

La factibilidad económica de electromovilidad en el transporte público de Cuernavaca

JESÚS ANTONIO DEL RÍO PORTILLA Y JOSÉ TOMÁS SÁNCHEZ SILVA

El Dr. Jesús Antonio del Río Portilla es Investigador titular C del Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México, de donde fue su primer director. Es nivel 3 del Sistema nacional de Investigadores y miembro activo de la Academia de Ciencias de Morelos. José Tomás Sánchez Silva, Ingeniero mecánico graduado del Tecnológico de Morelia, Maestro en Ingeniería en Energía por la Universidad Nacional Autónoma de México, cuenta con 10 años de experiencia en el diseño y aplicación de sistemas fotovoltaicos. Actualmente dedicado a brindar soluciones en eficiencia energética y proyectos de energías renovables.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos

EL TRANSPORTE

En la vida cotidiana, tanto en ciudades grandes o pequeñas, usamos transporte público. Este servicio es una necesidad básica para la población que no tiene la posibilidad de poseer un vehículo particular en ciudades medianas y en muchas situaciones es la única alternativa para desplazarse de un lugar a otro, para ir a la escuela o al trabajo, por lo que constituye un elemento muy importante en el desarrollo de la actividad económica y social en el medio urbano.

Un transporte público eficiente incentiva a las personas a dejar de usar sus automóviles para realizar viajes individuales, reduce tráfico y embotellamientos y por ende la contaminación, generándose de esta manera un círculo virtuoso a partir de la mejora en el transporte.

En México la mayoría de los sistemas de transporte público utiliza autobuses o vagonetas impulsados por motores de combustión interna. Estos motores usan combustibles fósiles como la gasolina, el gas o el diésel, produciendo contaminación a su paso por la ciudad. Adicionalmente, observamos que en muchas ciudades medianas los vehículos en el transporte público han excedido su periodo de vida útil y es urgente su reemplazo. Aunque no lo parezca, esta situación afecta a la salud de las personas que estamos cerca del trayecto de estos vehículos, dadas las emisiones contaminantes que generan dichos vehículos en sus trayectos.

También es importante fomentar la conciencia en la sociedad sobre los efectos que la quema de combustibles fósiles tiene sobre el cambio climático y enfatizar que el transporte es un sector que contribuye ampliamente en la emisión de gases contaminantes. No hay duda de que estas emisiones están teniendo consecuencias sobre la salud de las personas que alteran sus actividades socioeconómicas.

Por esta razón, siempre serán válidos los esfuerzos que se realicen para aprovechar los avances tecnológicos para atenuar los efectos adversos de la contaminación y mejorar la calidad de vida, presente y futura de las personas. El reemplazo de las unidades es algo que periódicamente es necesario hacer. La pregunta en este punto es: ¿los reemplazos deben ser con vehículos modernos de combustión o transitar a vehículos eléctricos?

Hoy en día en muchísimos lugares en el mundo el sistema de transporte está migrando hacia la electrificación de sus vehículos, es decir, se están sustituyendo los viejos autobuses o vagonetas de combustión por unidades eléctricas. En el mundo se calcula que se pasará de tener 16 millones de autobuses circulando por las ciudades a 20 millones en el 2030 [1]. Esto es un incremento sustancial que produciría mayor contaminación, si los autobuses son de combustión interna y quemar combustibles fósiles. El país más poblado del mundo, China, cuenta actualmente con la flota más cuantiosa de autobuses eléctricos, con más de 370 mil [1].

En ciudades como Oslo, Trondheim, Gothenburg, Santiago de Chile, Medellín, São Paulo, Los Ángeles, Seattle, Curitiba, Ciudad de México se está paulatinamente moviéndose hacia la electrificación del transporte público mediante autobuses en sistema rápido (metrobus).

Al estar leyendo estas ideas, nos puede surgir la pregunta: ¿Es conveniente cambiar los autobuses de mi ciudad por unidades eléctricas?

Precisamente a estas preguntas se dedicó un artículo recientemente publicado en la revista PLoS ONE [2], donde se presenta la forma de calcular algunos parámetros que nos indican si hay factibilidad económica y técnica para hacer este cambio hacia la electromovilidad en ciudades medianas. En ese artículo, se calcularon los costos de renovación de los sistemas de transporte con vehículos de combustión interna de dos ciudades mexicanas: Cuernavaca, Morelos y Morelia, Michoacán. Estos datos se compararon contra los asociados a la propuesta de sustituir los actuales modelos por modelos similares en capacidad de movilidad de personas, pero eléctricos. Para hacer la comparación se usó el cálculo del valor presente neto de la inversión. Este cálculo consiste en sumar las inversiones, los costos de mantenimiento y los cobros de los pasajes que se tendrían en estos dos escenarios durante un periodo de 20 años.

EL DINERO EN EL TIEMPO

Aquí seguramente surge otra pregunta: ¿Cómo se compara el dinero que se invierte hoy con el que se recibe en 20 años? Sabemos que el dinero va perdiendo capacidad de adquirir productos o servicios. Nuestra experiencia indica que la inflación va devaluando nuestro dinero, y así es. Lo que se llama poder adquisitivo del dinero va disminuyendo con el

paso del tiempo. El dinero que tenemos hoy seguramente tendrá un valor menor en el futuro, es decir, podremos comprar menos bienes o servicios con ese mismo dinero, lo que equivale a que valga menos. Por ejemplo, en un año con una inflación de 7%, el dinero que recibimos o gastaremos equivaldría a:

$$\text{dinero actual} = \text{dinero futuro} / (1.07),$$

que nos indica lo que podríamos comprar con ese dinero hoy. Al paso de los años si la inflación se mantiene constante, el dinero que se gasta o recibe en el N-ésimo año equivaldría a

$$\text{dinero actual} = \text{dinero futuro} / (1.07)^N.$$

Con esta sencilla fórmula podríamos calcular el valor hoy de las inversiones, los gastos y los ingresos que se tendrán en el futuro y compararlo con lo que podríamos adquirir hoy. De esta manera, se puede definir un valor presente neto como el valor transferido, al día de hoy, de las inversiones, gastos e ingresos en el futuro. Claramente, esta forma de calcular el valor futuro implica que un valor presente neto mayor es mejor en el momento de hacer comparaciones. El valor presente neto (VPN) de los egresos (E) e ingresos (I) que se tienen en el año N se puede calcular como:

$$\text{VPN} = -E / (1 + \text{inflación})^N + I / (1 + \text{inflación})^N,$$

donde se consideran en los egresos las inversiones o gastos, compra de más equipos o de combustibles o pagos de mantenimiento, etc. Por otra parte, normalmente, los ingresos por los pagos de los pasajes se mantienen constantes por temporadas.

Como se observa, el análisis comparativo de analizar las propuestas de cambios de vehículos nuevos de diésel o eléctricos no es sencillo e involucra flujos de dinero en diferentes momentos de la vida útil de los diferentes vehículos. Así, el cálculo del valor presente neto incluye una estimación de lo que valdrá el dinero en el futuro y lo transforma en la capacidad adquisitiva en el presente. Es una fórmula que incorpora un interés al dinero que se invertirá, gastará o recibirá en el futuro para poder compararlo con su equivalente en el presente.

Con el valor presente neto se pueden comparar alternativas con diferente forma de pagos e ingresos en el tiempo. Por ejemplo, en nuestro caso los vehículos eléctricos son más caros que los vehículos de combustión interna, así que la inversión inicial es mayor. En cambio, en el caso de los vehículos de combustión, los costos de mantenimiento y del combustible mismo son mayores. El gasto mayor en el caso eléctrico radica en el costo de reemplazar las baterías, pero el costo por kilómetro de recorrido en situaciones similares de pasaje es menor en el caso eléctrico. Adicionalmente, hay que considerar que el costo del combustible se está incrementando en comparación

con el de la electricidad. Es importante mencionar que el valor presente neto de las actuales rutas por vehículos de combustión interna es positivo, es decir, los ruterios tienen ganancias y de eso viven, pero ¿qué pasa en el caso eléctrico?

EL CASO CUERNAVACA

Con las fórmulas anteriores se puede calcular el valor presente neto de cambiar el parque vehicular de la Ruta 1 de Cuernavaca por nuevos vehículos de combustión interna y también calcular ese valor para el cambio con vehículos eléctricos de capacidad similar. De acuerdo con el trabajo de Sánchez y del Río [3], donde se analizó el recorrido en Cuernavaca (ver Fig. 1), el VPN de la opción con vehículos eléctricos es casi un 10 % mayor que la opción de vehículos de combustión interna, es decir, económicamente es mejor cambiar por vehículos eléctricos. Al incorporar los beneficios sociales y ambientales esta diferencia todavía crece más. La energía fotovoltaica obtenida de la luz solar puede ser aprovechada para suministrar energía eléctrica limpia que satisfaga las necesidades energéticas de la sociedad. Así es como otro aspecto a considerar en el escenario eléctrico es que se pueden utilizar sistemas fotovoltaicos a manera de autoabasto de energía y con ello disminuir el uso de electricidad de la red eléctrica. Se incrementa la inversión inicial, pero el VPN de esta opción es todavía mayor que el del caso

de combustión interna.

Para el reemplazo por vehículos eléctricos, la propuesta considera la instalación sistemas

fotovoltaicos en las estaciones de guarda de los vehículos (ver figuras 2 y 3) que durante el día generen electricidad para cargar las ba-

seguros y amigables con el medio ambiente. No se puede negar que, en la actualidad, los avances científicos y tecnológicos permiten

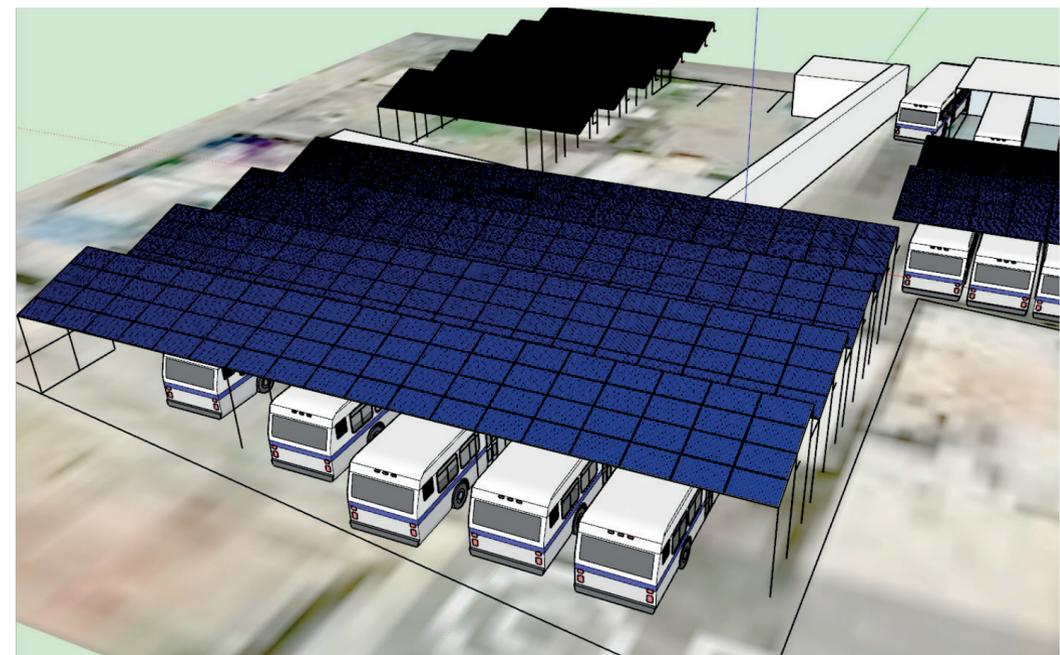
De todas formas, es muy importante enfatizar que las estructuras de muchas ciudades medianas se han configurado para permitir el paso de automóviles y, desde un punto de vista de un transporte sustentable, es necesario instalar infraestructuras que permitan una adecuada y segura convivencia del transporte público eléctrico y la movilidad no motorizada.

Para conseguir esto es necesario construir un nivel mayor de conciencia tanto en el sector público como en el privado y en las personas mismas para que no se consideren solamente los costos económicos inmediatos, sino, que también se valoren los aspectos económicos en el largo plazo, así como los beneficios sociales y ambientales que implica el uso de vehículos eléctricos para el transporte público y los no motorizados para los trayectos individuales. La prioridad debe ser el bien común presente y futuro de la sociedad.

Referencias

- [1] IRENA (2021), Renewable Energy Policies for Cities: Transport, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- [2] J.T. Sánchez, J.A. del Río y A. Sánchez PLoS One 17(8): e0272363 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272363>
- [3] J.T. Sánchez y J.A. del Río, Energía Hoy, Mayo 2020, num 177 pp. 26, https://energiyahoy.com/wp-content/uploads/2020/05/EH177_MAYOok-1.pdf

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.



▲ FIGURA 2. BOSQUEJO del Sistema Fotovoltaico en las instalaciones de la terminal de la Ruta Uno de la ciudad de Cuernavaca. (La ilustración es a partir de openstreetmap <https://www.openstreetmap.org/> modificadas por los autores)

terías de los vehículos o para entregar la energía a la red eléctrica.

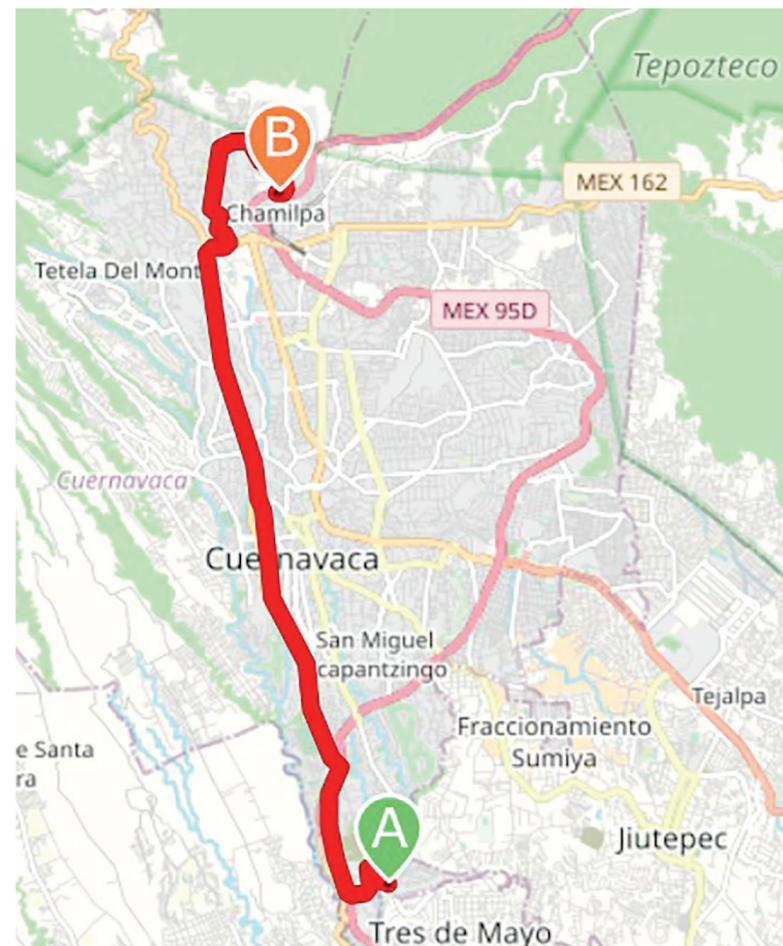
Es importante notar que, con vehículos eléctricos, tanto en el caso de obtener la electricidad de la CFE como al instalar sistemas fotovoltaicos, las emisiones de gases de efecto invernadero disminuyen. En el caso de interconexión, las emisiones disminuyen más de un 85%, con el actual sistema de generación eléctrica de la CFE. Para el caso donde se utilizan sistemas fotovoltaicos las emisiones disminuyen hasta un 90%. Como se observa en ambos casos la reducción de las emisiones es muy positiva.

En el estudio se considera la factibilidad del aprovechamiento de este tipo de energía en el uso de vehículos eléctricos destinados específicamente al transporte de pasajeros en las ciudades de Cuernavaca y Morelia. Estudios como este son de gran utilidad porque muestran que en ciudades medianas de nuestro país un transporte público con características deseables es posible y como habitantes de estas ciudades lo merecemos. Con este cálculo se ilustra como a través de la anticipación mediante modelos técnicos y económicos podemos escoger mejores alternativas para resolver la problemática que nos aqueja. Como sociedad es posible avanzar hacia sistemas de transporte público eficientes,

mejorar el estado de vida de la sociedad, puesto que mejoran las condiciones ambientales y son factor de desarrollo socioeconómico. En las ciudades pequeñas y medianas de nuestro país, aún no se ha fomentado la transición hacia la electromovilidad a pesar de que las condiciones técnicas y económicas están presentes, como lo muestran estos estudios. No obstante, hoy se tiene la motivación suficiente para implementar sistemas de transporte eléctricos.



▲ FIGURA 3. SISTEMA Fotovoltaico propuesto en la terminal de la Ruta Uno de la ciudad de Cuernavaca. (La ilustración es a partir de openstreetmap <https://www.openstreetmap.org/> modificadas por los autores)



▲ FIGURA 1. TRAYECTO realizado por los autobuses de la Ruta Uno de la ciudad de Cuernavaca A) y B) Chamilpa. (La ilustración es a partir de openstreetmap <https://www.openstreetmap.org/> modificadas por los autores)

ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: www.acmor.org.mx
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTACTANOS: editorial@acmor.org.mx