctrico que utiliza energía de las baterías a bordo y que se recargan al usar el motor de combustión interna.

2.1. Motor de combustión interna y el Eléctrico

El MCI es aquel que la mezcla carburante se quema dentro del cilindro para producir el trabajo mecánico. La energía primaria es química, la cual está contenida en forma potencial en el combustible. La ignición del combustible y del aire se origina por una chispa eléctrica en el motores a gasolina y por autoignición en los diésel (Gilardi, 1985). Estos tienen su origen en el año de 1859, de la mano de Joseph Etienne Lenoir, quien diseña el primer MCI, de un solo pistón y tiempo, con combustión a ambos lados del pistón. Era movido por gas de carbón mezclado por aire. A partir de allí, Nikolaus August Otto en 1876 construye el primer motor de cuatro (4) tiempos, mientras que entre 1893 y 1898 el ingeniero alemán Rudolpf Diesel fabrica el motor que lleva su nombre (Gaviria-Ríos, Mora-Guzmán, & Agudelo, 2002). Aunque existen mejoras en este motor, no ha sido mucho lo que se ha logrado. Según Gaviria et al (Op. Cit) “es interesante ver como en los MCI, que llevan aproximadamente 125 años desde su invención, no se haya logrado grandes mejoras en su rendimiento (de 11 a máximo 30% para motores de encendido por chispa) a pesar de los avances y desarrollos tecnológicos que existen hoy en día”.

De acuerdo a la Sociedad de Técnicos de Automoción (2011) “el vehículo eléctrico no es una novedad dentro de la dilatada vida del automóvil. Si se echa la vista atrás, hubo un período en la historia que el motor eléctrico, el motor de combustión y el motor de vapor estaban a un nivel de prestaciones semejantes, compitiendo cada cual por ser el ganador en la carrera para la propulsión”. Conforme a lo escrito por Moreno (2016) “los vehículos eléctricos se inventaron en la primera mitad del siglo XIX, mucho antes que los vehículos con motores de gasolina y diésel. Posiblemente el primer prototipo lo construye el húngaro Ányos Jedlik en 1828. Era un modelo de pequeño tamaño movido por un motor eléctrico inventado por él mismo”. Posteriormente, en 1898 se construyeron y comercializaron los primeros modelos de vehículos eléctricos que circularon por las calles de Londres y Nueva York. Los motores eran de corriente continua, conectados a unas baterías que se podían conectar en serie y en paralelo en varias configuraciones, controlando así la velocidad y el par (Op cit).

Los vehículos híbridos se crearon como resultado de la modificación que hizo Porsche al *Tojours Contente* de 1900, los cuales poseen cuatro (4) motores eléctricos en los bujes de cada rueda. Ferdinand Porsche le

coloca un motor de combustión interna para cargar las baterías y lo bautiza como *Mixte*, logrando producir aproximadamente 300 unidades de este modelo (Sociedad de Técnicos de Automoción, 2011). Sin embargo, a principios del siglo XX, la balanza se inclina por el vehículo de MCI por dos (2) elementos fundamentales: el precio y la autonomía. Moreno (2016) indica que “en la década de los 1920 un coche eléctrico costaba unos 2.000 USD y tenía una autonomía de 25 km. Su equivalente de gasolina de costaba unos 600 USD con autonomía prácticamente ilimitada.” Esto representa el punto de corte a partir del momento que se extiende el uso de los motores de combustión.

El cambio climático y las políticas para contribuir con su mitigación (Agency, 2018) (BMW, 2018) (Bermejo, 2013) han acelerado el desarrollo de la tecnología de los vehículos eléctricos. Como indica Chan & Wong (2004) referente a los elementos ambientales, los vehículos eléctricos pueden proveer transporte urbano de bajas emisiones, inclusive considerando las de las plantas de generación de electricidad, necesarias para recargar los vehículos. En este sentido, su uso reduce significativamente la contaminación del aire a nivel global. Desde el punto de vista energético, ofrecen una opción segura, comprensiva y balanceada que es eficiente y amigable con el medio ambiente.

Existe una variedad especial de vehículos eléctricos llamados de celdas de combustibles (*Fuel Cell*, en inglés), su característica principal es que la energía eléctrica proviene de una celda de combustible. Ésta es una celda galvánica en la que la energía química de un combustible se convierte directamente en energía eléctrica por medio de procesos electroquímicos. El combustible y el agente oxidante se suministran de forma continua y por separado a los dos (2) electrodos de la celda, donde experimentan una reacción, según Ehsani et al. (2018). En comparación con una batería química, la celda de combustible genera energía eléctrica en lugar de almacenarla y continúa haciéndolo mientras se mantenga el suministro.

En comparación con el vehículo eléctrico, el de celdas combustibles tiene las ventajas de un rango de conducción mayor sin un largo tiempo de carga de la batería. Adicionalmente, con respecto al de MCI, tiene las ventajas de una mayor eficiencia energética y menores emisiones debido a la conversión directa de energía libre en el combustible en energía eléctrica, sin sufrir combustión (Ehsani et al., 2018).

Entre el vehículo con MCI existen diferencias significativas entre los distintos combustibles utilizados. Comparando únicamente el de gasolina

con el de diésel, existen diferencias como las notadas por Fairbanks (2004). Por ejemplo, comparando los vehículos Dodge Durango y Dodge, encuentra que las versiones que utilizan diésel tiene un mejor rendimiento de mi/galón, de 60 y 61%, respectivamente. Asimismo, la reducción de las emisiones de CO₂ para las versiones en diésel son 27 y 28%, respectivamente, para cada modelo de vehículo. Similarmente, compara el Ferrari Enzo (con un motor a gasolina de 12 cilindros impulsado) con el Sidewinder Banks (con un motor diésel de 6 cilindros) en cuanto a los criterios de máxima velocidad y economía de uso de combustible. Encuentra que el Enzo tiene una velocidad máxima estimada de 217 mph, con un rendimiento de combustible de 8 a 12 mi/galón. Por otro lado, el Sidewinder tiene una velocidad máxima medida de 222,14 mph y un rendimiento de combustible de 21,2 mi/galón.

2.2. Vehículo de motor de combustión interna y el Eléctrico

Para comparar las ventajas y desventajas entre el vehículo de MCI y el eléctrico se revisa la bibliografía existente, de manera cronológica, sobre la experiencia de uso de ambos tipos y se compararán las de diversos grupos de investigación.

Lave & MacLean (2002) comparan “la segunda generación del primer vehículo eléctrico híbrido comercial (HEV, por sus siglas en inglés), el *Toyota Prius*, con el motor de combustión interna convencional (ICE, por sus siglas en inglés) y *Toyota Corolla*. El *Prius*, más complicado y costoso, tiene menos contaminantes y emisiones de CO₂ y una mejor economía de combustible que el *Corolla*. Sin embargo, para el momento no era económicamente viable porque la tecnología no reducía comparativamente con respecto al costo adicional de la compra del vehículo híbrido. Esto cambia con el tiempo, dado que se disminuyen los costos de fabricación, los de los combustibles fósiles aumentaron y se desarrollaron nuevas tecnologías.

Así como existen diferencias en los MCI, en los vehículos impulsados por motores eléctricos existen diversas tecnologías, que pueden verse resumidas en la Tabla 1, desarrollada por Chan & Wong (2004).

Tabla 1. Características de vehículos eléctricos de baterías, híbridos y de celdas de combustible. Fuente: Elaborado por el autor con datos de Chan & Wong (2004)

Tipo de vehículo	Vehículo eléctrico a Baterías	Vehículo híbrido	Vehículo eléctrico a celdas combustibles
Propulsión	- Motor eléctrico	- Motor eléctrico - Motor de combustión interna	- Motor eléctrico
Sistema de energía	- Baterías - Ultracapacitores	- Baterías - Ultracapacitores - Generador de motor de combustión interna	- Celdas de Combustible
Fuente de energía e infraestructura	- Instalaciones de carga conectadas a la red de distribución eléctrica	-Estaciones de combustible -Instalaciones de carga (opcional)	- Hidrógeno - Metanol o gasolina - Etanol
Características	- Cero (0) emisiones atribuidas a su uso. En este caso hay que adicionarles las utilizadas para su fabricación y las debidas a las fuentes de generación - Independencia de combustibles fósiles - Rango de uso 100 a 200 km - Costo inicial elevado - Comercialmente disponible	- Bajas emisiones -Rango largo de uso - Dependencia de combustibles fósiles - Complejos - Comercialmente disponible	- Bajas emisiones atribuidas a su uso. En este caso hay que adicionarles las utilizadas para su fabricación y las debidas a las fuentes de generación. - Alta eficiencia energética - Independencia de combustibles fósiles - Rango de uso satisfactorio - Altos costos - Aún en desarrollo
Problemas principales	- Manejo de las baterías y su disposición final - Propulsión de alto rendimiento - Disponibilidad de instalaciones de carga	- Manejo de múltiples fuentes de energía - Dependiente del ciclo de manejo - Dimensionamiento de la batería y manejo de la misma	- Costo de la celda de combustible - Procesador de combustible - Sistema de carga de combustible

Granovskii, Dincer, & Rosen (2006) realizan una comparación económica y ambiental sobre cuatro (4) tipos de vehículos: convencional, híbrido, celda de combustible y de hidrógeno, obteniendo que el vehículo híbrido y eléctrico tienen ventajas sobre los demás. Sin embargo, el impacto económico y ambiental asociado con el uso de un vehículo eléctrico depende sustancialmente de generación de energía eléctrica. Si ésta proviene de fuentes de energía renovable, el vehículo es ventajoso ante el híbrido. De caso contrario, el vehículo híbrido seguirá siendo competitivo ya que es propia la fuente de generación de la energía eléctrica. Estas fueron las conclusiones en el 2005, sin embargo, se verifica estudios realizados recientemente para comprobar si los resultados y conclusiones se mantienen en el tiempo. Por ejemplo, Gustafsson & Johansson (2015) en Suecia concluyen similarmente que a pesar los vehículos eléctricos a batería han sido vistos durante mucho tiempo como una solución si la fuente es renovables, pero aun así sufren altos costos e impactos ambientales por la deposición de las batería.

Howey, Martinez-Botas, Cussons, & Lytton (2011) compararon 51 vehículos entre los cuales existían eléctricos, híbridos y de MCI respecto a dos (2) criterios: consumo de energía y emisiones de CO₂. Respecto al consumo de energía, los que consumieron menos fueron los híbridos, seguidos por los eléctricos y, finalmente, los de combustión interna. Sin embargo, comparando las emisiones de CO₂ tomadas del escape de los vehículos de MCI e híbridos, así como las debidas a las fuentes de generación en el Reino Unido, que se muestran en la Tabla 2. Observándose que incluso las emisiones de CO₂ de los vehículos de MCI con diésel y los eléctricos son semejantes, dependiendo por supuesto de la emisiones debidas a la fuente de generación.

Tabla 2. Emisiones de CO₂ por tipo de vehículo en el Reino Unido

Vehículo	Emisiones de CO ₂ (gCO ₂ /km)
Híbridos	Menos de 70
Eléctrico*	70 y 110
MCI de diésel	80
MCI de gasolina	Más de 110

* Asumiendo una generación de 542 gCO₂/kWh

Es importante destacar que durante la revisión se encuentra el caso particular de Castaño (2016), que es digno de mencionar por lo

particular, ya que describe “una prueba real de circulación por las carreteras de Galicia de un vehículo eléctrico con autonomía extendida (*Range Extender*, REX) durante 11 meses y 24.590 km. A diferencia de otros, éste (un BMWi3) no es un híbrido porque su motor es 100% eléctrico y su respaldo de combustión interna sólo funciona para recargar las baterías, pero no para impulsarlo. Resumiendo sus resultados tenemos: la recarga fue privada ya que no están disponibles puntos públicos, la carga completa es larga (entre 5 y 6 horas) y el vehículo presenta menos averías, en comparación con la experiencia con él de MCI. Finalmente, la conducción es más confortable debido a la ausencia de ruido de motor, cambio de velocidades y grupo térmico de respaldo REX es recomendable para realizar una conducción interurbana normal (sin stress de la batería), ya que existe una ausencia casi total de puntos de recarga pública. “Excelente solución práctica para la transición desde el vehículo convencional al eléctrico puro” (Castaño, 2016).

Figenbaum & Kolbenstvedt (2016) realizaron una encuesta en Noruega a los propietarios de vehículos, obteniendo respuesta de 3.111, 2.065 y 3.080 propietarios de eléctricos a batería, híbridos y de MCI, respectivamente. En dicha encuesta obtienen los siguientes comentarios respecto del uso de los vehículos, tales como que los propietarios de vehículos eléctricos en algunos casos han tenido que evitar un viaje debido a que el rango de las baterías es corto, con respecto a la distancia del viaje, y la insuficiencia de estaciones de recarga en el camino. Sin embargo, el 83% comenta que no ha tenido que hacerlo. Otro reto del uso de este vehículo es el bajo nivel de ruido, por lo que se han generado situaciones que peatones, ciclistas o niños no han advertido del riesgo de su paso. Los vehículos eléctricos de baterías son más atractivos a los consumidores por el precio y las ventajas en cuanto a reducción de impuestos, con respecto a los otros. Otra característica en los modelos estudiados es el tamaño, ya que son más compactos que los vehículos híbridos, que pueden llegar a ser hasta modelos deportivos utilitarios (SUV, por sus siglas en inglés), mientras que los de MCI están disponibles de cualquier tamaño.

Correa, Muñoz, Falaguerra, & Rodríguez (2017) realizaron una comparación en autobuses de cinco (5) tipos distintos de tecnologías de vehículos: eléctricos de batería, gas natural comprimido y enriquecido con hidrógeno, eléctricos híbridos con celdas de combustible, híbridos y de MCI. Para la comparación utilizaron dos (2) ciclos de conducción y cuatro (4) rangos de distancia. Los resultados confirman que los

vehículos eléctricos con batería son convenientes sólo para un rango de conducción corto, mientras que los autobuses con celdas de combustible ofrecen buenos rendimientos para un rango de conducción más extenso (Op. Cit).

Qiao, Zhao, Liu, Jiang, & Hao (2017) analizan el impacto y la generación de gases de efecto invernadero (GEI) desde la fabricación de los vehículos, comparando los eléctricos de baterías con los de MCI. Sorprendentemente para China se obtiene que comparativamente, los valores para un vehículo eléctrico sean aproximadamente un 50% más altos que los de MCI. Los resultados se analizan desde los puntos de vista de cada componente, material y fuente de energía. Considerando los componentes, las baterías de iones de litio incurren en casi el 13% del consumo total de energía y el 20% de las emisiones totales de GEI de la producción de BEV. Desde el punto de vista de los materiales, el acero, el aluminio y los materiales activos producen aproximadamente el 60, 10 y 7% del consumo total de energía y el 50, 17 y 11% de las emisiones totales de GEI, respectivamente. Cuando se trata de fuentes de energía, el carbón, el coque, la electricidad y el gas natural representan alrededor del 36, 16, 10 y 30% del consumo total de energía. Sin embargo, estos resultados reflejan el alto impacto energético de manufactura en China, ya que estos determinaron que fabricar la misma cantidad de baterías en USA genera sólo un tercio de GEI. Asimismo, no existe una política de reciclado de vehículos o recuperación de las partes. Finalmente, la generación eléctrica en China está basado en combustibles fósiles, principalmente carbón, por lo que cualquier consumo de energía eléctrica impacta directamente en la generación de más contaminantes y CO₂.

Finalmente, la Tabla 3 muestra una comparación en cuanto a los tres (3) aspectos de usabilidad, impacto ambiental y costo relacionados con la adquisición del vehículo, su mantenimiento y los gastos debidos al consumo de combustible y energía eléctrica.

Tabla 3. Comparación de los vehículos de MCI, eléctrico e híbrido

Tipo de vehículo	Usabilidad	Impacto ambiental	Costos
MCI con diésel o gasolina	Las estaciones de servicio son frecuentes de encontrar, es decir, poseen autonomía ilimitada. Presentan ruidos durante su conducción.	Mayores impactos ambientales asociados a las emisiones de CO ₂ , gases contaminantes y partículas propias del combustible utilizado. Dependiendo de las fuentes de generación del país, las emisiones de CO ₂ con el uso del diésel como tipo de combustibles, son comparables con los eléctricos	Menores costos de adquisición. Mayores costos de mantenimiento, por la reposición de autopartes. Costo de operación por la compra o adquisición de los combustibles
Eléctrico a baterías	Ausencia de ruido y mayor confort en su conducción. Necesidad de cargas entre cada 5 a 6 horas, lo que lo hacen dependiente de la presencia de los centros de carga. Es decir, poseen autonomía limitada.	Durante su utilización sus emisiones de CO ₂ son cero (0). Se le deben asociar las emisiones producto de la fabricación, las relacionadas con las fuentes de generación por la carga de las baterías y por su disposición final.	Costos de adquisición superior a los MCI. Menores costos de mantenimiento. Menores costos de adquisición del combustible, comparativamente con los MCI. Costos debidos a la energía eléctrica utilizada para la carga de las baterías
Híbrido	Ausencia de ruido y mayor confort en su conducción. Sin necesidad de centros de carga de las baterías.	Durante su utilización sólo reportan emisiones en función del tipo de combustible que utiliza el MCI. Se le deben asociar las emisiones producto de la fabricación y por su disposición final. No se le asocian emisiones producto de la carga de las baterías ya que la misma es propia del vehículo	Aún los costos de adquisición son elevados. Sin embargo, la exoneración o subsidios de pagos de impuestos podría mejorar esta situación. Incluir el costo de la compra de energía eléctrica para su recarga

CONCLUSIONES

En general, los vehículos eléctricos superan a los vehículos de combustión interna respecto a los beneficios para el medio ambiente. Sin embargo, la usabilidad de los primeros se ve afectada por el corto rango de distancia que pueden viajar los vehículos a baterías comparados con los vehículos híbridos o de combustión interna. En cuanto a los vehículos de combustión interna, se observan ventajas en el uso de diésel con respecto a la gasolina, tanto en eficiencia del motor como de generación de contaminantes. En cuanto al atractivo para los usuarios, depende de las políticas económicas de cada país, siendo importante los incentivos en cuanto a reducción de impuestos para vehículos que tengan un menor impacto en el medio ambiente.

Aparte de las condiciones del vehículo, es importante que la generación de electricidad sea sustentable y ambientalmente amigable, para que en realidad pueda obtenerse el efecto deseado de reducción de efecto invernadero. Igualmente, los procesos de fabricación de los vehículos deben ser revisados para que sean eficientes y con el menor impacto sobre el medio ambiente. Finalmente, es necesaria la instalación de redes de estaciones de carga para facilitar el proceso de carga de los vehículos eléctricos, ya que es un punto clave que pudiese mejorar la aceptación por parte de los usuarios.

La tecnología de celdas de combustible no está todavía disponible para todos los usuarios y su alto costo hace que quede como una opción a futuro, una vez que sea más accesible y comercialmente atractiva.

AGRADECIMIENTO

Los autores de este artículo quieren agradecer al Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), ya que el mismo fue elaborado en el marco del proyecto Red Iberoamericana de Transporte y Movilidad Urbana Sostenible (RITMUS, 718RT0566).

BIBLIOGRAFÍA

- Aversa, Raffaella; Petrescu, Rely Victoria; Akash, B.; Bucinell, Ronald; Corchado, Juan; Chen, Guanying; Li, Shuhui; Apicella, Antonio; Petrescu, Floiran Ion (2017), "Something About the Balancing of Thermal Motors", *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10, pp. 200-217, DOI: 10.3844/ajeassp.2017.200.217, en <https://papers.ssrn.com/abstract=3074082>
- Castaño, Francisco Silva (2016), "Conducción, en condiciones reales de Galicia, de un Vehículo Eléctrico con autonomía extendida (REX)". *Dínamo técnica: revista gallega de energía*, 19, pp. 12–15, en
- Chan, Ching Chuen, & Wong, Y. S. (2004), "Electric vehicles charge forward", *IEEE Power and Energy Magazine*, 2, pp. 24-33. DOI: <https://doi.org/10.1109/MPAE.2004.1359010>
- Correa, Gabriel; Muñoz, Pedro; Falaguerra, T; Rodríguez, CR (2017), "Performance comparison of conventional, hybrid, hydrogen and electric urban buses using well to wheel analysis", *Energy*, 141, pp. 537-549, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.066>
- Ehsani, Mehrdad; Gao, Yimin; Longo, Stefano; Ebrahimi, Kambiz (2018), "Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles", Boca Raton, Taylor&Francis Group
- Fairbanks, John (2004), "Engine maturity, efficiency, and potential improvements", *Diesel Engine Emission Reduction Conference*. Presentado en Energy Efficiency and Renewable Energy, Coronado, California.
- Figenbaum, Erik y Kolbenstvedt, Marika (2016), "Learning from Norwegian Battery Electric and Plug-in Hybrid Vehicle users: Results from a survey of vehicle owners", *TØI Report* (1492/2016), en <https://trid.trb.org/view/1420780>
- Gaviria-Ríos, Jorge Enrique, Mora-Guzmán, Jorge Hernán; Agudelo, John Ramiro (2002), "Historia de los motores de combustión interna", *Revista Facultad de Ingeniería*, 26, pp. 68-78, en

<http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/articulo/view/326361>

Gilardi, Jaime (1985), "Motores de combustión interna", Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura, San José, Costa Rica.

Granovskii, Mikhail, Dincer, Ibrahim; Rosen, Marc (2006), "Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles", *Journal of Power Sources*, 159, pp. 1186-1193, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.11.086>

Gustafsson, Tobias; Johansson, Anders (2015), "Comparison between battery electric vehicles and internal combustion engine vehicles fueled by electrofuels (Chalmers Tekniska HöGskola)", en <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/218621/218621.pdf>

Howey, David; Martínez-Botas, Ricardo; Cussons, Ben; Lytton, uca (2011), "Comparative measurements of the energy consumption of 51 electric, hybrid and internal combustion engine vehicles" *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16, pp. 459-464, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.04.001>

International Standards Organization. Ergonomics of human-system interaction -- Part 11: Usability: Definitions and concepts. , ISO 9241-11:2018 § (2018).

Lave, Lester; MacLean, Heather (2002), "An environmental-economic evaluation of hybrid electric vehicles: Toyota's Prius vs. its conventional internal combustion engine Corolla" *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 7, pp. 155-162, DOI: [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(01\)00014-1](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(01)00014-1)

Mayersohn (2017), The Internal Combustion Engine Is Not Dead Yet. *The New York Times*, en <https://www.nytimes.com/2017/08/17/automobiles/wheels/internal-combustion-engine.html> (22/12/2017)

Moreno, Francisco (2016), "Vehículos Eléctricos. Historia, Estado Actual y Retos Futuros", *European Scientific Journal ESJ*, 12, DOI: <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n10p%p>

Qiao, Qinyu; Zhao, Fuquan; Liu, Zongwei; Jiang, Shuhua; Hao, Han (2017), "Cradle-to-gate greenhouse gas emissions of battery electric and internal combustion engine vehicles in China", *Applied Energy*, 204, pp. 1399-1411, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.041>

Sperling, Daniel; Gordon, Deborah (2010), *Two Billion Cars: Driving Toward Sustainability*, Oxford University Press, USA.

Teodorović, Dusan; Janić, Milan (2017), *Transportation Engineering. Theory, Practice and Modeling*, pp. 719-858, DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803818-5.00011-1>

ENVÍO DE ORIGINALES

TRIM es una revista internacional y multidisciplinar, editada en formato digital, y de libre acceso, por el Centro "Tordesillas" de Relaciones con Iberoamérica de la Universidad de Valladolid.

Se publicarán trabajos en los que se presenten resultados de investigación, en diferentes ámbitos de conocimiento. Las aportaciones deben ser originales e inéditas. No se aceptarán artículos que hayan sido publicados en otro lugar.

Los textos podrán remitirse en español o portugués, acompañados de un breve resumen y un máximo de cinco palabras clave, tanto en la lengua del artículo como en inglés, lengua en la que también se proporcionará el título del artículo.

Se enviarán en formato digital, mediante la plataforma OJS a través de la web de la revista: <https://revistas.uva.es/index.php/trim>

Es responsabilidad del autor verificar el correcto formato de su texto. Los trabajos que no se adapten a citada plantilla no serán sometidos a revisión para su posible publicación.

Pueden ponerse en contacto con *TRIM* en la siguiente dirección de correo electrónico: revista.trim@uva.es

Imágenes e ilustraciones:

Cada artículo podrá ser acompañado de hasta un máximo de 10 imágenes.

Fotografías, ilustraciones, tablas y gráficos se incorporarán en su correspondiente archivo gráfico (formato jpeg o tiff) y acompañadas de un archivo de texto con sus correspondientes pie de foto.

Estos archivos deberán poseer una resolución que permita su correcta reproducción y el autor deberá asegurarse de que cuentan con los permisos necesarios para su reproducción y distribución según la licencia CC de la revista.

