



BOLETÍN

FAL

FACILITACIÓN DEL TRANSPORTE Y EL COMERCIO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Tecnología y recambio energético en el transporte automotor de América Latina y el Caribe

Antecedentes

En América Latina, el consumo de energía del sector transporte representó el 27% del consumo total en el año 2011. De ese valor, el transporte automotor fue responsable de un 90% por su alta participación en la matriz de viajes y fuerte dependencia de los combustibles fósiles. La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) estima que la demanda de energía podría duplicarse al 2030 en la región, por lo que la introducción de tecnologías eficientes y el incremento del uso de vectores energéticos innovadores, como los biocombustibles y la electricidad en el transporte podrían reducir el consumo energético en 102 Mtep por año, lo que representaría un 26% menos energía que en el escenario base proyectado (OLADE, 2013). Parte de ese proceso ya se ha iniciado, de hecho, la matriz energética de América Latina y el Caribe (ALC) muestra que la oferta de las energías fósiles disminuye constantemente su participación pasando de más del 75% en 1990 a menos del 72% en 2012, con una clara sustitución de petróleo por el gas natural (que crece del 15% a 27% en el mismo período).

De igual forma, la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) estima que existe un potencial de mejora técnica rentable en la economía de combustible en los nuevos vehículos, que puede alcanzar el 50% para el año 2030, lo que significaría una reducción de cerca de 500,000 toneladas equivalentes de petróleo en el uso de combustible y casi 1 giga tonelada de reducción anual de emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Por ello, se espera que los combustibles alternativos desempeñen un papel cada vez más destacado en la próxima década en vista de los objetivos de sustituir gradualmente combustibles fósiles por combustibles de origen renovable, además de crecimiento y empleo, competitividad, descarbonización del transporte y diversificación de la matriz energética. Con lo cual, no solamente el sector podría reducir su consumo energético, sino también reducir la huella de carbono y avanzar hacia una logística más sostenible.

El presente documento busca brindar antecedentes sobre el consumo energético en el sector transporte por carretera, además de las ventajas y desafíos que las nuevas tecnologías de propulsión representan para la actividad.

El autor de este boletín es Rolando Campos Canales, Consultor de la División de Recursos Naturales e Infraestructura de la CEPAL. El trabajo contó además con los aportes y supervisión de Gabriel Pérez-Salas, Oficial de Asuntos Económicos de la misma División. Para mayores antecedentes sobre esta temática contactar a gabriel.perez@cepal.org

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la Organización.



Antecedentes



I. Emisiones GEI y consumo energético



II. Nuevas tecnologías de combustión para la movilidad y logística de carga



III. Recomendaciones



IV. Bibliografía



V. Anexo Directorio de Siglas



NACIONES UNIDAS

CEPAL

POR UN DESARROLLO
SOSTENIBLE CON IGUALDAD

El presente Boletín FAL, busca brindar antecedentes sobre el consumo energético en el sector transporte por carretera, las ventajas y desafíos que las nuevas tecnologías de propulsión representan para la actividad. Asimismo, recalca la importancia de perfeccionar y coordinar las políticas de forma intersectorial para alcanzar los objetivos de eficiencia energética necesarios para garantizar un futuro energético sostenible.

El documento analiza en su primera sección las emisiones y el consumo energético del transporte por carretera. La segunda parte contiene una revisión de los combustibles más usados en el transporte automotor y las tecnologías de mayor desarrollo. Finalmente se presentan algunas recomendaciones para una implementación exitosa. Las siglas citadas a lo largo del texto se definen en el anexo al final del documento.

A. Características del transporte de carga en América Latina

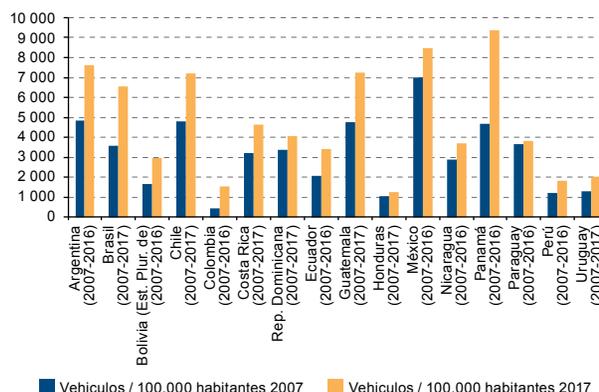
El transporte carretero presenta varias características propias que lo tornan particularmente atractivo para el movimiento de cargas generales, entre ellas cabe mencionar su versatilidad para transportar cargas de puerta a puerta; su confiabilidad en lo que respecta al cumplimiento de los plazos de entrega; su modularidad y su posibilidad de brindar una alta frecuencia de servicios, y la facilidad para el seguimiento de los vehículos y las cargas. Dentro del transporte carretero, el transporte propio por camión tiene un rol destacado en América Latina, y su participación en la matriz de cargas del transporte interno es muy relevante, frecuentemente supera el 90%.

La expansión de la flota vehicular, particularmente para transporte individual, es un aspecto relevante y al cual se le ha dado amplia difusión en la región por los desafíos que esto representa en términos de congestión, equidad en el uso del espacio de público y en los efectos adversos que el automóvil genera en la movilidad urbana. En los últimos años se ha observado una tendencia a la expansión del consumo de diésel entre los combustibles automotrices, motivada principalmente por un bajo precio en comparación con otros combustibles y la acelerada expansión de uso de las camionetas para uso individual (SUV, Sport Utility Vehicles), mayormente equipadas con motores para ciclo diésel. De una manera general, el precio más bajo del diésel es debido a una tributación más blanda, justificada por los usos típicos de este combustible en el transporte de carga, transporte colectivo de pasajeros y actividades agrícolas. Como consecuencia de esa tendencia, se observa un creciente desequilibrio entre las demandas y disponibilidades de productos en las refinerías latinoamericanas, con excedentes de gasolina y déficits de diésel, y un agravamiento de la contaminación

atmosférica local en las ciudades, ya que los motores diésel a menudo presentan niveles más altos de emisión de hollín y óxidos de azufre. En términos del tipo de combustible, en 2010 los motores a gasolina todavía eran la parte más relevantes en el mercado mundial de vehículos de pasajeros, seguido por los motores diésel, con un 40% del mercado europeo e indio (IEA, 2012).

Además de este mayor consumo de diésel debido al aumento del parque automotor, no puede dejar de mencionarse el crecimiento que ha tenido la flota de vehículos de carga de alto tonelaje (camiones), tal como se muestra en el gráfico 1.

Gráfico 1
Evolución del parque automotor de camiones en países seleccionados de América Latina
(Vehículos cada 100.000 habitantes)



Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL.

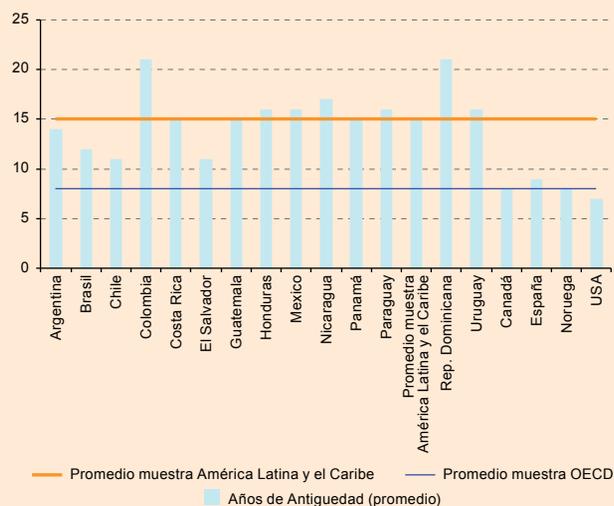
Es posible visualizar el aumento en el número per cápita de camiones en la región, destacándose especialmente el aumento en Panamá. Este incremento si bien puede ser visto como reflejo de un mayor dinamismo económico, debe analizarse con cuidado puesto que varios de los países de la región, se están generando tarifas de transporte por debajo de los costos reales o que no cubren los costos fijos de mantenimiento de los equipos, dado que se está produciendo un exceso de oferta de parte de los transportistas. Este incremento en la motorización también se explica porque los vehículos no son retirados al término de su vida útil como será analizado en la sección siguiente.

B. Edad del parque automotor y emisiones asociadas

Junto con el tamaño de la flota es importante analizar la antigüedad del parque vehicular de camiones, aunque esta última variable es más difícil de encontrar en las estadísticas nacionales y muchas veces corresponde a una estimación que subvalora la edad real de la flota, como muestra el gráfico 2. Tener información sobre la edad de la flota es

fundamental para saber cuáles son las oportunidades reales de incorporar mejoras tecnológicas que permitan aumentar la eficiencia energética de las operaciones.

Gráfico 2
Antigüedad del parque automotor de camiones en América Latina y el Caribe (14 países) y OECD (4 países) (Años)



Fuente: Elaboración propia a partir de *El Transporte Automotor de Carga en América Latina*, BID, 2017.

En dicho gráfico puede observarse que la edad promedio de la flota de camiones en América Latina casi duplica a los países de la muestra de países OECD. Esta mayor edad promedio trae consigo externalidades como aumento en los gases contaminantes; disminuye la calidad y seguridad de los servicios de transporte; aumenta el consumo de combustible; y aumenta los niveles de ruido. Estos vehículos de avanzada edad carecen de medidas de seguridad activa o pasiva para la protección de sus ocupantes, lo que finalmente impactará en la cantidad de fallecidos frente a un accidente de tránsito. En este sentido, renovar el parque automotriz podría mejorar la seguridad vial, disminuir el uso de combustible, reducir emisiones, y reducir el costo de los servicios por los ahorros operativos generados. (CEPAL, 2014a).

Si se considera además la antigüedad de otros equipos de transporte como los remolques y semirremolques, se observa que el 28% de ese universo tiene más de 18 años y el 40%, más de 13 años en servicio. Si bien estas unidades móviles no producen emisiones por no contar con un motor incorporado, su avanzada antigüedad podría aumentar las posibilidades de fallas en alguno de sus componentes si no se mantienen adecuadamente.

De acuerdo con las normas europeas de emisiones para motores diésel conocidas comúnmente como EURO, un

camión diésel año 2003 (con 15 años de antigüedad) debería cumplir norma Euro III, mientras que uno año 2011 (con 7 años de antigüedad) debe cumplir con la norma EURO V, tal como muestra el cuadro 1.

Cuadro 1
Normas europeas sobre emisiones para motores diésel HD, en g/kWh

Tipo	Fecha	Ciclo de ensayos	CO	HC	NOx	PM
Euro I	1992, < 85 kW	ECE R-49	4.5	1.1	8	0.612
			4.5	1.1	8	0.36
Euro II	Oct. 1996	Oct. 1998	4	1.1	7	0.25
			4	1.1	7	0.15
Euro III	Oct. 1999	ESC & ELR	Solo EEVs ^a			
			1.5	0.25	2	0.02
Euro IV	Oct. 2005	ESC & ELR	2.1	0.66	5	0.10
			1.5	0.46	3.5	0.02
Euro V	Oct. 2008		1.5	0.46	2	0.02
Euro VI	Ene. 2013	ESC & ELR	1.5	0.13	0.4	0.01

Fuente: Elaboración propia con información de la Unión Europea.
^a EEV: Enhanced environmentally friendly vehicle.

En el año 2017, solo 4 países de Sudamérica (Argentina, Brasil, Chile y Colombia) exigían estándares de emisión superiores a EURO III; Perú y Uruguay cumplían EURO III; Bolivia (Estado Plurinacional de), Ecuador y Venezuela (República Bolivariana) exigían normas inferiores a EURO III; mientras que en Paraguay no existía una normativa asociada a las normas de emisión vehicular. (UNEP, 2017).

I. Emisiones GEI y consumo energético

La contaminación del aire representa un importante riesgo para la salud de las personas, se estima que fue la causa de 4,2 millones de muertes prematuras por año debido a la exposición a partículas pequeñas de 2,5 micrones ($PM_{2,5}$) causantes de enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer. Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma. (OMS, 2018).

El consumo de energía en el transporte debe considerar las etapas en los diferentes niveles funcionales que subyacen a la prestación de los servicios de transporte de personas o mercancías (véase el cuadro 2). La primera etapa corresponde a las transformaciones de la energía para pasar de la extracción de la fuente primaria a la disponibilidad en el vehículo (WTF = Well-To-Tank, del pozo de petróleo al tanque del vehículo). La segunda etapa es el proceso que conduce a la movilidad, es decir, los cambios en el vehículo para la transformación de la energía almacenada en el tanque (o batería) en la fuerza



de tracción capaz de asegurar el mismo movimiento del vehículo y su carga útil (TTW = Tank-to-Wheel, del tanque a la rueda). Estas dos etapas se definen a veces conjuntamente como el consumo total de energía involucrada en las transformaciones y las características operacionales de los vehículos (WTW = Well-to- Wheel, del pozo a la rueda).

Cuadro 2
Emisiones de CO₂ y consumo energético en las diferentes etapas

Tipo de vehículo	Emisión de CO ₂ (g CO ₂ /km)			Energía Utilizada (MJ/100km)		
	WTT	TTW	WTW	WTT	TTW	WTW
Eléctrico	78	0	78	118	52	170
Hibrido Gasolina-Electricidad	36	75	111	52	116	168
Hibrido Diesel-Electricidad	36	68	105	52	107	159
Biodiesel	-101 a -22	125	44 a 103	45-437	163	207-600
B7-Biodiesel (FAME) hasta 7% v/v con Diesel	14-19	120	137-140	31-56	163	193-219
Etanol	-127 a 30	146	19-176	187-427	204	391-630
E10-Etanol hasta 10% v/v con Gasolina	17-28	150	166-178	48-64	204	252-268
E85 - Etanol hasta 85% v/v con Gasolina	-82 a 29	143	61-171	142-312	199	341-459
GNC (EU-mix)	30	132	163	38	232	271
Biometano	-290 a -33	132	-158 a 99	231-503	232	463-736
GLP	17	142	160	26	216	241
Gasolina	29	156	185	39	211	250
Diesel	25	120	145	33	163	196

Fuente: JEC, 2014.

Los combustibles alternativos son una parte relevante de la discusión pública sobre el transporte y aunque la mayoría de ellos reducen las emisiones de GEI y la dependencia de los derivados del petróleo, pocos reducen el consumo de energía final, el detalle y potenciales de cada uno de ellos se presenta en las secciones siguientes.

II. Nuevas tecnologías de combustión para la movilidad y logística de carga

Como fue visto en la sección anterior, el transporte utiliza mayoritariamente combustibles no renovables, principalmente diésel por su competitividad en comparación a otras alternativas y las dificultades que presenta su sustitución a gran escala. Sin embargo, los fabricantes automotrices han venido desarrollado versiones de motores cada vez más competitivos que utilizan otras fuentes de energía como gas natural, GLP, electricidad, biocombustibles, hidrógeno y otros.

El desarrollo y masificación de este tipo de vehículos no depende solamente de la tecnología de combustión de los motores, sino que también de la existencia de una serie de otros aspectos como la disponibilidad del combustible, la cobertura de la red de abastecimiento, la existencia de servicios de mantenimiento y repuestos, entre otros. En el caso de tecnologías de vanguardia como puede ser la electromovilidad, el hidrógeno o el mismo gas natural, las ganancias en eficiencia energética y reducción de otras externalidades negativas como la contaminación en sus diversas formas, justifican la inversión no solamente privada sino también pública por los beneficios sociales que este recambio tecnológico traería para la sociedad en su conjunto. Ejemplo de ello son los sistemas de propulsión híbrida en autobuses, capaces de reducir el consumo de combustible hasta en un 30%, dependiendo del tipo de viaje, aunque el monto de la inversión todavía representa alrededor de un 25% a 30% adicional a las alternativas convencionales. Para apalancar este recambio tecnológico, algunos países de la UE han tomado distintas medidas para promover el recambio de vehículos. En Bélgica, por ejemplo, los propietarios de

automóviles reciben bonos por reemplazar sus vehículos antiguos por otros que tengan emisiones de CO₂ inferiores a 146 gr/km, en Estocolmo se utiliza el cobro por congestión para vehículos que no sean eléctricos; mientras que en otros países, el valor de los peajes de las autopistas dependen también de los niveles de emisión del vehículo. (UNECE, 2015).

A continuación, se presentan algunas de las fuentes energéticas usadas por el transporte en el mundo, sus características principales y elementos diferenciadores, analizadas por su penetración relativa en el mercado.

A. Biocombustibles

Los biocombustibles ya forman parte de la lista de combustibles para el transporte (por ejemplo, E10, E85 y B7) y cuentan con una infraestructura para el suministro en aquellas localidades donde su uso es intensivo (por ejemplo, el etanol en Brasil). Son actualmente el tipo más importante de combustibles alternativos y se utilizan en mezclas con combustibles convencionales (etanol-gasolina y biodiesel-diésel). Un automóvil de gasolina funciona mejor con una mezcla de hasta un 20% de etanol sin tener que modificar el diseño del motor, aumenta la potencia y disminuye el consumo. A nivel global, estos representaron el 2% de los combustibles utilizados para el transporte mundial en 2012 y se espera que su participación siga creciendo, representando un 3% para el final de la presente década, un 3,8% en 2030 y el 4,6% en 2040 (IEA, 2017b).

Los biocombustibles se producen a partir de una amplia gama de materiales y pueden usarse directamente o mezclados con combustibles fósiles convencionales. Incluyen bioetanol, biometanol, biodiesel de aceites vegetales, dimetil éter (DME), y compuestos orgánicos, y se agrupan por generaciones. Los de primera generación se refiere al etanol de cultivos ricos en azúcar o almidón y biodiesel (FAME) de aceites vegetales. Los de segunda generación son producidos a partir de materias primas que no se utilizan como alimento, materiales lignocelulósicos, la parte orgánica de los residuos sólidos y líquidos, aceites vegetales, grasas animales, residuos forestales y agrícolas; incluyen bioetanol y biodiesel producidos a partir de tecnologías convencionales, basados almidones o cultivos energéticos; y las tecnologías de producción suelen ser más complejas y costosas que los biocombustibles de primera generación, se consideran generalmente más sostenibles, con el potencial de menores emisiones de GEI. Los de tercera generación incluyen los biocombustibles de algas, hidrógeno de biomasa y metano sintético.

La mayoría de la producción actual es a partir de cultivos agrícolas como el maíz, la caña de azúcar y la colza, a pesar de que solo el 1% de los predios mundiales se utilizan para producir biocombustibles. Globalmente el

16% de los aceites vegetales (colza, soja, palma y girasol) se usan para biodiesel, 15% de maíz se usa para bioetanol. Basado en una evaluación de la disponibilidad de biomasa sostenible, se estima que los biocombustibles basados en los residuos y desechos forestales podrían contribuir entre el 12% y el 15% de la energía para el sector del transporte en 2030, lo que representa un ahorro total de GEI de alrededor del 8% al 11%.

Para los biocombustibles, el costo de los vehículos y la infraestructura no es una barrera para su introducción en el mercado, ya que tienen la ventaja de la compatibilidad con la infraestructura de distribución de combustible existente, hasta ciertos límites de mezcla. Las mezclas más altas requieren algunas adaptaciones al vehículo, especialmente los materiales de la línea de combustible y del motor. Los biocombustibles de segunda y tercera generación requieren un capital inicial mayor, por lo tanto, los incentivos en el largo plazo son imprescindibles para financiar ese tipo de proyectos.

Los biocombustibles en mezcla podrían producir un poco menos de *PM*, monóxido de carbono (*CO*) y emisiones de hidrocarburos (*HC*), pero podrían aumentar las emisiones de *NO_x* y producir otros contaminantes como los aldehídos. Las mezclas de bioetanol reducirían significativamente las emisiones de *NO_x*.

B. Gas natural y biogás

El gas natural y el biometano se consideran como un solo combustible (CH₄, metano). El gas natural tiene origen fósil, en cambio el biometano proviene de fuentes renovables o materias primas (cultivos energéticos, residuos agrícolas, fracción orgánica de estiércol de ganado o lodo de aguas residuales) y debe ser purificado para su utilización en motores. Los recursos de gas natural exceden considerablemente a los del petróleo, y hay grandes reservas mundiales accesibles. Además, se estima que las nuevas técnicas de extracción podrían haber multiplicado las reservas disponibles hasta por un factor de tres en los últimos años.

La madurez tecnológica permite la existencia de una amplia gama de automóviles, autobuses y camiones con motores de combustión que funcionan a base de GNC (gas natural comprimido) o con GNL (gas natural licuado), siendo el gas natural el único combustible alternativo capaz de cumplir con la eficiencia y el rendimiento energético de los motores diésel (JEC, 2014). Para el GNC, el gas natural debe comprimirse a 200 bar y dispensarse en modo gaseoso; y para el GNL, debe manejarse como un líquido criogénico (a -162 °C). La construcción de terminales de regasificación ha permitido que países no productores puedan acceder a este combustible desde mercados internacionales a precios más competitivos. Existe una

extensa red de reabastecimiento de combustible en algunos países, pudiendo suministrar ambos tipos de gas en la misma instalación mediante plantas de regasificación satélite (PSR). Su distribución es a través de gasoductos o mediante camiones cisterna (en forma de GNL).

Su autonomía permite un rango de conducción de hasta 500-900 km con GNC (más gasolina de reserva); en cuanto al GNL, su autonomía sobrepasa los 1000 km; y en motores mixtos (diésel-gas) convertidos, la autonomía también aumenta.

El uso de gas natural y biometano tiene bajos niveles de emisiones contaminantes (principalmente NO_x), casi cero emisiones de SO_x y cero emisiones de PM . El ruido reducido es otra ventaja en comparación con combustibles tradicionales.

C. Gas licuado de petróleo (GLP)

El GLP es una mezcla de hidrocarburos (propano, butano y en pequeños porcentajes de propileno y butileno) y se produce naturalmente en los procesos de extracción y refinación del gas natural y el petróleo. Para su almacenamiento, se mantiene líquido en tanques presurizados, pero se gasifica en el motor del vehículo. Se distribuye en camiones cisterna hasta las estaciones de servicio y cuenta con una extensa red de suministro en aquellos países que han logrado una mayor utilización.

Al ser coproducido con gas natural y productos derivados del petróleo, se espera que la disponibilidad de GLP se mantenga alta. Además es posible generar bioGLP renovable mediante procesos de síntesis de combustibles líquidos a partir del gas natural (gas a líquidos, GTL). En el futuro, se planea que la energía eólica se utilice para sintetizar combustibles líquidos mediante el uso del exceso de electricidad y la captura de carbono de la atmósfera en forma de CO_2 (energía a líquidos, PTL).

La utilización de GLP en motores de ciclo Otto (encendido por chispa) ha ido en aumento en los últimos años, impulsado por la oferta de vehículos dedicados y el crecimiento de la infraestructura de recarga, muy similar a la de combustibles tradicionales (en equipamiento y costo). Además, los principales mercados que prefieren este combustible han desarrollado modelos de conversión de vehículos para aquellos que ya mantienen un kilometraje, y mantienen una producción constante de partes y piezas que ha permitido el uso continuo.

Los últimos avances tecnológicos han demostrado que la inyección de GLP en estado líquido mejora la eficiencia volumétrica y produce un efecto de enfriamiento que hace más eficiente el funcionamiento del motor. Debido a su composición química simple y combustión gaseosa, el GLP se mezcla fácilmente con el aire en el motor y exhibe propiedades de combustión generalmente superiores

a los combustibles líquidos, se quema con casi ninguna emisión de partículas, emite menos NO_x , HC y CO que los combustibles tradicionales. (JEC, 2014).

D. Electromovilidad

El transporte eléctrico o electromovilidad, está siendo desarrollado con fuerza por varios fabricantes de vehículos, mejorando la tecnología de la batería continuamente en términos de rendimiento y costo. Mientras tanto, la red de estaciones de carga (electrolineras) sigue en desarrollo para mejorar los tiempos de repostaje y la cantidad de puntos de abastecimiento.

La autonomía de un vehículo eléctrico está dada por la cantidad de baterías que incluye, y cada batería adicional también significa peso adicional que debe impulsar el motor, es decir, mientras mayor sea el peso del conjunto, mayor será también su consumo energético. Para recorridos interurbanos aun es limitado por su baja autonomía, y la opción se presenta mediante vehículos híbridos.

En la etapa inicial, el uso intensivo de vehículos eléctricos requerirá medidas significativas de almacenamiento de energía para equilibrar la oferta y la demanda en la red. A largo plazo se espera que la electromovilidad sea parte de un sistema de red inteligente y controlada, actuando como un almacenamiento eléctrico descentralizado, regulando la carga de vehículos eléctricos para que coincida con la disponibilidad de generación de electricidad renovable, lo que sería una utilización más eficiente de la capacidad de generación y almacenamiento en los entornos urbanos. Esto es debido a que las baterías de los vehículos tienen el potencial de ser utilizadas para suministrar electricidad a la red durante los períodos de baja generación de electricidad renovable.

La electrificación de los vehículos permite una reducción de GEI y de los niveles de ruido, además no producen emisiones de NO_x ni partículas (PM), mientras funcionan en modo de accionamiento eléctrico. Sin embargo, su sostenibilidad depende de la fuente de generación de electricidad, por lo que para una movilidad eléctrica sostenible es fundamental que los países avancen hacia una matriz energética renovable y baja en carbono.

E. Hidrógeno

El hidrógeno (H_2) se obtiene con vapor de metano (descarbonizando el hidrocarburo) o partir de energía renovable (electrólisis). Las vías de producción de hidrógeno difieren en términos de costo, desempeño ambiental, eficiencia y madurez tecnológica. Se ha demostrado que es factible almacenarlo a gran escala en una formación de sal subterránea o como porción de la mezcla de gas natural de la red. Es posible convertir hidrógeno en metano sintético (CH_4),

mediante la reacción del H_2 producido con CO_2 , pudiendo utilizarse productos de desecho de plantas de biogás o de la atmósfera. Este gas natural sintético (GNS) tiene la misma composición química que el gas natural y el biometano, por lo tanto, puede inyectarse como mezcla (hasta 5% de H_2 permite en la red de gas). En términos de movilidad y suministro de combustible, no requiere un cambio en los hábitos de los usuarios y ofrece beneficios sustanciales en términos de sostenibilidad ambiental y energética.

En la actualidad, el hidrógeno se produce en cantidades significativas principalmente para fines industriales y de refinación, para la hidrosulfuración y otros procesos productivos, sin embargo, el usado en las celdas de combustible debe ser purificado a un alto nivel para no afectar su rendimiento. El hidrógeno como combustible es visto como una de las soluciones clave para la energía a gran escala en el largo plazo, pero debe solucionar su limitada autonomía. Al ser almacenado a 800 bar, un depósito de hidrógeno entrega un 13% de la energía que entregaría el mismo depósito con diésel. Los sectores público y privado se unieron en 2008 para la primera Empresa Común de Pilas de Combustible e Hidrógeno (FCH JU, del inglés Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking), con el objetivo promover la coordinación y la colaboración en todo el sector y acelerar la comercialización de las tecnologías de pilas de combustible e hidrógeno.

III. Recomendaciones

Alcanzar una movilidad y logística sostenible, segura y asequible requiere de una diversificación de fuentes de energía renovables y bajas en carbono. Por consiguiente, las políticas de movilidad y logística deberán estar más integradas y gestionarse desde una perspectiva sistémica como lo ha venido resaltando la CEPAL. Para aumentar la eficiencia y reducir los costos del sistema, se requerirá no solamente de un espectro más amplio de tecnologías y combustibles, sino también de nuevas herramientas de planificación, marcos regulatorios de apoyo y un mayor diálogo político tanto nacional como con en el ámbito regional. Los países en desarrollo pueden beneficiarse de la integración regional en términos de desarrollo de capacidades, aplicación de las mejores prácticas, soluciones institucionales y normativas, el desarrollo de metodologías comunes para la recopilación y la métrica de datos.

La región presenta casos exitosos a nivel de reconversión tecnológica, donde tanto Argentina con el GNC como Brasil con el etanol, lograron un porcentaje de utilización de un 30% (AIE, 2012). Estos ejemplos regionales, muestran la ventana de oportunidad que la existencia de recursos energéticos locales puede representar para algunos mercados que debe ser potenciado con la generación de conocimiento y servicios de valor agregado. Por ello es fundamental una estrategia

de largo plazo con participación pública y privada que favorezca la coordinación entre las compañías productoras, importadoras, empresas distribuidoras y las estaciones de servicio para consumidores finales de modo tal de sortear la fase inicial de los mercados. Es decir, aquella donde no hay fuerzas de demanda tecnológica ("technology push") como tampoco demanda del mercado ("market pull") debido a los bajos niveles de economía de escala y a que los consumidores son reticentes a pagar esta diferencia (Grubb, 2004).

La experiencia en los vehículos híbridos confirma que una tecnología disponible en el mercado puede necesitar mucho tiempo para ganar cuotas de mercado significativas (IEA, 2012). Pese a estar este tipo de motores disponibles desde 1997, se necesitaron 13 años para alcanzar el 1% de las de ventas totales en el mundo. Por lo tanto, la entrada al mercado de nuevas tecnologías podría ser una tarea difícil, sin el apoyo decisivo de política del gobierno. Durante la Cumbre del Clima de las Naciones Unidas (2014) se revisó la Iniciativa Urbana de Movilidad Eléctrica, donde se planteó que para aumentar un 30% la cuota de vehículos eléctricos en 2030, sería necesario una inversión sustancial en infraestructura de recarga.

Las inversiones en infraestructura siguen siendo altas debido a los costosos equipamientos y la necesidad de construcción de las estaciones en lugares atractivos (carreteras muy frecuentadas o autopistas). Con el fin de lograr un desarrollo del mercado exitoso, la voluntad en los consumidores a exigir un transporte sustentable tiene que ser incrementada, así como también la disposición de la industria y las empresas a ofrecer dichos servicios de transporte.

El costo de combustible en la estación de servicio es una herramienta clave para la introducción de los AFV, por ello en varios países, el gas natural es más barato que la gasolina o el diésel, facilitando la amortización del vehículo. La principal barrera para el desarrollo de mercado del GNC es la falta de una red de puntos de recarga, y a pesar de la elevada inversión que requiere (5 a 7 veces más elevada que los combustibles convencionales), es menor que para otros combustibles alternativos. El desarrollo de la infraestructura para el uso de GNL (como combustible para camiones) puede ser abordado por la industria, siempre y cuando exista certeza sobre el volumen futuro del mercado y se generen incentivos para que los clientes adquieran estos vehículos a pesar de su mayor valor. En los países en desarrollo no miembros de OCDE, los altos precios de vehículos con combustible alternativo (por ejemplo, híbridos o eléctricos), la carga insostenible de subsidios y la falta de infraestructura podrían limitar su uso generalizado.

Medidas fiscales como la nivelación de impuestos a los combustibles, la eliminación de subsidios a los combustibles tradicionales, y la priorización de fondos e incentivos a la Investigación y Desarrollo (I+D), puede estimular a los

mercados a buscar opciones menos contaminantes. En cuanto a I+D es importante debido a su capacidad para apoyar tecnologías de recambio en su etapa primaria de desarrollo, potenciando las capacidades regionales, dada su riqueza en materia prima, y reduciendo al mismo tiempo los altos riesgos de la inversión. En búsqueda de la combinación óptima entre los componentes del marco regulatorio, debe tenerse en cuenta que los mecanismos de mando y control, incentivos económicos y las campañas de información no son mutuamente excluyentes, a pesar de que tengan diferentes propósitos. Por lo tanto, diferentes países pueden dar prioridad a diferentes medidas dependiendo de sus necesidades y de la capacidad institucional para aplicar el marco reglamentario.

Todas las tecnologías presentadas en este documento buscan favorecer la eficiencia energética, disminuyendo la dependencia del diésel y la contaminación que esto genera, sin embargo, no resuelven los actuales problemas de movilidad que presentan las ciudades como congestión; uso equitativo del espacio entre peatones, ciclistas, motocicletas y vehículos; y saturación de la infraestructura vial existente. Es por ello, que la recomendación es a favorecer la movilidad colectiva o compartida mediante sistemas de carpooling, *coopetition* y potenciación de los medios de transporte público con una extensión hacia el uso de otros medios de transporte masivo como el ferrocarril que en conjunto podrían lograr un desarrollo sostenible.

Independiente de la necesidad de analizar y profundizar sobre tasas e impuestos grabados en cada uno de los combustibles de uso vehicular, se listan a continuación algunas buenas prácticas adicionales a seguir para un transporte eficiente dentro de un entorno de convivencia vial sostenible.

Políticas de desguace (chatarización). Nuevos automóviles se integran cada año a la flota de los vehículos motorizados, mientras otras unidades viejas y altamente contaminantes continúan en servicio. Un aspecto muy importante es que la autoridad se asegure que los equipos retirados de circulación (mediante mecanismos de subsidios a la renovación de vehículos) sean efectivamente destruidos y convertidos en chatarra, y no enviados a ciudades más pequeñas o zonas rurales, ya que en estos casos la medida del subsidio no cumple con su objetivo sino que además incrementa el parque automotriz y simplemente traslada los problemas de contaminación y seguridad de un lugar a otro.

Configuración de la flota es muy importante para la reducción de los GEI, pues un vehículo más grande también emite más, independiente del combustible que utilice. Es por ello que con el objetivo de limpiar la última milla, se ha restringido el acceso a vehículos mayores, permitiendo en cambio la entrega en motocicletas y pequeños automóviles que idealmente sean eléctricos o de alguna tecnología que disminuya las emisiones.

Mantenimiento de Vehículos, la mayor contaminación del transporte es producida por vehículos diésel, especialmente, aquéllos con una avanzada edad. Estudios comparativos entre países han confirmado la importancia de dirigirse al pequeño porcentaje de vehículos mal mantenidos, responsables de la mayoría del 50% de los contaminantes (CEPAL, 2014a). La falta de recursos, tales como la capacitación del personal y la mala calidad del equipo de pruebas, además de la atomización que caracteriza el sector transporte en América Latina podrían explicar en parte que no se alcancen economías de escala para un mantenimiento adecuado de los equipos.

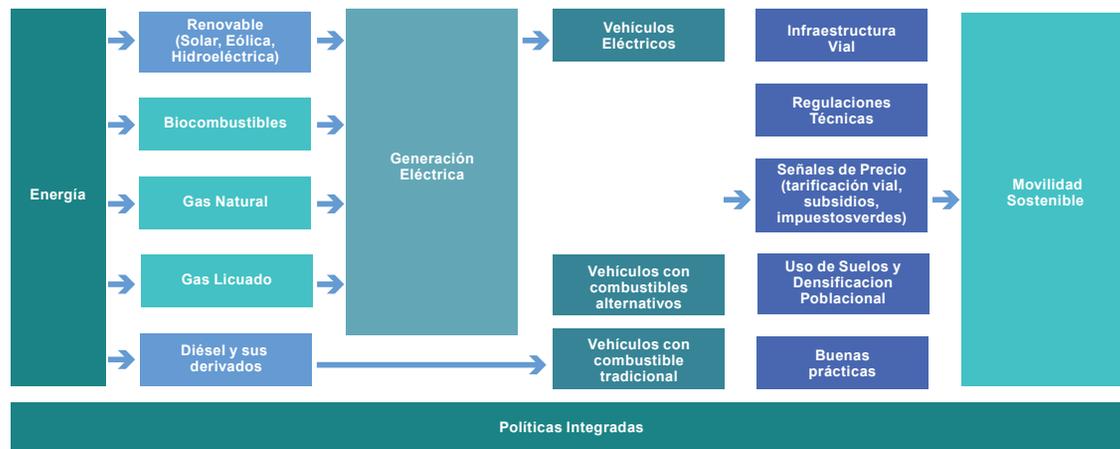
Adopción de buenas prácticas de conducción. Es necesario actuar de forma simultánea en criterios tales como Eco-conducción (capacitación a los conductores para operar los vehículos más energéticamente eficiente); la reducción de las distancias recorridas por vehículo; evitar el funcionamiento del vehículo en ralentí, apagando el motor cuando no se está realizando actividades propias de la operación; y evitando viajes de camiones vacíos, ya que el 13% de los camiones-kilómetro circulan vacíos en el transporte internacional (McKinnon, 2012). El conductor de un vehículo tiene un rol importante en el avance tecnológico de los AFV, ya que entrega el *feedback* necesario para corregir aquellas debilidades que presentan los vehículos en su periodo de operación y/o notar las fortalezas que contribuyan a la masificación de unidades.

Las autoridades gubernamentales deben apoyar la producción de combustibles alternativos, los sistemas de transporte con combustibles alternativos y las infraestructuras pertinentes, respetando al mismo tiempo el principio de neutralidad tecnológica¹. Es importante no perder el foco de diversificar la matriz energética del transporte terrestre, donde un mix de combustibles alternativos que se han presentado en este informe podría generar el impacto deseado. Cada operación particular de transporte, podría necesitar un tipo de combustible diferente de su competencia según su capacidad de inversión e infraestructura de recarga aledaña al centro de operaciones, por lo tanto, es fundamental el análisis de todas las variables locales para maximizar la utilización de la infraestructura y tecnología existente.

La generación de evidencia e información, serán fundamentales para la toma de decisión de los operadores de transporte, que hoy se encuentran con muchas dudas sobre el funcionamiento de los AFV y la red de suministro asociada. En este sentido, además de un subsidio a la compra de vehículos, los esfuerzos deben enfocarse en generar una red puntos de recarga y comunicar oportunamente los planes de desarrollo a los usuarios finales para acelerar un recambio esta envergadura.

¹ La neutralidad tecnológica hace referencia a la eliminación del interés propio o sesgo político frente a la opción de elegir la tecnología más apropiada según las necesidades y requerimientos particulares de cada país para el desarrollo, adquisición, utilización o comercialización de los vehículos e infraestructura asociada.

Diagrama 1
Visión de Energía para una Movilidad Sostenible.



Fuente: Elaboración Propia.

IV. Bibliografía

- BID (2017), "El transporte automotor de carga en América Latina, soporte tecnológico de la producción y el comercio".
- CEPAL (2017a), "La demanda de energía del sector transporte y cambio climático en Honduras".
- ____ (2017b), "Las energías renovables no convencionales en la matriz de generación eléctrica".
- ____ (2016), "Estadísticas de producción de electricidad de los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA)".
- ____ (2014a), "Eficiencia Energética y Movilidad en Latinoamérica y el Caribe, Una hoja de ruta para la sostenibilidad".
- ____ (2014b), "Antecedentes generales sobre subsidios a la renovación de buses urbanos".
- ____ (2013a), "Cálculo y etiquetado de la huella de carbono".
- ____ (2013b), "Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático".
- ____ (2008), "Aporte de los biocombustibles a la sustentabilidad del desarrollo de América Latina y el Caribe, Elementos para la formulación de políticas públicas".
- ESCAP (2015), "Developments in Transport in Asia and Pacific".
- ____ (2008), "Energy security and Sustainable".
- European Commission (2015), "State of the art on Alternative Fuels Transport Systems in the European Union".
- European Expert Group on Future Transport Fuels (2011a), "Future Transport Fuels".
- ____ (2011b), "Infrastructure for Alternative Fuels".
- Feng, W. and M. Figliozzi (2012), "Bus fleet type and age replacement optimization: a case study utilizing king country metro fleet data".
- Grubb, M. (2004). "Technology Innovation and Climate Change policy: An overview of issues and option".
- IEA (2017a), "Energy Technology Perspectives 2017, Catalyzing energy technology transformations".
- ____ (2017b), "World Energy Outlook".
- ____ (2012) "Energy Technology Perspectives 2012".
- IGU (2012), "Natural Gas Conversion Pocketbook".
- JEC (2014), "Well to Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context".
- McKinnon (2012), "Improving the Energy Efficiency of Freight Transport: A Logistical Perspective".
- OLADE (2013), "Simulación de Medidas de Eficiencia Energética en los Sectores Industrial y Transporte de América Latina y el Caribe al Año 2030".
- OMS (2018), "Calidad del Aire y Salud".
- SE4ALL (2013), "Global Tracking Framework".
- Sen, A. K. y otros (2014), "Effect of ethanol addition on cyclic variability in a simulated spark ignition gasoline engine".
- UNECE (2015), "Transport for sustainable development. The case of inland transport".
- UNEP (2017), "Combustibles y vehículos más limpios y eficientes".
- United Nations (2003), "Blue Corridor Project, on the use of natural gas as a motor fuel in international freight and passenger traffic".

V Anexo Directorio de Siglas

- AFV:** Alternative Fuel Vehicle
- ALC:** América Latina y el Caribe
- DME:** dimethyl ether
- DPF:** diesel particulate filter
- EIA:** Environmental Impact Assessment
- FAME:** Fatty Acid Methyl Esters
- FCH JU:** Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking
- Ft:** foot
- GEI:** Gases Efecto Invernadero
- Giga Tonelada (GTon)=** 1.000.000.000 (mil millones) de Toneladas
- GNC:** Gas Natural Comprimido
- GNL:** Gas Natural Licuado
- GTL:** Gas to Liquid
- GWh:** Giga Watt Hora
- IEA:** International Energy Agency
- IRENA:** International Renewable Energy Agency (Agencia Internacional de Energía Renovable)
- Km:** kilómetros
- M³:** metros cúbicos
- MJ:** Megajoules
- OCDE:** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
- OEM:** Original Equipment Manufacturer
- PTL:** Power to Liquid
- SCR:** selective catalytic reduction
- SICA:** Sistema de la Integración Centroamericana
- SNG:** Gas Natural Sintético
- Tep:** tonelada equivalente de petróleo (en inglés toe)
- TIC:** Tecnologías de Información y Comunicación
- UN:** United Nations