

# CONSTRUCCIÓN INTELIGENTE

SALVADOR GIL

# TRANSPORTE SOSTENIBLE EN ARGENTINA



EN PROCESO DE DISEÑO

Contenido

Resumen

Introducción

Emisiones del transporte

El GNC en el Mundo y Argentina

## 1. Eficiencia energética de vehículos

1.1 Costo de los insumos energéticos

1.1.1 Eficiencia y eficacia de Pozo a Rueda

1.2 Vehículos Alternativos

1.2.1 Vehículos Eléctricos a Batería (BEV-Battery Electric Vehicle)

1.2.2 Vehículos Híbridos Eléctricos (HEV- Hybrid Electric Vehicle)

1.2.3 Vehículos a Hidrogeno con Celdas de Combustible (FCEV- Fuel Cell Electric Vehicle)

1.2.4 Vehículos de combustión interna (VCI) a GNC y a gasolina

1.2.5 Vehículos Híbridos (HEV)

## 2. Vehículos Eléctricos

## 3. Emisiones del Transporte Automotor

## 4. Costo Nivelado de Transporte (CNdT)

4.1 Automóviles livianos compactos

4.2 Mini vehículos urbanos

## 5. El GNC en Argentina Transporte Público

## 6. El transporte pesado

6.1 Gama de camiones con gas natural licuado GNL

## 7. Reflexiones finales

## 8. Conclusiones

Anexo A- Emisiones de vehículos de transporte

Anexo B- Consumo de gas natural en el transporte

Consumo de GNC en Argentina

## 9. Referencias

EN PROCESO DE DISEÑO

## Resumen

El transporte es un factor fundamental de desarrollo y bienestar en el mundo. No es concebible el mundo moderno sin su compleja red de transporte, que usamos para movilizarnos y transportar mercancías en los centros urbanos, interurbanos, nacionales y mundiales. Por otro lado, en el mundo el transporte es responsable del 26% de las emisiones de energía y del 16% de las emisiones totales. Además, el transporte no solo es causante de una fracción importante de las emisiones globales, responsables del calentamiento global; sino también de emisiones contaminantes locales: partículas microscópicas, gases tóxicos, etc., que causan numerosas enfermedades y muertes. Al mismo tiempo, la flota de vehículos tiene un crecimiento notable. De mantenerse la tendencia actual, el número de vehículos en 2050 puede llegar a triplicar el que había en 2010.

En Argentina y el mundo estamos asistiendo a grandes cambios en el modo de enfocar los desafíos sociales, energético y medioambientales de los medios de transporte actuales. En particular, en la era de la post-pandemia, ¿qué modos de movilidad prevalecerán, como los más sostenible y adecuados? En este trabajo deseamos analizar tanto los costos de movilidad en distintos medios de transporte como sus impactos ambientales. En particular, en el caso del transporte público, queremos explorar la posibilidad de usar otras tecnologías y vehículos, como bicicletas, *scooters*, buses eléctricos y a gas natural, etc. y comparar sus costo e impacto ambientales con las distintas alternativas existentes. Argentina cuenta con una de las flotas más grandes del mundo de vehículos livianos a Gas Natural Comprimido (GNC) y dispone de una importante infraestructura de transporte, distribución y estaciones de carga de GNC. Por consiguiente, sería viable la ampliación de la flota a GNC, en particular en lo que hace a transporte público de pasajero y transporte pesado. Sin embargo, el problema de un transporte sustentable excede ampliamente la de tecnología de los vehículos de transporte e incluye el tipo de organización social, económica y urbanística que muchas veces favorece el traslado de bienes y personas en forma permanente, que por sus distancias, fuerza el uso de vehículos como buses y automóviles en detrimento de otros más sostenibles como bicicletas, *scooters* o mini-auto, entre otros. En este contexto, cabe preguntarse ¿cuáles pueden ser los modelos de ciudades del futuro que propendan a reducir los viajes y que tipo de combustibles e insumos energéticos sería conveniente utilizar en el sector del transporte en las próximas décadas? En este trabajo analizamos las implicancias económicas y medio ambientales de distintas tecnologías de vehículos de transporte público en Argentina y algunas estrategias de organización de ciudades más sostenibles que reduzcan el impacto ambiental del transporte a la vez de favorecer el desarrollo económico y la inclusión social. En el mediano plazo, es previsible que la movilidad eléctrica alcance un gran desarrollo en el mundo y en el país, particularmente a medida que el costo de las baterías y los vehículos disminuya, particularmente en vehículos livianos, motos y bicicletas. Sin embargo, la flota de buses y camiones es previsible que tenga una transición más lenta hacia la electricidad. Es aquí donde se abre una interesante posibilidad para la incorporación de vehículos pesados a gas. Además de contribuir a reducir los impactos ambientales, y reducir los costos en combustibles, esta nueva demanda podría ser un estímulo importante para apuntalar el desarrollo de la explotación de los yacimientos no convencionales de gas en Argentina.

EN PROCESO DE DISEÑO

## Introducción

La pandemia de COVID-19, ha tenido un impacto global sin precedentes, tanto en la sociedad como en la economía, en los modos de relacionarnos, de trabajar, de producir, de transportarnos, etc. que aún resulta difícil de evaluar sus impactos futuros. Lo que sí es probable es que el mundo post-pandemia no será igual al anterior. Un resultado observado durante los períodos de cuarentena fue una notable reducción de la circulación de vehículos y personas y la consecuente mejora en la calidad del aire en la mayoría de las ciudades de todo el mundo. Esta experiencia abre la expectativa que quizás un futuro más sustentable sea posible. Restricciones impuestas por la cuarentena, permitieron el desarrollo de nuevas formas de trabajo y producción que, aunque latentes, en este período tuvieron un gran desarrollo. Como el *home-office* y las clases y reuniones virtuales, etc. Hubo una disminución sin precedentes en el tráfico por carretera, los viajes aéreos y transporte de pasajeros, alguno de ellos con impactos económicos muy negativos pero otros que permiten visualizar nuevas formas de trabajar, estudiar, organizarnos y producir, que pueden reducir los tiempos y costos de transporte y lograr modos más sostenibles de trabajar y relacionarnos. (1)

Un transporte sostenible debería contribuir a reducir la contaminación del aire en las ciudades y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), a la par de reducir el uso de recursos no renovables. Asimismo, debería de ser asequible a mayor cantidad de personas, en particular los sectores más vulnerables, que dependen de los medios públicos para trabajar y estudiar.

En el presente estudio pretendemos incorporar no solo consideraciones ambientales con respecto a la sostenibilidad sino también consideraciones de salud, y bienestar individual y comunitario para destacar el papel del individuo como actor responsable en el logro de un transporte socialmente deseable, útil y eficiente.

¿Qué lecciones podemos aprender de la experiencia vivida en 2020 y parte de 2021?; ¿se podrán preservar y mejorar los programas de teletrabajo o *home-office* en el mercado laboral, y el de las escuelas y universidades en la post-pandemia?; ¿será posible mantener la producción y el empleo sin la presencia física obligatoria?; ¿cómo acelerar los cambios de las modalidades de trabajo para lograr ciudades más limpias y amigables para sus habitantes?; ¿será posible acelerar la transición hacia un transporte que use menos energías contaminantes y más renovables?. Tal vez las experiencias vividas nos incitan a explorar nuevas formas de trabajo y transporte que resulten conveniente y oportuno de discutir a la luz de esas experiencias.

Desde luego, los interrogantes que se abren exceden por largo el objetivo del presente estudio, pero al menos trataremos en el presente estudio de hacer algunos modestos aportes metodológicos que esperamos, puedan ser un aporte para un análisis más global y exhaustivo sobre este tema.

En una primera mirada, podemos visualizar tres vías o ejes que puede contribuir a la reducción de las emisiones del transporte. Una primera vía o eje sería el de la *Eficiencia en el sistema o eficiencia social y territorial*, consistente en modificar las distintas formas de organización social, económica y urbanísticas de modo de minimizar los viajes. Este enfoque pone atención al diseño de la ciudades y barrios para reducir los traslados masivos de personas, como a veces ocurre con el diseño de barrios dormitorio, tan en boga en Argentina, que obliga a los habitantes a viajar, a veces, grandes distancias

para trabajar, ir a las escuelas, y realizar sus compras. Otra alternativa posible, es la de promover en la medida de lo posible el trabajo remoto, privilegiar trámites online, etc. y así minimizar los viajes de traslado.

Un segundo eje de discusión es la de *Eficiencia en los viajes*, a los efectos de promover una movilidad en medios de transporte más eficientes y con menos emisiones, como transporte público, bicis, bicis eléctricas, etc. que reduce el consumo de energía y emisiones en cada viaje. Promover el *carpooling* o viajes compartidos, y otras alternativas similares.

Un tercer eje, sería el de mejora en *Eficiencia en los vehículos*, esto es el análisis de vehículos más eficientes y menos contaminantes, de modo de reducir las emisiones en cada viaje. En el presente trabajo, analizaremos principalmente esta alternativa, sin perder de vista las otras dos.

En los últimos años han ocurrido muchos cambios significativos en el mercado de la energía en el mundo. Por un lado, asistimos a un gran desarrollo de las energías renovables, en particular la eólica y solar fotovoltaica (FV), que ya están desplazando a otras fuentes tradicionales en la generación eléctrica. Por otra parte, el gran desarrollo de *shale gas* en el mundo, en particular en los EE.UU. y más recientemente en Argentina, (2) (3) lo que plantea un nuevo escenario energético a nivel mundial.

En los últimos años la producción en *shale gas* y *shale oil* en Argentina continuó creciendo. Según datos de la Secretaría de Energía, la producción no convencional de gas aumentó 34% interanual en julio de 2019 y la de petróleo, un 53% del mismo período. En 2019, la producción de gas fue la más alta en 14 años con 144 millones de metros cúbicos diarios ( $m^3/d$ ). Entre 2014 y 2019 la producción de gas convencional tuvo una caída en la producción del 15%, el no convencional (*shale gas*) compensó con creces esa reducción, con un incremento de producción de alrededor de un factor 4. Así en total en 2019 se producía casi 25 millones de  $m^3/día$  más que en 2014. (4) Las potencialidades de crecimiento de la producción de gas y petróleo en Argentina, con políticas adecuadas son muy importantes. Sin embargo, la gran intermitencia de la demanda local de gas natural, con picos muy pronunciados en el invierno y fuertes reducciones de la demanda en verano, hace que sea difícil el abastecimiento por la producción del gas no convencional, ya que dicha producción requiere de una demanda continua. Esta situación determina que la oferta de gas nacional no pueda exceder por mucho la demanda de verano. Esto tiene como consecuencia que Argentina deba acudir al mercado internacional para abastecer su demanda invernal. Esta situación provoca, que la oferta de gas local está limitada. Una posible demanda adicional de gas, que podría abrir un nuevo mercado para este insumo energético, sería utilizarlo más intensivamente en el transporte. De hecho, la flota de buses a gas natural en la Unión Europea (UE) y en muchos otros países ha tenido un fuerte desarrollo en los últimos años.

Conforme a lo señalado, parecería oportuno y procedente explorar esta posibilidad en Argentina, una característica interesante de la demanda de combustibles para el transporte es que tiene una demanda constante a lo largo de todo un año y de suave crecimiento. Otra posibilidad interesante es explorar la potencialidad de utilizar tanto Gas Natural Comprimido (GNC) como Gas Natural Licuado (GNL o LNG) en el transporte pesado. De hecho, Argentina fue pionera en el desarrollo de vehículos a GNC y cuenta con una de las flotas más grande del mundo de vehículos livianos que usa este combustible. Además, nuestro país, dispone asimismo de una importante infraestructura de transporte, distribución y



estaciones de carga de GNC, como también una fuerte industria que provee equipos de apoyo para los vehículos a GNC, por lo que, resulta posible la ampliación de la flota a GNC, en particular en lo que hace a transporte público de pasajero. Por otra parte, con los desarrollos recientes de pequeñas plantas de producción de Gas Natural Licuado (GNL) se abre la posibilidad de usar este combustible en la flota de transporte público y pesado. Si tenemos en cuenta que el gas natural cuesta entre 2 y 3 veces menos que la misma energía con combustibles líquidos tradicionales (gasolina y gasoil) y genera menos emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de energía que dichos combustibles líquidos, creemos oportuno realizar un estudio más detallado para explorar la posibilidad de expandir la demanda de gas natural en el transporte.

A nivel local, existe un gran consenso en que el gas natural seguirá teniendo un rol protagónico en la matriz energética Argentina. Además, los recursos de *shale oil* y de *shale gas*, que ya están siendo explotados y continúan perfilándose como una gran oportunidad para el país. Por otra parte, el nuevo precio del gas a nivel local y mundial, hacen necesario reevaluar los escenarios tanto de la oferta como la demanda y visualizar nuevas demandas que favorezcan el desarrollo de las potencialidades que el país tiene en el gas natural.

En este trabajo nos proponemos realizar una revisión del gas natural en el transporte. En particular nos proponemos explorar la posibilidad de utilizar el gas natural en el transporte, en especial el transporte público urbano. Nos proponemos analizar la viabilidad económica de utilizar el GNC como un combustible alternativo en una etapa de transición hacia un modo más sostenible y asequible de trasladarnos. Nos planteamos, asimismo, realizar un estudio comparativo de las Emisiones Gaseosas Vehiculares que funcionan con Motores de Combustión Interna (MCI) a gasolina, a gas natural y gasoil, como así también Vehículos Eléctricos a Batería (VEB o BEV). La idea es poder visualizar las posibles ventajas y desventajas de un eventual desarrollo tanto del gas natural como la electricidad en el sector de transporte nacional a la vez de visualizar los modos más sostenibles de traslado en esta y la próxima década. Al mismo tiempo se describen las principales obras de infraestructura que este sector demandará en el período 2021-2035 para posibilitar estos eventuales desarrollos. Como se indicó, existe un gran consenso en que el gas natural seguirá teniendo un rol protagónico en la matriz energética Argentina, sin embargo, ante los nuevos desafíos globales y locales, es imprescindible incorporar la sostenibilidad en el desarrollo energético nacional y en particular en el sector del transporte, con una mirada que trascienda la coyuntura actual.

### **Emisiones del transporte**

Según la Agencia Internacional de Energía (AIE) (5), (6) el transporte es responsable del 16% de las emisiones totales de GEI en el mundo y del 22% si solo consideramos las emisiones asociadas a la energía. Los GEI no solo incluyen el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) producido en la combustión, sino también varios otros gases como: metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), clorofluorcarbonos (CFC), ozono (O<sub>3</sub>), Hexafluoruro de Azufre (F<sub>6</sub>S), entre los más importantes.

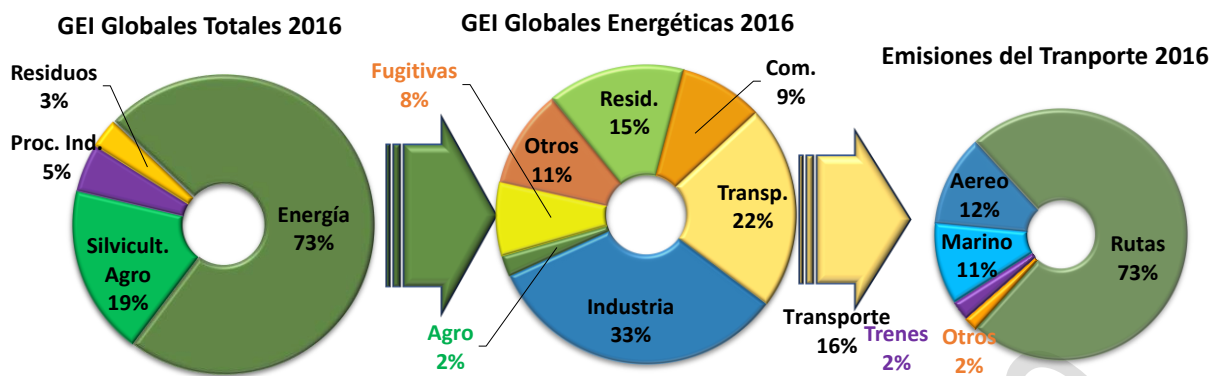


Figura 1. Izquierda, distribución de las emisiones globales asociadas a la energía en 2016, a la derecha la distribución de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas sólo al transporte. Carga se refiere al transporte de carga, Ruta a vehículos livianos y autobuses (autos, buses, motos, etc.). Aéreo es el asociado al transporte Aéreo. Marino, se refiere a este tipo de transporte, para el año 2018. (5), (7)

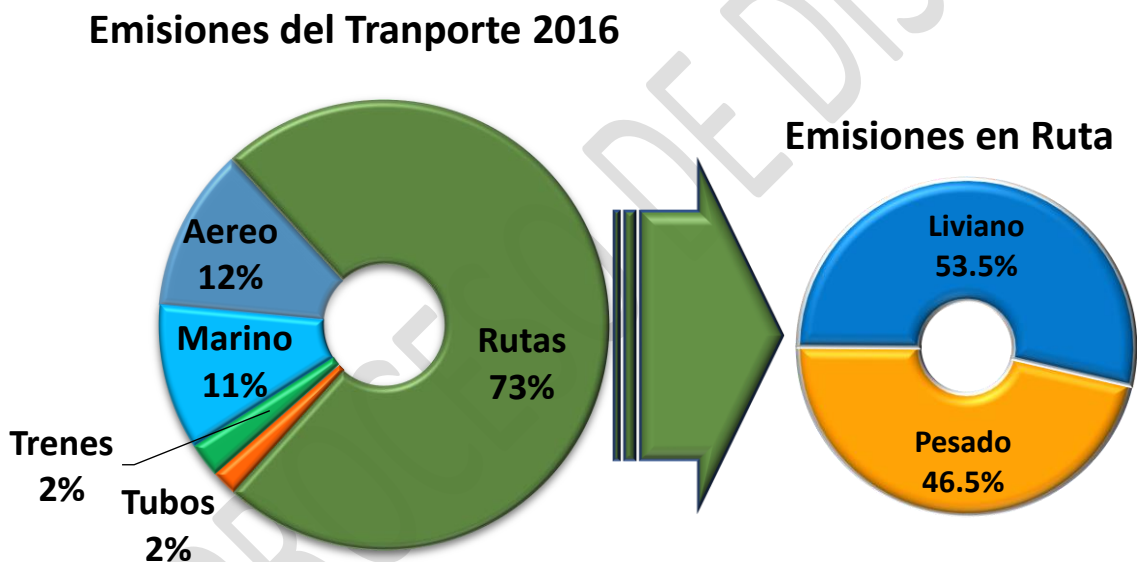


Figura 2 Distribución de las emisiones de GEI en el transporte a nivel mundial en el año 2016. Aquí emisiones en ruta se refieren a las emisiones de los vehículos que circulan por carreteras. Liviano hace referencia a autos particulares, motos, etc. Pesado, hace referencia a vehículos de transporte de carga, camiones y autobuses.

En la *Figura 1* (derecha) vemos las emisiones globales. Silvicult. Agro, significa las emisiones generadas por la silvicultura (actividades relacionadas con el cultivo, el cuidado y la explotación de los bosques), la explotación agrícola, ganadera y usos de la tierra. Proc. Ind., indica las emisiones producidas como productos secundarios de algunas industrias, como en la fabricación de cemento, amonio, etc. no asociados a la producción de calor o energía. Residuos, son las emisiones asociadas a los desechos orgánicos, depósitos de relleno, etc. Por último, las emisiones de Energía son las emisiones producidas por todas las actividades que usan energía para general calor, movimiento y electricidad. Esta componente es la asociada a la quema de combustibles fósiles. En el anillo central de la *Figura 1* se muestra la distribución de las emisiones asociadas al uso de la energía, el transporte en 2016 era el 22% de las emisiones de energía, pero el 16% de las totales. Por último, en el anillo de la

derecha de esta figura, se muestra cómo se distribuyen las emisiones según los distintos modos de transporte. Aquí Ruta, refiere a los vehículos que circulan por carreteras: camiones, automóviles, motos, autobuses, etc. que contribuyen con el 73% a las de transporte. La Figura 2 muestra cómo se distribuyen las emisiones en ruta, el 53,5% corresponde a vehículos livianos y el 46,5% a los pesados. La aviación, que a menudo recibe mucha atención en los debates sobre la acción contra el cambio climático, representa solo el 12% de las emisiones del transporte, similar al transporte marítimo (11%). Así, mientras en el mundo las emisiones del transporte son del orden del 16% de total, en Argentina su valor es de aproximadamente el 14% del total, ver *Figura 4*. (8)

Existe una creciente preocupación a nivel mundial por el calentamiento global que está experimentando la Tierra por causas de las emisiones antropogénicas. Se estima que el 73% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), son consecuencia del uso de combustibles fósiles (9), por lo que, es prudente e imperioso que disminuyamos nuestras emisiones.

Sin embargo, los vehículos de transporte, además de las emisiones de GEI que tiene un impacto global en el clima, existen otras emisiones de gases y materia particulada (PM), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono (CO), entre otros, que tiene una implicancia directa en la salud de las personas que viven en las zonas aledañas donde se emiten, generado múltiples enfermedades respiratorias, cáncer, Alzheimer y enfermedades cardiovasculares. Por esta razón estas emisiones se denominan *emisiones locales*, para diferenciarlas de los GEI que se denominan *emisiones globales*.

En la *Figura 3* se muestra cómo se distribuyen las emisiones de GEI en la República Argentina al año 2016. (10) Por su parte en la *Figura 34* se muestra cómo se componen las emisiones asociadas al transporte para el año 2014. (11)

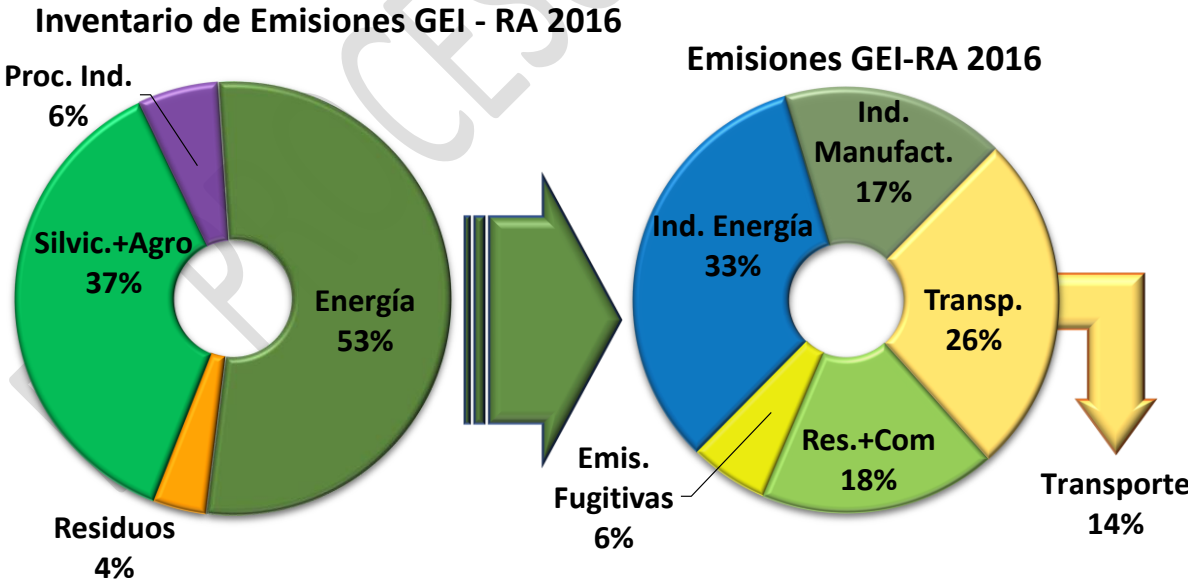
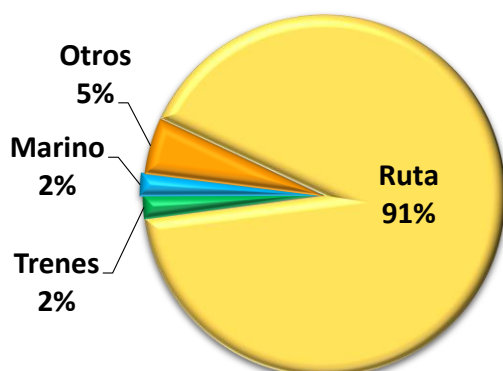


Figura 3 Inventario de las Emisiones de GEI para la República Argentina en 2016. Izquierda, distribución de las emisiones totales. Silvic.+Agro, se refieren a las emisiones asociados a la silvicultura, agricultura y ganadería. Energía, a todas las emisiones asociada este rubro. A la derecha se muestra cómo se componen las emisiones de energía. El impacto del transporte en el total es de aproximadamente el 14%. (10)

## Emisiones del Transporte RA



## Tipo de Vehículo

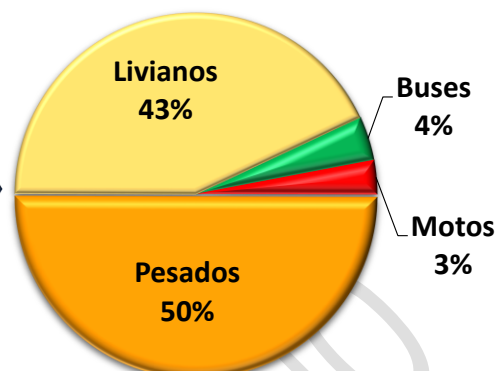
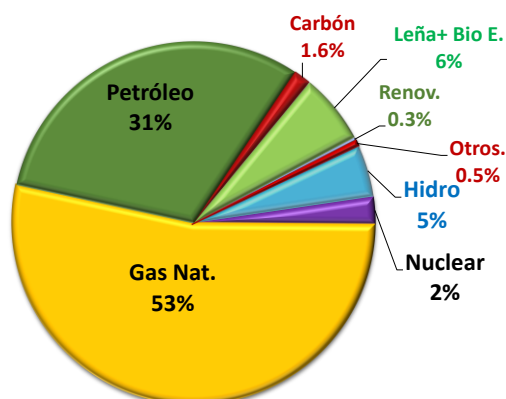


Figura 4 Distribución de las Emisiones de GEI del transporte en la República Argentina en 2014. (11) Izquierda, distribución de las emisiones según los distintos tipos de medio de movilidad. A la derecha composición de las emisiones de rutas según los tipos de vehículos.

## El GNC en el Mundo y Argentina

En Argentina, como en muchos países del mundo, aproximadamente un tercio de la energía primaria se utiliza en el transporte, ver *Figura 5*.

### Energía Primaria- RA 2019



### Consumo Energético - RA 2019

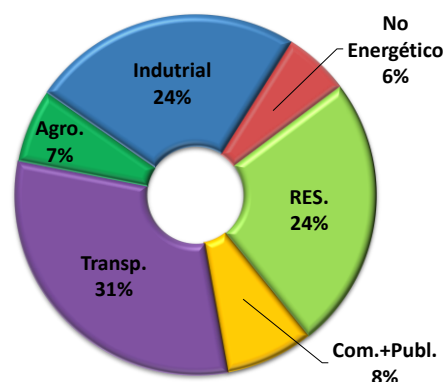


Figura 5. A la izquierda, se muestra la distribución de fuentes primarias usadas en Argentina. A la derecha, la energía secundaria entre sus distintos usos finales, correspondiente al año 2019. Aquí Com.+ Publ. se refiere a la energía usada en actividades comerciales y públicas; Agro. es la energía usada en la producción Agropecuaria; y Transp. es la energía usada en el Transporte. No Energético se refiere a los insumos energéticos que se usan como materia prima para fabricación de productos (plásticos, fertilizantes, etc.) y RES. es el uso residencial. (4)



## Vehículos a GNC

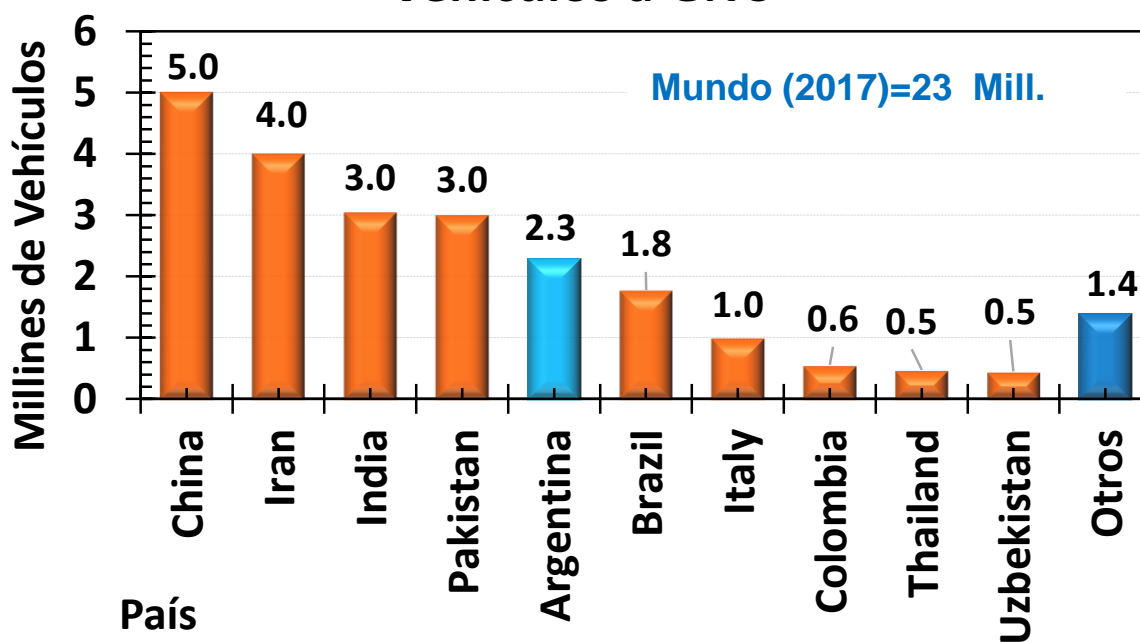


Figura 6. Parque de vehículos livianos impulsados a GNC (NGV) en el mundo. (12)

En este país, el gas natural juega un rol crucial. No sólo constituye el combustible más importante de la matriz energética nacional, sino que la red de transporte y distribución disponible es una de las más amplias del mundo. De la flota de aproximadamente 23 millones de vehículos impulsados a Gas Natural Comprimido (GNC) que existían en el mundo en 2017, más de 1,9 millones estaban en Argentina, *Figura 6*. Esto nos convierte en uno de los países con mayor desarrollo de esta tecnología. Disponemos además de una importante infraestructura, numerosas estaciones de carga distribuidas en casi todo el país y una desarrollada industria de equipos para vehículos a GNC.

La flota de transporte en Argentina tiene una distribución en número de vehículos que se muestra en la *Figura 7*. Nótese que, el transporte pesado, con una flota del orden del 6% en número de vehículos, es responsable del 50% de las emisiones. Esto se debe en parte a la mayor intensidad energética, o consumo por unidad, de los vehículos pesados. Ver *Figura 4*.

## Parque automotor argentino 2018

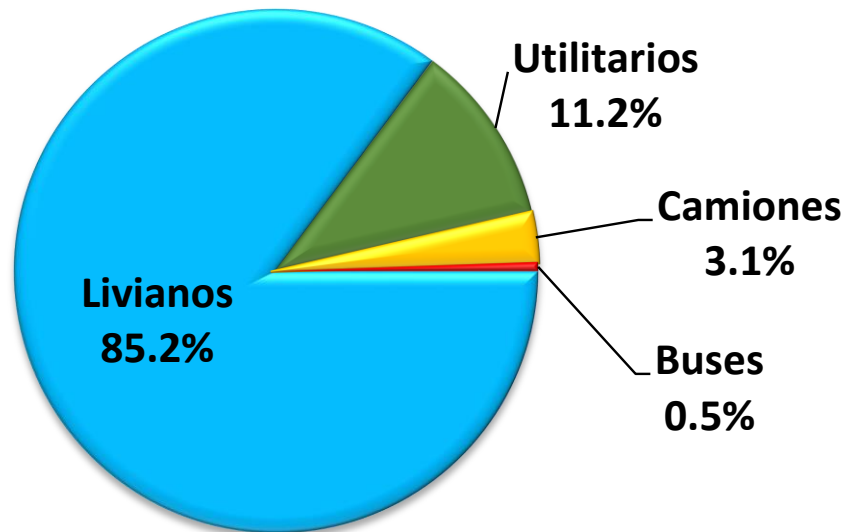


Figura 7. Parque automotor en Argentina en el año 2018. Los automóviles de pasajero (autos) constituyen en número aproximadamente el 85% del parque automotor. Utilitarios se refiere a vehículos tipo furgones o pick-ups usadas para el transporte liviano. Camiones se refiere a los vehículos utilizados para el transporte de carga y buses hace referencia al transporte de pasajeros. (13) (14)

EN PROCESO DE

## 1. Eficiencia energética de vehículos

Dado que tanto los consumos de combustibles como las emisiones de GEI dependen críticamente de la eficiencia de los vehículos, haremos una breve descripción de algunos conceptos básicos. Desde luego, no toda la energía de los combustibles que se carga a un vehículo llega a las ruedas, gran parte de ella se pierde en fricción y calor. Las pérdidas de energía de un vehículo se pueden clasificar en tres categorías: las pérdidas *en ruta*, las pérdidas asociadas a la *carga útil* y las pérdidas de *conversión*. (15), (16)

En general el concepto de *eficiencia* hace referencia al cociente entre los que denominamos energía útil y la energía empleada. Por ejemplo, si queremos calentar una pava de agua, el objetivo es elevar la temperatura del agua, así la energía útil en este caso sería  $E_{\text{util}} = m_{\text{agua}} \cdot c \cdot \Delta T$ , la energía usada,  $E_{\text{usada}}$ , es la cantidad de energía que entregamos al artefacto para hacer esta tarea. Así la eficiencia es:  $\varepsilon = E_{\text{util}}/E_{\text{usada}}$ . Como se ve la eficiencia es un número adimensional muchas veces expresado en porcentaje. Para medir la efectividad de una tarea, a veces es útil introducir el concepto de *eficacia*. Se define como en cociente entre un resultado útil y la energía empleada para lograrlo. Por ejemplo, en una lampara la *eficacia* se obtiene por el cociente de luz visible emitida por la lampara en Lumen (Lm) y la energía usada para lograrlo, se mide en Lm/W. En forma similar, en un medio de transporte, el objetivo es trasladarnos, y la *eficacia de un vehículo* se mide en km/kWh o km/MJ.

Pérdida de energía en ruta: Todos los vehículos, independientemente de su tipo, tienen pérdidas de energía al circular por la ruta, que incluye: a) la fricción del aire, b) la fricción mecánica (rodamientos, ejes, transmisión, frenado, etc.), y c) la resistencia de rodadura de las ruedas. Estas pérdidas de energía están presentes en todos los vehículos. La pérdida de energía por unidad de distancia recorrida, debido a la fricción con el aire, aumenta con el *cuadrado de la velocidad* del vehículo, mientras que las otras pérdidas son casi independientes de la velocidad. *Figura 8*.

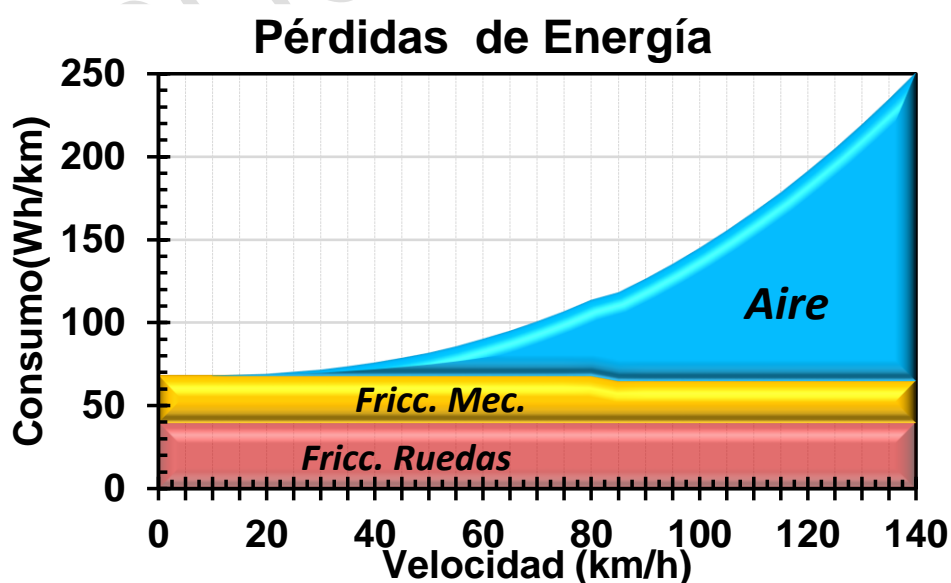


Figura 8. Diagrama esquemático del consumo de energía por kilómetro como función de la velocidad para un vehículo cualquiera. (16)

Las pérdidas por fricción con el aire pueden reducirse con un diseño aerodinámico adecuado. Asimismo, con neumáticos de baja resistencia de rodadura y con la presión adecuada, pueden reducir las pérdidas de energía en rodaduras y neumáticos. Las pérdidas mecánicas se pueden reducir mediante el diseño de frenos, cojinetes y otros componentes giratorios de menor fricción.

Una primera consecuencia del análisis de las pérdidas en rutas, es que, frente a las mismas condiciones de funcionamiento, al reducir la velocidad de por ejemplo 100 km/h a 60 km/h, las pérdidas en ruta se reducen en un factor 2!. Esta es la razón por que muchas veces se recomienda el manejo lento, particularmente en las ciudades. No solo se *mejora la eficiencia y el consumo, sino que se reducen los accidentes*, en especial los fatales.

Otro factor muy importante en la eficiencia es el peso del vehículo. Al disminuir el peso, se reduce la potencia necesaria para impulsarlo, por lo que el tamaño del motor se reduce, tanto en potencia como en peso. Un menor peso a su vez disminuye las pérdidas de energía en los frenados, ya que la energía cinética es proporcional a la masa del vehículo, por lo tanto, hay una gran ventaja en hacer el vehículo lo más ligero posible. Vehículos pequeños, livianos y con buenos diseños aerodinámicos para reducir la fricción con el aire.

Otra pérdida importante de energía en los vehículos se produce en las detenciones periódicas por frenado. En los vehículos convencionales, el motor con sus ineficiencias intrínsecas impulsa el vehículo que adquiere cierta velocidad y energía cinética, al frenar en el siguiente semáforo toda esta energía se pierde. En muchos vehículos híbridos o eléctricos, se utilizan *frenos regenerativos*. (17) En este caso, parte de la energía cinética de automóvil se usa para cargar las baterías, de modo que no toda la energía cinética del vehículo se pierda en las paradas.

Eficiencia asociada a la carga útil: En muchos casos, la masa asociada a los vehículos es mucho mayor a aquella carga útil que se desea transportar. Por ejemplo, un vehículo compacto de  $m_{veh}=1.400$  kg que transporta un pasajero de  $m_{pas}=70$  kg. Este es un caso común de un vehículo mediano conducido por una persona. Aquí la *relación carga útil* a la masa total (pasajero +vehículo) será:  $R_{cu} = m_{pas}/(m_{pas}+m_{veh}) = 1/21$ . Como la energía necesaria para poner el vehículo a velocidad de crucero y las consecuentes pérdidas por frenado, son proporcionales a la masa total, la eficiencia efectiva,  $\epsilon_{ef}$ , para transportar la carga útil será la eficiencia del vehículo,  $\epsilon_{veh}$ , multiplicada por la *relación carga útil*, es decir:  $\epsilon_{ef} = \epsilon_{veh} \times R_{cu}$ . Por lo tanto, es conveniente que la relación  $R_{cu}$  sea lo más cercana a 1, es decir, que el vehículo que transporta al pasajero sea lo más liviano posible.

En este sentido, un modo simple de incrementar la eficiencia efectiva es transportar más pasajeros por vehículo. La eficiencia efectiva se duplica cuando viajan dos pasajeros en un auto en lugar de solo uno. Se triplica si viajan tres y así sucesivamente. Lo cual es una razón fuerte para impulsar y promover el *CarPooling* (18) o viajes compartidos.

NOTA: es importante destacar que las pérdidas de energía discutidas más arriba, es decir, las pérdidas en ruta (fricción de ruedas, mecánicas, y aire), masa del vehículo, diseño aerodinámico y carga útil, son las mismas para cualquier tipo de vehículo. Independientemente de la tecnología usada para impulsarlo, es decir: tracción a sangre, motor de combustión interna, eléctrico, etc. Por lo tanto, hay



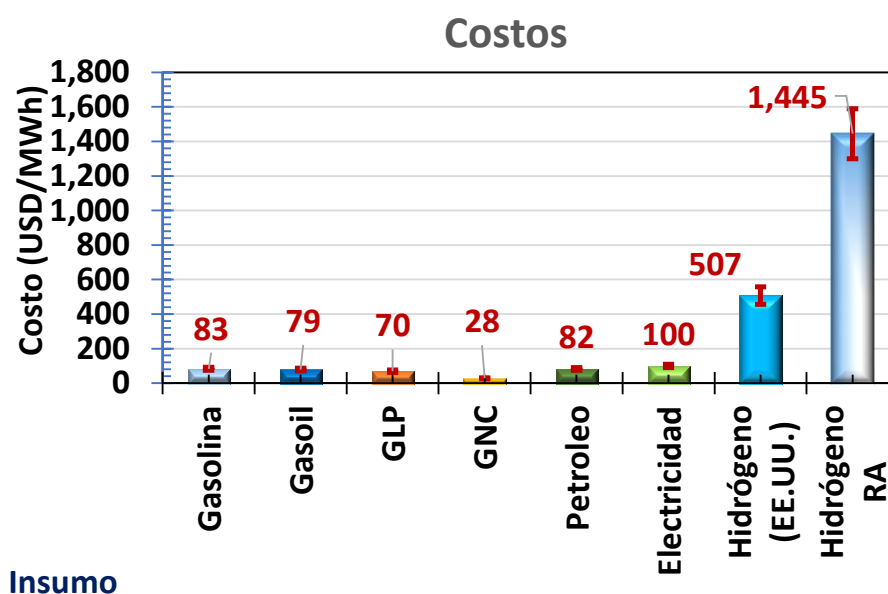
varias características de los vehículos que usamos, cuyos rendimientos pueden mejorarse considerablemente, entre el 20% al 30%, haciendo un manejo adecuado de los vehículos, por ejemplo, teniendo los neumáticos inflados a las presiones adecuadas, buena lubricación y funcionamiento de cojinetes, manejar a velocidad bajas en las ciudades, haciendo *car pooling* (aquí las mejoras en eficiencia son aún mayores), etc. Otra medida importante es elegir las rutas de menor consumo, para lo cual ya hay muchas aplicaciones asociadas a GPS que pueden brindar esta información. Esta son algunas de las medidas que están en la base de lo que suele llamarse “*Eco Driving*” o manejo verde o eficiente, que por su simplicidad y fácil acceso no debe subestimarse y que en el mundo tiene un auge creciente. (19), (20)

Eficiencia de Conversión: se refiere a la eficiencia con que el motor del vehículo transforma la energía de los combustibles o la acumulada en batería en energía mecánica. En el caso de los motores eléctricos, esta transformación es muy eficiente, en general superior al 90%. Por otra parte, en los motores de combustión interna, esta transformación está limitada por el segundo principio de la termodinámica. Por lo general en motores Diésel de automóviles compactos es inferior al 40% y en los vehículos que usan gasolina inferior al 30%. (16)

En un vehículo eléctrico, la energía química se almacena en una batería. En las baterías de litio la eficiencia de conversión de la energía química a energía eléctrica puede ser mayor que 90%, algo de energía se pierde en calor disipado en las baterías y cableados. En general, la eficiencia de la unidad de un automóvil Tesla Roadster es de 88%, casi tres veces más eficiente que un vehículo de combustión interna.

### 1.1 Costo de los insumos energéticos

Otro aspecto importante de tener en cuenta son los costos de los distintos insumos energéticos.



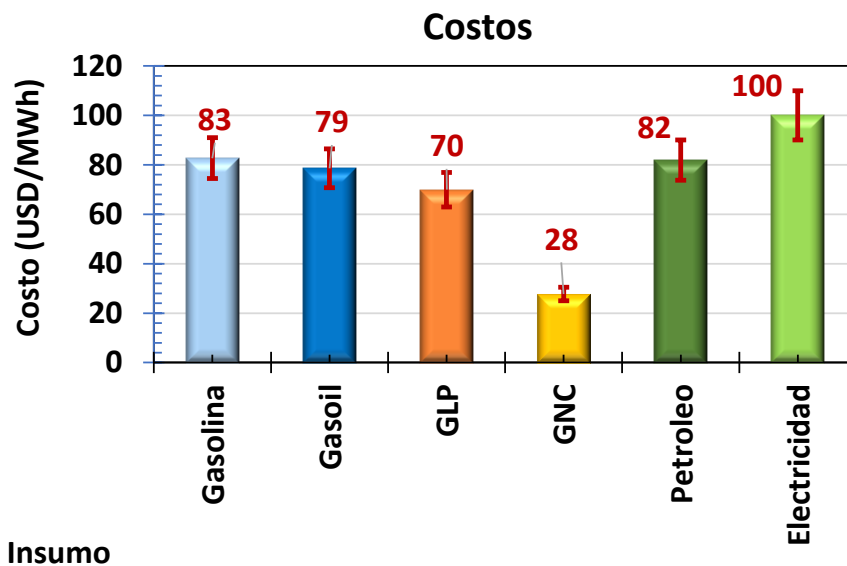


Figura 9. Costo de los distintos insumos energéticos usados en el Transporte en Argentina. Precios estimados a diciembre de 2020. Estos son precios finales, con impuestos incluidos, excepto el hidrogeno, que tomamos el precio en EE. UU.

**Pérdida de energía de conversión:** se refiere a la eficiencia con que el motor del vehículo transforma la energía de los combustibles (o la acumulada en batería) en energía mecánica. Esta eficiencia de conversión aumenta al aumentar la temperatura de motor y disminuir la de los gases de escape. Pero la resistencia de los materiales limita la máxima temperatura del motor y la temperatura ambiente pone una restricción a la temperatura de los gases de salida. En los vehículos con motores de combustión interna, entre el 60% al 70% de la energía de los combustibles se disipa en forma de calor, el resto (entre 40% al 20%) se utiliza en proveer la energía mecánica necesaria para suplir las pérdidas en ruta. (16) Sin embargo, como veremos, estas pérdidas de energía son solo una parte de la energía necesaria para movilizar un vehículo. Esto sería lo que podemos denominar eficiencia del tanque a la rueda o Tank to Wheel (T2W), ya que no considera los procesos que tienen lugar desde que se extrae el combustible (petróleo) hasta que llega el combustible (gasolina) al tanque. Ver Figura 10.

Diagrama esquemático de las pérdidas de energía en las distintas etapas desde el pozo a la rueda (Well to Wheel). En un vehículo típico de combustión interna a gasolina, la eficiencia de tanque a rueda es del orden del 21%, como se ilustra en la Figura 10, cerca del 79% de la energía de combustible se pierde en la conversión. Aquí, UE significa Unidades Energéticas. Los valores indicados en la Figura 10 son solo ilustrativos de una situación real.

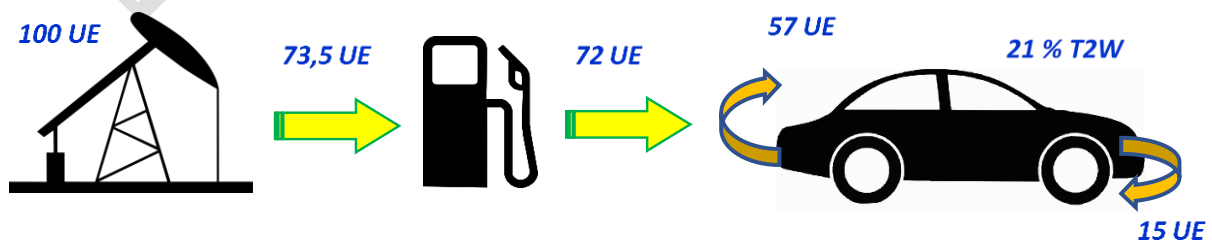


Figura 10. Diagrama esquemático de las pérdidas de energía en las distintas etapas desde el pozo a la rueda (well to wheel). En un vehículo de típico de combustión interna a gasolina, la eficiencia de tanque a rueda es del 21%, como se ilustra en esta figura, cerca del 79% de la energía de combustible se pierde en la conversión. UE significa Unidad Energética.

### 1.1.1 Eficiencia y eficacia de Pozo a Rueda

El concepto de eficiencia de *Pozo a Rueda* o "*Well-to-Wheel*" (W2W) toma en cuenta todas las transformaciones que un dado insumo de *energía primaria* sufre desde que se extrae de la naturaleza, es decir, el "Pozo" (*Well*) hasta que llega al tanque o batería eléctrica (*Tank*). También incluye la eficiencia desde que se carga de combustible el tanque o de electricidad a la batería hasta que se transforma en energía mecánica, Rueda (*Wheel*), para recorrer una dada distancia. Así la eficiencia y el consumo de "*Well to Wheel*" se puede separar en dos partes: "*Well-to-Pump*" (W2P) y "*Tank-to-Wheel*" (T2W). La primera etapa, W2P, incluye los gastos energéticos de la extracción de petróleo o gas, su transporte, distribución, procesamiento y la entrega de combustible al surtidor o toma corriente (*Pump*). El concepto de "*Tank-to-Wheel*" hace referencia tanto a la eficiencia como a eficacia conversión del vehículo propiamente dicho, desde que se carga de combustible hasta que este se transforma en energía mecánica. Este último concepto es el que se utiliza cuando se especifica el rendimiento de un vehículo con los kilómetros recorridos por litro de combustible, es decir, los km/litro o km/kWh. Así, cuando decimos que un automóvil tiene un rendimiento de 15 km/litro, estamos haciendo referencia al consumo del tanque a la rueda o "*Tank-to-Wheel*". La Figura 11 ilustra estos conceptos.

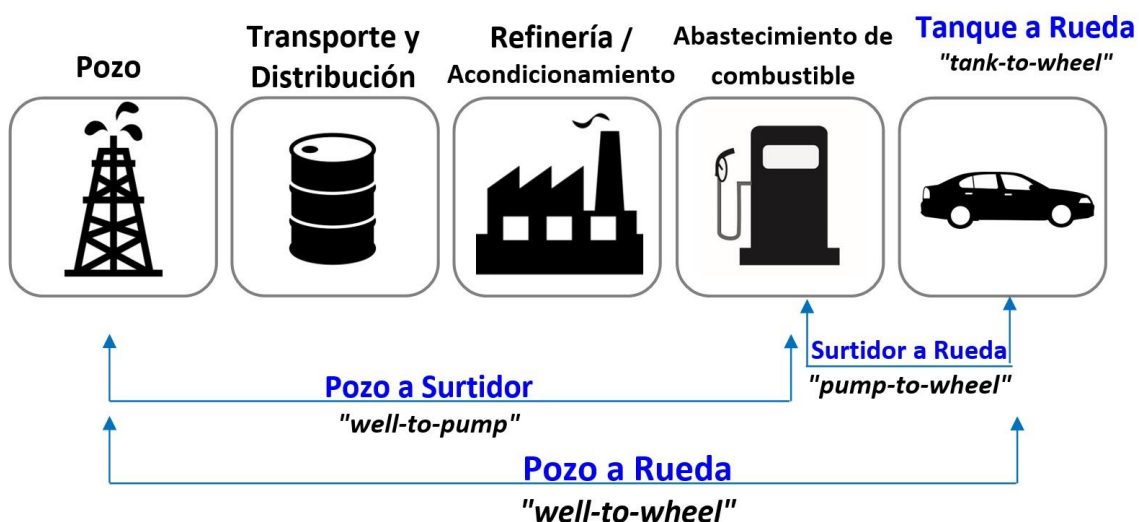


Figura 11. Esquema ilustrativo de los conceptos de eficiencia de Pozo a Rueda (Well to Wheel), Pozo a Surtidor y Surtidor a Rueda. La diferencia entre Tanque a Rueda y Surtidor a Rueda es mínima, y está asociado al gasto de energía del bombeo del surtidor al tanque. (21)

Sin embargo, para obtener un litro de gasolina, cuyo poder calorífico es de aproximadamente 8.232 kcal/l (34,5 MJ/l), es necesario tener en cuenta la eficiencia de transporte del petróleo a la refinería (~92%), la eficiencia de refinamiento (~85%) y la de distribución de la gasolina (~94%). Por lo tanto, la eficiencia del pozo al surtidor de la gasolina (W2P) es del orden de ~73,5% ( $=100 \times 0,92 \times 0,85 \times 0,94$ ). De modo que el consumo W2W para el ejemplo considerado resulta 15 km/l / (34,5/0,735) MJ/l  $\approx 0,32$  km/MJ, o también podemos decir que este auto tiene un consumo o una eficacia de 3,12 MJ/km=0,87 kWh/km. Por otro lado, por cada litro de gasolina se emite aproximadamente 2,3 kg de CO<sub>2</sub>, de modo que las emisiones W2W por kilómetro, en un modelo naive, sería  $\approx 210$  g(CO<sub>2</sub>)/km, (2.300 g(CO<sub>2</sub>)/15 km/0,73).

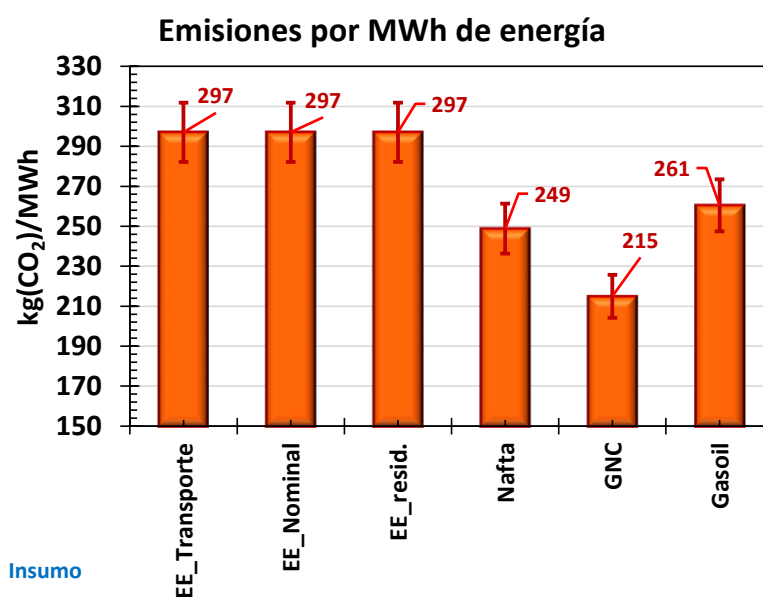


Figura 12 Costo de distintos insumos energéticos y combustibles en Argentina en USD/MWh (barras azules) y emisiones de CO<sub>2</sub> en kg(CO<sub>2</sub>)/MWh (barras naranjas). EE significa electricidad, en su valor residencial (resid), Nominal (costo sin subsidio) y transp. valor estimativo en estaciones de carga.

Nota: en esta sección hacemos un primer análisis simplificado o modelo naive o ingenuo, de las emisiones, es decir, suponemos que todo el combustible provisto a un vehículo se consume (o quema) en el motor. Como veremos más adelante y en especial en el Anexo A, este no es un modelo confiable para obtener las emisiones reales. Muchas veces hay componentes hidrocarburoados que se desprenden por el escape sin quemarse pueden alterar las emisiones reales. Además, muchas veces las emisiones dependen del estado de los vehículos, el tipo de catalizador usado en sus escapes, las normas que cumplen los distintos modelos, el modo de conducción, etc. Asimismo, estos gases son GEI y también generan contaminaciones locales muy importante, que es preciso tener en cuenta. Estas emisiones se discuten en detalle más adelante. Sin embargo, el modelo naive puede servir para dar un límite inferior de las emisiones globales. Si bien las emisiones T2W pueden obtenerse de mediciones de los mismos vehículos realizadas en otros países, bajo similares condiciones de conducción, la eficiencia W2T depende de cada país y es conveniente tener en cuenta las características de transmisión y refinamiento de cada país. En la Figura 12 se muestran las emisiones usadas como referencia en el Modelo naive.

En el caso de vehículos eléctricos, la eficiencia T2W es en general del orden del 90%, (21) sin embargo, la generación eléctrica de origen térmico en centrales de ciclo combinado a gas natural (CC-GN) tiene una eficiencia del 58%, a esto hay que agregar la eficiencia del transporte de gas (95%), la eficiencia de distribución eléctrica (88%) y la eficiencia de carga de la batería (90%). De este modo la eficiencia W2W de un auto eléctrico alimentado con electricidad de origen térmico que usa gas natural como combustible, es del orden del 40% (=100 x 0,90 x 0,58 x 0,95 x 0,88 x 0,90). Además, hay que tener en cuenta que en promedio Argentina por cada kWh genera 0,297 kg de CO<sub>2</sub>. (22) En un análisis “Well to Wheel” estas características de la generación eléctrica deben ser incluidas para comparar distintas tecnologías, por lo que, un vehículo eléctrico en Argentina, consumiría aproximadamente 0,25 kWh/km, (23), en un *modelo naive*, sus emisiones serían 75 g(CO<sub>2</sub>)/km.

Otra característica importante para destacar es que las eficiencias y las emisiones de GEI W2W no son universales, sino que depende de cada país. Esto es así, debido a las formas como se procesan y transportan los combustibles, es muy distinta de un país a otro. Lo mismo pasa con la matriz eléctrica de cada país. Hay países cuya generación eléctrica depende fuertemente del carbón, por la que las



emisiones de CO<sub>2</sub>/kWh puede ser muy distinta de otro país con una matriz eléctrica basada en recursos renovables o nucleares. La *Figura 13* muestra este aspecto en forma muy clara.

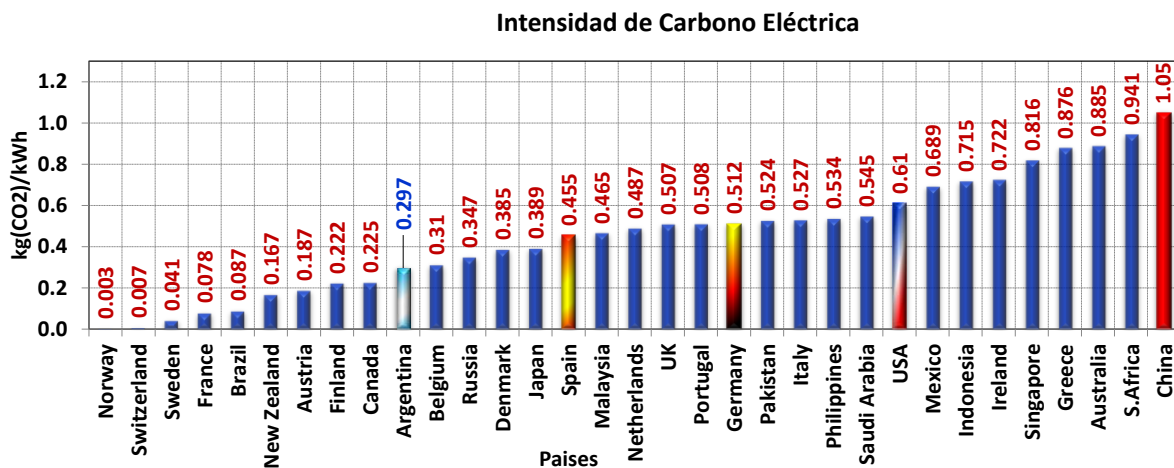


Figura 13. Intensidad de carbono de las matrices eléctricas de distintos países del mundo para el año 2018 en kg(CO<sub>2</sub>)/kWh. (24)

El concepto de eficiencia "Well to Wheel" también se usa en forma porcentual. Se refiere a la proporción de energía de un dado combustible primario que se convierte en energía útil al final de la cadena, ver *Figura 10* y *11*. Por su parte, el *consumo o eficacia "Well to Wheel"* se define como el contenido de energía primaria que se necesita para recorrer 1 km y se expresa en MJ/km o kWh/km (también puede usarse la inversa, es decir, km/kWh o km/MJ). Desde luego, en la energía se debe contabilizar todos los procesos necesarios del combustible primario para que el vehículo recorra 1 km. En el caso de un vehículo convencional a gasolina, con una eficiencia T2W del 21%, resulta que su eficiencia W2W es del orden del 15% (21% x 71,5%). Si tenemos en cuenta que frecuentemente los vehículos tienen masas entre 15 a 20 veces la de sus pasajeros resulta que un automóvil que transporta a una sola persona tiene una eficiencia energética efectiva para trasladar la carga útil (pasajero) inferior al 1%

El concepto de "Well to Wheel" fue desarrollado por el Laboratorio Nacional de Argonne. Es muy útil para evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero producidos por diversos medios de transporte (25).

Es interesante señalar, que un concepto más abarcativo para contabilizar el impacto ambiental, emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo de energía, es el *análisis del ciclo de vida* (26) de un producto, en este caso el vehículo, que tiene en cuenta la energía y las emisiones usadas para transformar la materia prima en el producto final (automóvil), su consumo durante su ciclo de vida "Well to Wheel" y finalmente la energía y emisiones producidas en el reciclado y disposición de éste. Esta metodología usada en el estudio del ciclo de vida de un producto se conoce como análisis de *Cuna a la Tumba* o ciclo "Cradle to Grave". En el caso de los vehículos livianos, no hay estudios extensivos ni homologados, pero se estima que entre el 25% al 30% de la energía total que usa un automóvil en su vida útil, (≈150.000 km), se emplea en la fabricación de los mismos. En este trabajo, solo haremos referencia al ciclo "Well to Wheel".

## **1.2 Vehículos Alternativos**

En los últimos años se desarrollaron distintas variedades de vehículos eléctricos e híbridos, mucho de ellos ya se encuentran en el mercado internacional. Aquí hacemos una breve síntesis de las variantes más populares y siglas que se usan para designarlos.

### **1.2.1 Vehículos Eléctricos a Batería (BEV-Battery Electric Vehicle)**

Estos vehículos son propulsados por electricidad almacenada en una batería de larga vida, diseñadas especialmente para este tipo de vehículos. En general son baterías de Li-Ion o baterías de níquel-hierro. Dado que la fuente de propulsión es la electricidad, en principio las emisiones de CO<sub>2</sub> del surtidor a las ruedas, T2W, son nulas. Desde luego las emisiones para generar la electricidad, producir y reciclar los vehículos no están contabilizadas en esta última aseveración. La batería se carga de la red eléctrica convencional o punto de carga públicas diseñados especialmente para este fin.

Ventajas: Entre las muchas ventajas de los vehículos eléctricos, está aquella la poseer *frenos regenerativos*. En los sistemas de freno tradicional, basados en la fricción, la energía cinética del vehículo se pierde con cada frenada. Los frenos regenerativos permiten que una fracción importante de energía cinética del vehículo se transforme en electricidad y se acumule de nuevo en la batería. Por otra parte, cuando un automóvil se detiene en un semáforo, simplemente no hay consumo. Esto contrasta con vehículos de combustión interna, donde se continúa consumiendo combustible, cuando el mismo está detenido en punto muerto. En ese sentido, los últimos años se desarrollaron vehículos Star&Stop (S&SV), (27) Este sistema de re-arranque automático es un dispositivo que para y reinicia automáticamente el motor con el fin de ahorrar combustible y para reducir la contaminación, en las paradas frecuentes que se realizan.

Desventajas: Una de las desventajas de los BEV's es que las baterías de larga vida son caras, pesadas y tienen un número de recargas limitadas (entre 300 y 1.000 veces). Por otro lado, los tiempos de recarga son en general prologados, del orden de unas 2 a 8 horas y requieren de un sistema de conexión eléctrico con "timer" que tiene un costo superior a los 1.000 USD. En los últimos tiempos se desarrollaron estaciones de carga que reducen este tiempo a fracción de una hora. Esto contrasta con los vehículos convencionales, donde la carga de combustible tarda sólo unos pocos minutos. Algunos modelos de BEV permiten cambiar las baterías en la estación de carga, con lo cual se reduce el tiempo de carga. En este caso la batería es una parte intercambiable del mismo. Sin embargo, la infraestructura tanto para las estaciones de carga rápidas como el intercambio de batería, aun en países avanzados, está en una etapa muy incipiente.

Desde luego las emisiones W2W de los automóviles eléctricos dependerá de la intensidad de carbono de la matriz eléctrica prevalente en cada país, que como se observa en la *Figura 13* este valor puede variar en forma muy notable de un país a otro.

La autonomía de cada carga en los BEV es de unos 120 a 160 km, aunque hay prototipos con autonomía de hasta 350 km. Actualmente, en EE. UU. y la UE el costo de los BEV varía entre 25.000 y 40.000 USD, o sea entre 5 a 20 mil dólares más caros que sus análogos convencionales a gasolina. Ejemplo de estos tipos de vehículos son entre muchos: Peugeot Ion Eléctrico, Nissan Leaf (240 km a 40 km/h), Renault Fluence Z.E.

### 1.2.2 Vehículos Híbridos Eléctricos (HEV- Hybrid Electric Vehicle)

Los híbridos son quizás los vehículos eléctricos más comunes y difundidos en el mercado actual. Estos combinan un motor de combustión interna eficiente y un motor/generador eléctrico para maximizar la eficiencia de combustible. El motor de combustión interna carga la batería, de este modo es posible recorrer varios kilómetros en estos vehículos usando motores eléctricos solamente. Algunos modelos más nuevos pueden combinar los dos tipos de motores (eléctrico y combustión interna) en momentos en que se requiere mucha potencia, por ejemplo, fuertes aceleraciones. Algunos modelos tienen un motor eléctrico que acciona las ruedas traseras, que permite tener tracción en las cuatro ruedas que además pueden aportar más economía en su desplazamiento.

**Ventajas:** Los híbridos ya están en el mercado desde hace más de una década, por lo que su tecnología está madura. También hay una creciente selección de modelos en venta, incluyendo variantes de alto rendimiento.

El combustible que usan es el convencional, de modo que la infraestructura de carga ya está disponible. Su manejo es similar a la de un automóvil con caja de cambios automática. Para comparación del consumo, se puede tomar el Toyota Corolla y el Prius, mientras el primero tiene un consumo (suponiendo un recorrido de 50% en ciudad y 50% en ruta) de 14,4 km/l, el segundo tiene -bajo las mismas condiciones- un rendimiento de 23,4 km/l o sea un rendimiento 62% mejor que un vehículo convencional.

**Desventajas:** La tecnología sigue siendo cara, los costos de estos vehículos en EE. UU. son de hasta unos 10 mil dólares más caros que los convencionales, así por ejemplo mientras un vehículo convencional cuesta en los EE. UU. unos 20 kUSD y su versión equivalente híbrida (HEV) cuesta unos 25 kUSD. Muchos estados de EE. UU. y el Gobierno Federal de ese país ofrecen bonos (*revates*) y descuento de impuestos que varían entre unos 3 a 5 mil dólares. Con estas medidas se estimula la difusión de estos modelos de automóviles. Su ventaja es disminuir las emisiones CO<sub>2</sub> y la contaminación en las ciudades. Ejemplo de este tipo de vehículos son: Toyota Prius, Peugeot 3008 Hybrid4, etc.

### 1.2.3 Vehículos a Hidrogeno con Celdas de Combustible (FCEV- Fuel Cell Electric Vehicle)

Estos vehículos son eléctricos, pero la fuente de electricidad es una Celda de Combustible (CC o FC) que utilizan una reacción de hidrógeno y oxígeno para producir electricidad. El abastecimiento de combustible tarda alrededor de tres minutos y la emisión de escape es sólo vapor de agua. Aunque hay prototipos de distintos fabricantes, hay muy pocos vehículos con celdas de combustibles en el mercado. En el mundo son unas pocas decenas de este tipo de vehículos en circulación a modo de ensayo, según IRENA (International Renewable Energy Agency) en 2018 la flota mundial de vehículos a FCEV era del orden de 12 mil unidades. (28)

**Ventajas:** los vehículos de celdas de combustible ofrecen la conveniencia de sistemas de propulsión eléctrica, pero con tiempo de carga similar a los convencionales. No emite gases nocivos ni CO<sub>2</sub>, durante su uso considerando solo las emisiones de T2W.

**Desventajas:** La infraestructura de abastecimiento de combustible para los vehículos de celda de combustible de hidrógeno es casi inexistente en el mundo.

El costo de estos vehículos es muy alto entre 100 a 140 mil dólares por unidad, lo mismo que el costo del combustible. En EE. UU. el hidrogeno cuesta entre 5 a 30 veces más que la gasolina por igual contenido energético (20 a 30 USD/kg). El poder calorífico superior del hidrogeno es 34.400 kcal/kg. Para la gasolina este valor es de 11.049 kcal/kg=12,8 kWh/kg. De este modo en EE. UU. el costo del hidrógeno es unas 20 a 30 veces más caro que la gasolina por unidad de energía. Además, como casi todo el hidrogeno que se produce, tanto en EE.UU. como en Argentina, proviene de la reforma del metano, la ventaja ambiental desaparece, ya que en este proceso se emite casi tanto CO<sub>2</sub> como con la quema de combustibles fósiles, así a este hidrógeno lo podemos denominar un hidrógeno "gris". Si en este proceso se captura el CO<sub>2</sub>, se obtiene un hidrógeno "blue" pero esto encarece el proceso. Solo si el hidrogeno se obtiene de fuentes renovables, (hidrógeno "green") se logra una reducción en las emisiones, sin embargo, en muy pocos países existe un exceso tan importante de energías renovables como para suplir el consumo del transporte. En Argentina, el 2019 las energías renovables (ER) eran el 6% de toda la generación eléctrica. Toda la generación eléctrica en Argentina era el 15% de la energía secundaria consumida, o sea las ER son menos del 1% del total de la energía secundaria. Como vimos la demanda del transporte es el 30% del total. Por lo tanto, en Argentina, la posibilidad de usar hidrogeno "verde" en el transporte, parece poco viable en el corto y mediano plazo. Con otras formas de generación de hidrógeno, las emisiones W2W no son significativamente inferiores a las de los vehículos convencionales. (29), (30), (31)

Otra desventaja, es que las celdas de combustibles actuales usan platino o paladio que son uno de los metales más costosos en el mercado. Un aumento de la demanda de estos materiales para fabricas CC, es muy posible que eleve su precio aún más. Además, según la IEA en 2018 la cantidad de puesto de venta de hidrógeno (Estaciones de servicios) en el mundo eran de 378, y el número total de vehículos a hidrógeno no llegaba a 13 mil en el mundo. (32) La tecnología de los FCEV es todavía una tecnología en desarrollo. Quizás haya que esperar unos 10 a 20 años para que madure, a menos que ocurra un avance inesperado. Ejemplos: Honda FCX Clarity, Opel HydroGen4, Toyota Mirai, etc. En 2015 el modelo económico de Toyota tenía un precio de 50 mil USD.

#### **1.2.4 Vehículos de combustión interna (VCI) a GNC y a gasolina**

En la Argentina hay una ventaja económica muy evidente en el uso de Gas Natural (GNC) como combustible, por su bajo costo respecto de la gasolina. El Gas Natural, tiene un poder calorífico superior (PCS) de 9,3 Mcal/m<sup>3</sup> mientras que el PCS de la gasolina es de 8,242 Mcal/l. De modo que 1 m<sup>3</sup> de GNC equivale energéticamente a 1,13 litros de gasolina.

Por otra parte, el precio del GNC es de aproximadamente 27\$/m<sup>3</sup>, equivalente a 8,5 USD/Millón de BTU y el de la gasolina súper es de 80 \$/litro, equivalente a 23 USD/Millón de BTU, es decir, la gasolina es casi 2,8 veces más cara que el Gas Natural en el mercado nacional, por lo tanto, en términos del costo de combustibles, para recorrer la misma distancia, el GNC es casi tres veces más económico que



la gasolina en Argentina. Esto es así, ya que en m<sup>3</sup> de GNC cuesta menos de la mitad que el litro de gasolina y tiene más energía (mayor poder calorífico) que está.

Eficiencia de los vehículos convencional a GNC		Eficiencia de los vehículos convencional a GASOLINA	
Eficiencia del transporte de gas	97%	Eficiencia del transporte de petróleo	92%
Eficiencia de distribución del gas:	95%	Eficiencia de refinamiento de combustible:	85%
		Eficiencia de la distribución y el transporte de combustible (gasolina)	94%
Eficiencia de un motor Combustión Interna	20%	Eficiencia de un motor de Combustión Interna	20%
Eficiencia total vehículos con motor de Combustión Interna a GNC	18%	Eficiencia total vehículos con motor de Combustión Interna a gasolina	15%
Eficiencia W2W (MJ/km):	2,49	Eficiencia W2W (MJ/km):	3,12
Emisiones de CO <sub>2</sub> Naive [g(CO <sub>2</sub> )/km] ##	125	Emisiones de CO <sub>2</sub> Naive [g(CO <sub>2</sub> )/km] ##	215
Emisiones de CO <sub>2</sub> (promedio Medidas)	180	Emisiones de CO <sub>2</sub> (promedio Medidas)	220
Relación eficiencia W2W vehículos a GNC respecto de uno a gasolina	1,25		
Relación costo de combustibles	2,42	Relación emisiones vehículos convencionales a gasolina respecto uno a GNC	1,72

Tabla 1. Comparación de eficiencias de un mismo vehículo impulsado a GNC y a gasolina.

Los valores de emisiones surgen de un análisis Modo Naive, más adelante se discute este problema.

Si bien la inversión inicial para instalar el equipo completo para GNC es del orden de los 1.200 USD para tecnologías de quinta generación, recorriendo unos 15.000 km al año, dicha inversión se amortiza en aproximadamente dos años. Podemos señalar como desventajas la pérdida de espacio en el baúl (para instalar el o los cilindro/s contenedor/es del GNC), y el hecho que, en ciertas ocasiones, es necesario reforzar la suspensión del vehículo. También hay otros gastos menores asociados a las revisiones periódicas: por normativa es obligatorio realizar pruebas hidráulicas quinquenales de los cilindros (\$2.000) y anualmente se debe realizar una inspección completa del funcionamiento del equipo (la habilitación se consigna mediante una oblea adherida al parabrisas) (\$1.000). En promedio estos gastos equivalen a unos \$2.200/año, aproximadamente USD 50/año.

Debido en parte al mayor poder calorífico de 1 m<sup>3</sup> de Gas Natural, comparado con 1 litro de gasolina, un vehículo con un consumo de Tanque a Rueda de 15 km/l de gasolina, tendría un consumo *Tank to Wheel* de 16,9 km/m<sup>3</sup> de GNC. El correspondiente consumo W2W sería, según los datos de la Tabla 1,  $16,9 \times (0,95 \times 0,97) = 15,6 \text{ km/m}^3$ , o sea 0,40 km/MJ o 2,49 MJ/km. Por otro lado, por cada m<sup>3</sup> de Gas Natural, se emiten 1,95 kg (CO<sub>2</sub>). Así tenemos, que dentro de un *modelo naive*, que las emisiones por cada km son:  $(1/15,6 \text{ km/m}^3) \times 1.950 \text{ g(CO}_2\text{)/m}^3 = 125 \text{ g(CO}_2\text{)/km}$ .

Lo que deseamos analizar aquí es el posible ahorro energético y las emisiones de CO<sub>2</sub>, utilizando la eficiencia Pozo a Rueda o "*Well to Wheel*". En la Tabla 1, se observa que la eficiencia W2W en un modelo simplificado (*naive*) de los vehículos a GNC es aproximadamente 25% mejor que la de los mismos vehículos cuando ellos funcionan a gasolina (cuya eficiencia de "*Tank to Wheel*" se asume en 21%), la diferencia, como se mencionó antes, está asociada al hecho de que la gasolina requiere de refinamiento y la eficiencia de transporte y distribución es menor que para el caso del gas natural. La

relación de emisiones *W2W* es de 1,72. Sin embargo, para poder cuantificar mejor estos rendimientos al igual que las emisiones, es conveniente medirlas en condiciones de operación o funcionamiento reales. (33), (34) De hecho en las *Figura 22* y *Figura 23*, se muestran valores más realistas de las emisiones locales como las globales para vehículos compactos nuevos. Como se ve, las Emisiones tanto locales como globales de automóviles a GNC y gasolina son comparables. Esto se debe en parte a que en el modelo *naive*, no se tuvo en cuenta las emisiones de metano que se producen en los vehículos a GNC, que al ser el metano un gas de efecto de invernadero que tiene un potencial de calentamiento superior al dióxido de carbono. De este modo, las emisiones de los vehículos GNC no son tan favorables como se desprende de modelo *naive*, pero si son intermedias entre un vehículo convencional a gasolina y un vehículo similar híbrido (HEV).

Los datos de la Tabla 1 son muy elocuentes en cuanto a la conveniencia de utilizar Gas Natural, éste no solo es un combustible más económico, sino que la eficiencia *W2W* y sus emisiones de GEI son menores o comparables que las del mismo vehículo funcionando con gasolina. Esta conclusión vale para todos los vehículos de combustión interna, incluyendo el transporte de pasajeros, como veremos más adelante. De ello se desprende que considerar la posibilidad de incentivar un desarrollo de autobuses a GNC sería una alternativa interesante de analizar.

Por último, el costo integrado o costo nivelado de usar un vehículo incluye tanto su costo más el costo del combustible a lo largo de su vida. Suponiendo un uso de 15.000 km/año y una tasa interna de retorno (TIR) del 5%, podemos traer el costo del combustible, a lo largo de su vida, a valores presentes. Partiendo de un vehículo cuyo costo inicial suponemos es de USD 20.000, con los costos de combustibles y equipo de conversión a GNC indicados más arriba, los resultados de amortización se muestran en la *Figura 14*, en 3,3 años se recupera el costo de la inversión del equipo para GNC y en 10 años el ahorro acumulado por convertir el vehículo a GNC es de USD 2.800. Si se recorre el doble de kilometraje el tiempo de amortización se reduce a 1,5 años y el ahorro al cabo de 10 años es de USD 7 500. La *Figura 14* indica además un hecho interesante, suponiendo que el tiempo de amortización completo de un automóvil son 15 años, el costo de automóvil convencional más el combustible usado a lo largo de 15 años, reducidos a valores presentes, se lo denota como "*costo máximo*" y se lo representa por la línea horizontal de trazos rojos en la *Figura 14*. Si suponemos que existiese un vehículo que *no* tuviese gasto de combustible, algo totalmente hipotético; el máximo costo adicional que este vehículo no tendría que supera es el "*costo máximo*", en este caso 31 mil USD, para ser redituable económicamente su elección. Esto significa que, si se diseñase tal vehículo hipotético, no tuviese gasto de combustible, a precio de combustibles como los actuales, para que, desde el punto de vista microeconómico, su elección sea conveniente para el usuario, su valor no debería superar 11 mil USD del valor de su equivalente convencional.

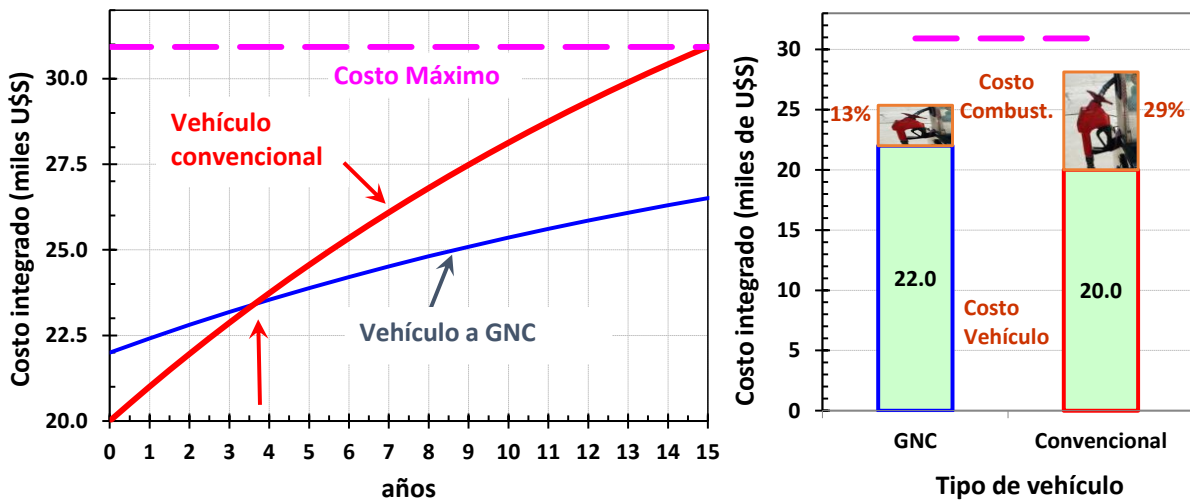


Figura 14. Comparación de los costos de vehículo y combustible para un vehículo de combustión interna, operando a gasolina (convencional) y el mismo convertido a GNC. A la izquierda se observa que con un uso de 15.000 km/año, a los costos indicados, en 3,5 años se recupera la inversión del equipo de GNC. A la derecha se muestra en cada caso el costo del vehículo y combustible usado a lo largo de 10 años, actualizados al valor presente con una TIR=5%. Si los kilómetros recorridos anualmente fuesen el doble, el tiempo de recupero se reduce a 1,5 años.

A nivel internacional, los precios de gas han estado prácticamente ligados al precio del petróleo. Cuando los precios del petróleo aumentaban o bajaban, los precios del gas lo acompañaban. Sin embargo, en los últimos años, debido en parte a la expansión de la producción de gas natural se ha generado un excedente de gas en el mundo, resultante de la explotación de recursos no convencionales (Shale & Tight Gas) que produjo un desacople del precio del gas del de petróleo.

Si a esto agregamos el hecho de que el petróleo, para ser utilizado como combustible necesita ser refinado, proceso en el que se pierde una fracción cercana al 15-20% de la energía, más el costo de distribución de los combustibles, hace que el gas natural sea económicamente más ventajoso que los combustibles líquidos. La relación entre el costo de la misma cantidad de energía en forma de gasolina a Gas Natural Comprimido es internacionalmente de 2 o 3. Esta relación entre los precios de gas y gasolina también se observa en Argentina, como se señaló previamente.

### 1.2.5 Vehículos Híbridos (HEV)

Los vehículos híbridos eléctricos o *hybrid electric vehicles* (HEV), como se discutió previamente, cuentan con un motor de combustión interna (CI) eficiente y un motor/generador eléctrico complementario de apoyo. El motor de CI, que usa como combustible la gasolina, genera tracción y también carga la batería. De este modo es posible recorrer varios kilómetros en estos vehículos usando el motor eléctrico solamente. Además, el motor eléctrico complementa al de CI en la tracción, cuando se requiere potencia adicional. Mucho de ellos, cuentan con frenos regenerativos, que hace que parte de la energía cinética del vehículo, en momentos de frenado, pase parcialmente a la batería. De este modo se mejora la eficiencia general del vehículo.

El ejercicio que deseamos realizar aquí, y que aún no está implementado en el mercado, es analizar el caso de un vehículo híbrido convertido a GNC (HEV-GNC), consiste en suponer que el combustible que

alimenta el vehículo híbrido es Gas Natural. Siguiendo las mismas ideas desarrolladas en la sección anterior, los costos de estos vehículos comparados con los convencionales y HEV a gasolina se ilustran en la *Figura 15*.

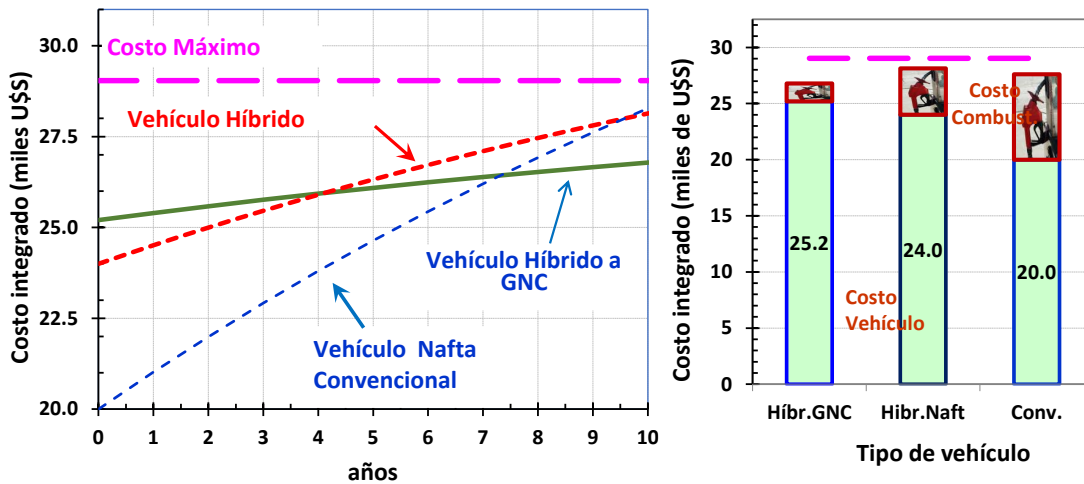


Figura 15. Panel izquierdo: comparación del costo un vehículo híbrido (HEV) a gasolina (línea de puntos roja) y a HEV-GNC (línea verde). También se indica en línea de trazos azul el caso de un vehículo convencional a gasolina. Se incluye el costo del combustible necesario para recorrer 15.000 km al año. Se supone que el costo del vehículo convencional es de 20.000 USD y del HEV a gasolina es de 24.000 USD. Por otra parte, en el caso del HEV-GNC, se incluye el costo del equipo de GNC a un precio de 1.200 USD. Se ve que el costo del equipo de GNC se amortiza a los 4,5 años con el ahorro de combustible. En el panel derecho se muestran los costos acumulados al cabo de 10 años. Como se ve, la opción más conveniente es la del HEV-GNC.

En los HEV-GNC el sobrecosto del equipo de GNC se amortiza con el ahorro de combustible en 4,5 años para un recorrido de 15 mil km/año. Además de ser la opción más económica al cabo de 10 años, comparado con la opción convencional a gasolina y HEV a gasolina; los HEV a GNC tienen una eficiencia pozo a rueda (W2W) mejor en un 40% y emisiones de CO<sub>2</sub> del 41% inferiores a su versión a gasolina. En la *Tabla 2* se resumen las características de todos los vehículos analizados en este trabajo.

## 2. Vehículos Eléctricos

Una tecnología que ha tenido un gran desarrollo en los últimos tiempos y que muy posiblemente sea la dominante en el mediano y largo plazo es la de los vehículos eléctricos (BEV). Muchas veces estos vehículos se los identifica como de *emisión cero*, pero ésta no es una denominación adecuada, ya que la generación eléctrica rara vez es de emisión cero. Ver *Figura 13*. Desde luego, es la electricidad de las redes eléctricas la que finalmente carga las baterías. Por ejemplo, en Alemania, que cuenta con un importante parque de energías renovables que aportan el 29,5% de la electricidad, el carbón todavía aporta 40% y el gas natural el 12% de su electricidad, tiene una intensidad de emisiones de 512 g(CO<sub>2</sub>)/kWh. (35), (36) En el caso de Argentina el aporte de las fuentes fósiles es del 63% principalmente gas natural, con una intensidad de emisiones de 297 g(CO<sub>2</sub>)/kWh. (37), (8)

Vehículos	Costo Inicial	W2W	W2W	Combustible	Combustible
	[miles USD]	[Wh/km]	[g(CO <sub>2</sub> )/km]	[USD/año]	[USD/MWh]
Convencional a GASOLINA	20,0	867	216	1000	105
Convencional a GNC	21,2	827	194	316	29
HEV Gasolina	24,0	520	130	600	105
HEV GNC	25,0	496	117	189	29
BEV_21	27,0	170	50	362	142
BEV_27	21,0	150	45	320	142
km/año = 15,000		T_Vida = 15 años		N_Personas = 1,5	

Tabla 2. Comparación de eficiencia y emisiones de W2W para distintos vehículos

Nota: Los consumos anuales, se calculan para un recorrido de 15 mil km/año. Las emisiones de CO<sub>2</sub> están calculadas suponiendo que la electricidad de los BEV se genera con un parque eléctrico como el prevalente en Argentina al año 2019. (37), (29), (22).

Para evaluar las eficiencias y emisiones de estos vehículos, es necesario analizar todos los procesos involucrados en la generación de electricidad (eficiencia o eficacia de pozo a tanque o batería, (W2T), y luego del tanque/batería a la rueda (T2W). Aquí sólo consideraremos el caso de automóviles.

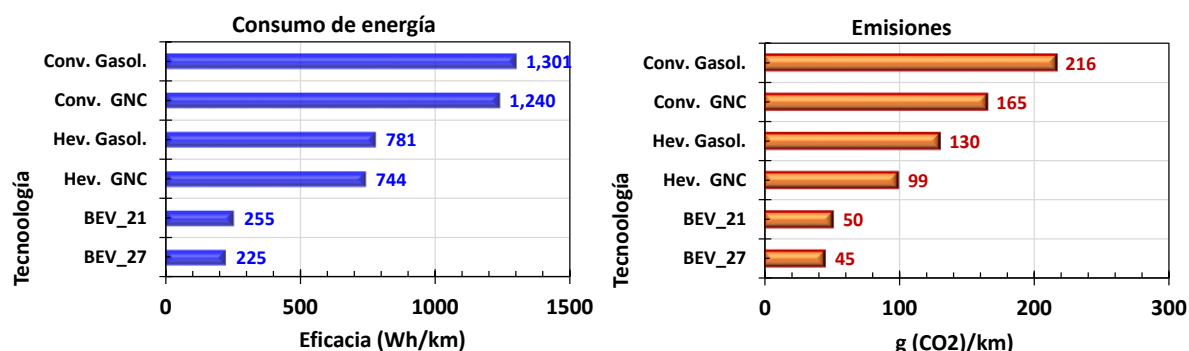


Figura 16. Comparación de la eficacia (izquierda) y emisiones (derecha) de Pozo a Rueda para distintos tipos de vehículos livianos. Estos valores corresponden a valores por km recorridos del vehículo.

En la *Tabla 2* se indica un conjunto representativo de valores de eficiencias para vehículos híbridos a GNC (HEV-GNC) y eléctricos (BEV). En ambos casos se observa una notable mejora en la eficiencia de

uso de combustibles comparado con los vehículos convencionales a gasolina. En particular, en el caso de los BEV la mejora en eficiencia total es del orden de 3 veces respecto de los convencionales a gasolina. Asimismo, las emisiones, con un parque eléctrico como el de Argentina, serían casi 5 veces menores que la de los vehículos convencionales. Sin embargo, su costo inicial todavía es muy alto. Ver *Tabla 2*.

En términos de la contribución de los distintos modos de transporte, el 73% de las emisiones del transporte mundial provienen de los vehículos que circulan por rutas, pero en emisiones de los vehículos livianos (automóviles) es alrededor del 53% de estas emisiones, los vehículos pesados, utilitarios y buses, aunque menor en número de unidades, son responsables del 46% de las emisiones en ruta, ver *Figura 2*. En definitiva, los vehículos livianos aportan aproximadamente el 6% más de las emisiones globales.

Desde luego, las emisiones también han aumentado por el incremento de otros modos de transporte, como la aviación (cabotaje e internacional) y el transporte marítimo. Con excepción de los ferrocarriles, impulsado en una fracción importante por electricidad, que ha logrado reducir sus emisiones en los últimos años, el resto de los modos de transportes ha incrementado sus emisiones globales. Sin la implementación de políticas de mitigación agresivas y sostenidas, las emisiones del transporte podrían aumentar a un ritmo más rápido que las producidas por otros sectores de uso final de la energía. (38)

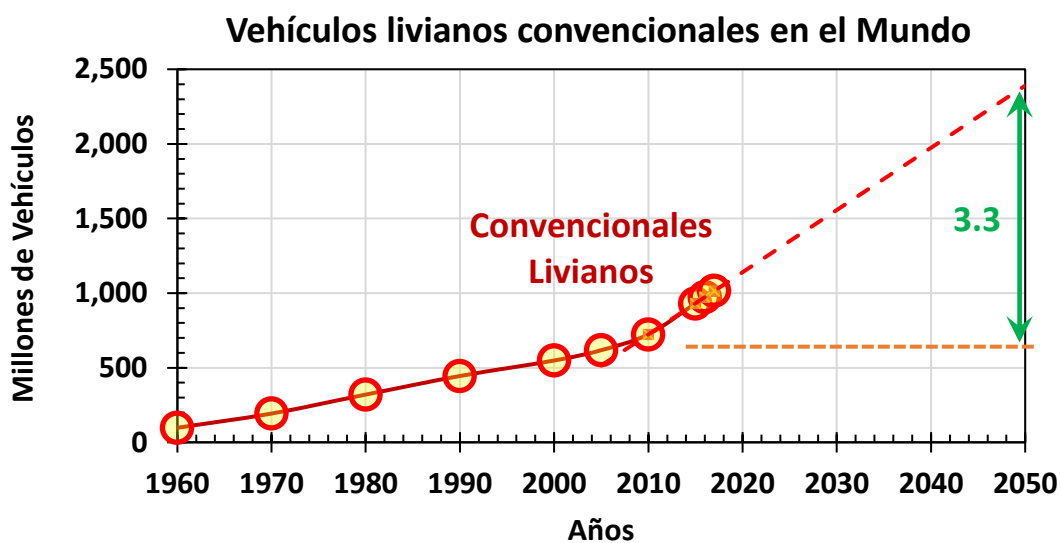


Figura 17. Variación del número de vehículos livianos en el mundo hasta el año 2019 (símbolos rojos circulares), la línea de trazos rojos es una extrapolación lineal. Si la tendencia de la última década continúa se espera que para el 2050 el número de vehículos se multiplique por un factor de 3,3 relativo a los que había en 2010. (39)

Como se ve en la *Figura 17*, si la tendencia actual continúa, para el año 2050 es de esperar que el número de vehículos livianos se multiplique por un factor de 3,3 relativo a los que había en 2010 y alcanzar valores de 12 GT (CO<sub>2</sub>)/año para ese año. (38)



## Vehículos convencionales y BEV en el Mundo

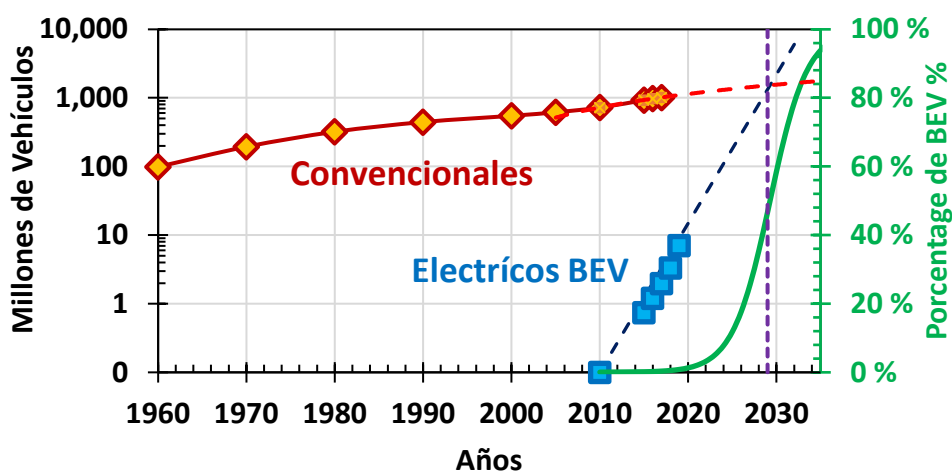


Figura 18 Flota de vehículos livianos en el mundo. Los símbolos romboidales rojos, representa el número de vehículos convencionales y los símbolos cuadrados celestes el número de BEV en el mundo, referidos al eje vertical izquierdo. Las líneas de trazos son proyecciones basadas en el comportamiento de los últimos 10 años. Se ve que para el año 2029 el número de BEV estaría alcanzado a los convencionales. La curva verde, referida al eje vertical derecho representa el porcentaje de BEV en la flota total.

Un elemento disruptivo, que está ocurriendo actualmente, es el vertiginoso crecimiento del mercado de vehículos eléctricos BEV. Si bien a nivel global su número es muy pequeño aún, al año 2020 constituían solo el 1% de la flota mundial, su crecimiento es vertiginoso. Las ventas globales BEV alcanzaron 1 millón de unidades en 2015, y 5 millones en diciembre de 2018. De proyectarse las tendencias de crecimiento de los últimos 10 años, para los próximos 20 años, como se muestra en *Figura 18*, para fines de esta década, la flota BEV será comparable a la convencional. (40) Por otra parte, si el costo de los BEV continúa descendiendo, de hecho, Alibaba, (41) ya hay anuncios de BEV de dos personas a menos de 3 mil USD y otros de 4 personas por menos de 5 mil USD. En la medida que se advierta que la transición está próxima, se producirá una aceleración mayor. ¿Después de todo quien quiere comprar un auto que no tendrá demanda de reventa?, con lo que la transición puede ocurrir aún antes de lo previsto en la *Figura 18*.

Para que los beneficios energéticos y medio ambientales puedan concretarse, es necesario considerar los aspectos microeconómicos, ya que la decisión de adoptar estas tecnologías depende de un conjunto de millones de usuarios que actuarán en promedio siguiendo las leyes económicas. Para nuestro análisis es útil comparar el costo de estos vehículos (BEV y HEV) con los convencionales a gasolina. A los costos del mercado internacional actual, un vehículo eléctrico es del orden de 10 mil USD más caro que un convencional equivalente en la mayoría de los países de la OECD (*Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos*). Para que los usuarios tengan un estímulo económico, que vaya más allá de su afán de disminuir sus emisiones de GEI, es necesario que su costo disminuya o bien implementar alguna herramienta financiera que facilite el acceso hasta que los vehículos eléctricos producidos en gran escala tengan un precio competitivo respecto de los convencionales a gasolina.

Actualmente, la incidencia del costo de las baterías en los BEV es de alrededor de 1/3 pero el costo de las baterías para los BEV está cayendo rápidamente, cada 3 años se reduce a la mitad, (42) ver *Figura 19*. Suponiendo que los costos de hardware (chasis, ruedas, etc.) se mantengan constantes, y también suponiendo un costo de impuestos y *overhead* del orden del 25%, se obtiene una proyección de precio de la BEV en la OECD como se muestra en el *panel ibero* de la *Figura 19*. Para fines de la presente década, es previsible que el precio de los BEV iguale a la de los convencionales. En concordancia con lo que la *Figura 20* sugiere.

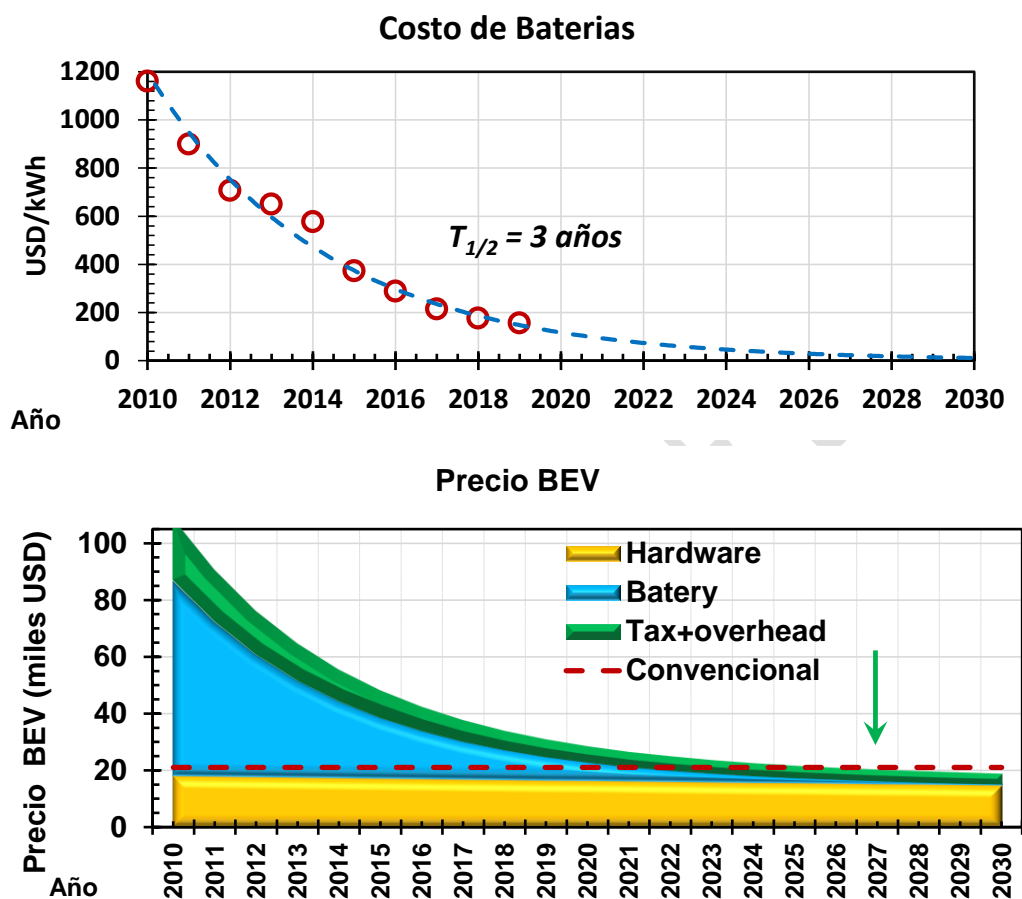


Figura 19 Arriba, probable evolución de los precios de las baterías. (42) Abajo, posible evolución de los precios de los BEV en la OEMC (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos). Suponiendo la evolución del costo de baterías indicadas por el panel superior. Bajo estas suposiciones, es probable que para fines de la década de los 20's los precios de los BEV sean similares a los convencionales.

Otra ventaja de los BEV es que sus baterías actúan como un acumulador de energía. Durante las horas en que la red eléctrica tiene menos demanda, como en las noches, o fines de semana, se pueden generar estímulos tarifarios para que se carguen las baterías. Así los BEV actuarían como una especie de *“peak shaving”* que mejoraría la eficiencia y factor de carga de las redes de distribución eléctricas, de hecho, los dispositivos para automatizar esta operación son un componente estándar en estos vehículos.

Asimismo, grandes playas de estacionamiento, como las de shoppings, escuelas, universidades, etc. podrían contar con techos que contengan paneles solares fotovoltaicos, que cargarían las baterías de

los autos mientras están estacionados, generando una interesante posibilidad para el desarrollo de redes inteligentes (Smart Grids) para estos fines.

De este modo, la mayoría de las señales que podemos visualizar actualmente, sugieren que la movilidad eléctrica prevalecerá en las próximas décadas, al menos para los vehículos livianos. Para vehículos más pesados, buses y en especial camiones, barcos y aviones, esta transición no se visualiza tan cercana. Es probable que este tipo de medios de transporte continúen usando combustibles líquidos, o GNC, o GNL por algún tiempo más prolongado que los livianos.

Por otro lado, dado que los vehículos híbridos ya están en el mercado, una alternativa particularmente interesante para Argentina, que cuenta con una amplia red de estaciones de servicio de GNC, es convertir los vehículos híbridos a GNC. No solo reducirían la demanda de combustibles líquidos, que son caros y escasos, sino que tanto la eficiencia W2W aumentaría y las emisiones de GEI se reducirían. Otra ventaja de la tecnología HEV-GNC es la infraestructura de conversión está muy desarrollada en el país, existe una importante red de empresas nacionales dedicada a fabricar e instalar equipos de GNC. Desde luego, esto sería una transición intermedia, hasta que los vehículos BEV tengan precios competitivos con los convencionales.

El incremento de uso de GNC en Argentina bien puede ser un puente en la transición a vehículos eléctricos que, a nivel mundial, parecería ser la tendencia dominante. Además, la red de distribución de gas y de estaciones de carga de GNC ya están instaladas y bien desarrolladas. Por último, pero no menos importante, es que los tiempos de carga del GNC es mucho más rápido que la carga de baterías. Teniendo en cuenta los costos e infraestructura existen, creemos que la alternativa HEV-GNC debería estimularse en Argentina. Además, la mayor demanda de gas aseguraría el desarrollo de la producción de gas no convencional, generando una demanda no estacional, que se mantiene constante a lo largo de todo el año. [21], [22].

EN PROCESO DE DISEÑO

### 3. Emisiones del Transporte Automotor

Reducir las emisiones de GEI provenientes de sector del transporte es uno de los grandes desafíos que, tanto el país como el mundo, deberán esforzarse por lograr en las próximas décadas. Para lo cual se requiere instrumentar políticas que permitan desacoplar, en la medida de lo posible, el aumento de las emisiones de transporte del crecimiento del PBI. (38)

El transporte es uno de los principales contribuyentes a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero a nivel global, en 2020 representaba cerca del 24% de las emisiones de GEI relacionadas con la energía y un 14% de las emisiones totales. De no mediar cambios significativos en las políticas y modos de transporte, se estima que estas emisiones aumenten de tres a cinco veces para 2030, en comparación con las emisiones de 2000. Como vimos, esto es en parte consecuencia del aumento vertiginoso de la *cantidad de vehículos livianos*, *Figura 17*, y al incremento del número de camiones y otros vehículos de transporte.

Se sabe desde hace mucho tiempo que la contaminación del aire debido la quema de combustibles fósiles afecta la salud humana. Un avance notable de conocimientos se logró en el siglo XX, como resultado de estudios causados por episodios de contaminación del aire como los en Londres en 1952, llamada la gran niebla de Londres. (43) Ocurrido entre los días 5 y 9 de diciembre de 1952. Fue uno de los peores incidentes ambientales ocurridos hasta entonces. Causado por el uso de combustibles fósiles en la industria, en las calefacciones y en los transportes. Se cree que el fenómeno causó la muerte de 12.000 londinenses, y dejó enfermos a otros 100.000 con graves lesiones. (44)

Las emisiones en general las podemos clasificar en dos categorías: las *emisiones locales*, que afectan directamente la región adyacente donde se genera la emisión (municipio, barrio, o ciudad), y las *emisiones globales*, como las de los gases de efecto invernadero (GEI), que tienen consecuencias climáticas globales. Estos últimos son principalmente: el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el ozono (O<sub>3</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), a estos se agregan otros gases antropogénicos como: clorofluorocarbonos (CFC), hidrofluorocarbonos (HFC) e hidroclorofluorocarbonos (HCFC) (que se denomina colectivamente halocarbonos) y también el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). La característica de los GEI es que afectan la atmosfera en su totalidad, independientemente de donde se emitan. Dado que los distintos GEI tienen Potencialidades de Calentamiento Global (PCA) muy diversos, ver *Tabla 1*.

Es costumbre reducir el efecto combinado de ellos a porcentajes de CO<sub>2</sub> equivalente. Sin embargo, es interesante poner atención sobre algunos gases, como el metano o el óxido nitroso, o el F<sub>6</sub>S cuyos efectos son muy significativo, aun en pequeñas cantidades. En particular, los dos primeros son importantes, ya que el metano se emite en la explotación gasífera y petrolera, además de las emisiones de vehículos a GNC y GNL. Mientras que el N<sub>2</sub>O, se emite en casi todos los vehículos de combustión interna.‡

---

‡ El óxido nitroso N<sub>2</sub>O, se emite varias actividades agrícolas e industriales, como así también en la combustión de combustibles fósiles y residuos sólidos. También se emite en el tratamiento de aguas residuales.

GEI	Fórmula	Tiempo de Vida en la Atmósfera	Potencial de calentamiento global (PCA) para un tiempo determinado		
			20 años	100 años	500 años
Dióxido de carbono	$CO_2$	30-95	1	1	1
Metano	$CH_4$	12	84	28	8
Óxido nitroso	$N_2O$	121	264	265	153
Diclorodifluorometano	$CCl_2F_2$	100	10.800	10.200	5.200
Clorodifluorometano	$CHClF_2$	12	5.280	1.760	549
Tetrafluorometano	$CF_4$	50.000	4.880	6.630	11.200
Hexafluoretano	$C_2F_6$	10.000	8.210	11.100	18.200
Hexafluoruro de azufre	$SF_6$	3.200	17.500	23.500	32.600

Tabla 3 Principales gases de efecto de invernadero (GEI) (6), (45)

Más del 50 % de los contaminantes presentes en el aire atmosférico de las ciudades densamente urbanizadas del mundo provienen del transporte automotor. (44) Este diagnóstico surgió a partir de los inventarios de emisiones desarrollados durante las últimas cuatro décadas en diferentes megaciudades en todo el mundo se puso en evidencia recientemente a partir de la pandemia global por el COVID 19. Este efecto también se observó en varios conglomerados urbanos de Latinoamérica.

En Argentina varios estudios con información satelital del sensor satelital TROPOMI - Sentinel-5p/ESA de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación Productiva revelaron situaciones similares, no solo para el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) sino para otros conglomerados densamente urbanizados del país, así como Córdoba, Rosario, Mendoza y San Miguel de Tucumán. (46)

Las emisiones del transporte automotor propulsado por motores de combustión interna (CI) son generadas principalmente como consecuencia de la combustión de una mezcla estándar de hidrocarburos que componen los combustibles fósiles (Nafta, Diesel, GNC etc.) bajo condiciones controladas de ignición. Si la combustión fuera completa, sin reacciones colaterales ni impurezas, el resultado final de las reacciones sería dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y agua ( $H_2O$ ). Sin embargo, los gases finalmente vertidos al medio ambiente por el tubo de escape contienen, además, una serie de compuestos químicos que tienen efectos sobre la salud humana en las zonas aledañas a las emanaciones, que denominados contaminantes criterio en salud o *emisiones locales*; junto a aquellos gases que afectan el clima a nivel global, que denominamos gases efecto de invernadero (GEI). Las emisiones locales, son el resultado, de una combustión incompleta debido a limitaciones fisicoquímicas inherentes al tipo de motor. Entre los contaminantes más importantes tenemos: los Hidrocarburos Totales no quemados (THC), el Monóxido de Carbono (CO) y el Material Particulado (MP). A veces se discrimina el MP según su tamaño, ya que sus dimensiones causan diferentes efectos en la salud humana. Están el MP fino de menos de 10 micrones ó PM10 y ultrafina de menos de 2,5 micrones ó PM2,5. Los contaminantes locales se completan con otros producidos por reacciones colaterales indeseadas de oxidación, así como los óxidos de Nitrógenos (NOx) producto de la reacción



entre el  $N_2$  y el  $O_2$  a altas temperaturas en los cilindros, así como los óxidos de azufre ( $SO_x$ ) formados a partir de la oxidación de impurezas de azufre presentes en el combustible. Estos dos últimos compuestos además de tener un importante efecto sobre la salud son precursores de la lluvia ácida.

Desde luego, las centrales eléctricas térmicas, que queman combustibles fósiles, y ubicadas en zonas urbanas o periurbanas, también son fuentes de contaminaciones locales.

La emisión de los motores de combustión de autobuses se produce en forma dispersa en el trazado urbano y en cantidades que son función de las condiciones de tránsito y energía total empleada (teniendo en cuenta carga en pasajeros, uso de aire acondicionado, etc.) por cada automotor, así como de la densidad vehicular. Los motores eléctricos a batería de buses alternativos si bien no producen contaminación en la calle, lo hacen emitiendo en forma concentrada a través de las centrales de energía que los abastecen de electricidad, y en función de los mismos factores antes analizados dependiendo de la cantidad de energía empleada en el transporte y del tipo de generación de energía de las centrales consideradas.

El término “smog” se utilizó por primera vez alrededor de 1950 para describir la combinación de humo y niebla en Londres. Hoy en día, se refiere a una mezcla de contaminantes formada principalmente por ozono a nivel del suelo.

Hay además otros impactos directos del transporte, como la *contaminación acústica* y las *emisiones de monóxido de carbono* que crean efectos nocivos sobre el medio ambiente. Por su parte, el material particulado (PM), que son el resultado de una combustión incompleta en los motores de combustión interna, están vinculadas con problemas respiratorios y cardiovasculares, asimismo tienen impactos acumulativos.

Las emisiones locales emitidas por el transporte contribuyen al smog y a la mala calidad del aire, lo que tiene un impacto muy negativo en la salud y el bienestar de las personas expuestas a estas emisiones. En Argentina se estima que las emisiones asociadas al transporte podían estar relacionada a casi 1.000 muertes prematuras, además de ser la causa de muchas otras enfermedades. El transporte local contribuye a aproximadamente al 60% de las emisiones de PM y el 70% de las emisiones de  $NO_x$ . (47) En EE.UU. y otros países, el sector del transporte es responsable de más del 50% del inventario de emisiones totales de  $NO_x$ , con una importante fracción de PM y COV.

En muchos países de la Unión Europea y EE.UU. entre otros, la adopción de medidas regulatorias, incluidos los *estándares de eficiencia de los vehículos*,<sup>§</sup> por ejemplo, sistemas de etiquetado en eficiencia, cuyo objetivo es promover el desarrollo y producción de vehículos de mayor eficiencia y menor emisiones, han probado tener efectos muy alentadores para reducir estas emisiones locales y globales, y promover un transporte más sostenible. (48)

---

<sup>§</sup> EE.UU. tiene dos conjuntos de estándares paralelos: A) los estándares de economía de combustible o corporate average fuel economy (CAFE) adoptados por la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras (NHTSA), una agencia dentro del Departamento de Transporte (DOT). B) Los estándares reducción de emisiones GEI de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Los estándares CAFE fueron adoptados en 1970 en respuesta al embargo de petróleo y fijó de mejoramiento de la Eficiencia Automotriz que fueron muy exitosos, el consumo por km de vehículos livianos disminuyó en un factor 2 desde su vigencia. Asimismo, las emisiones globales y locales. (49)

Desde los años 60 se implementaron en el mundo diversas normativas que han mostrado su efectividad. Los primeros estándares de emisiones de automóviles se promulgaron en 1963 en los EE. UU., principalmente como respuesta a los problemas de smog en Los Ángeles. Poco después Japón promulgó sus primeras normas de emisiones, seguido por Canadá, Australia y varias naciones europeas. La Unión Europea tiene su propio conjunto de estándares de emisiones que todos los vehículos nuevos deben cumplir.\*\* Actualmente, se establecen normas para todos los vehículos de carretera, trenes, barcas y maquinaria móvil no vial, como tractores, etc. No se aplican normas a los barcos o aviones de navegación marítima. La UE introdujo EURO 4 a partir del 1 de enero de 2008, EURO 5 a partir del 1 de enero de 2010 y EURO 6 a partir del 1 de enero de 2014. Dada la importancia de estas normas y el problema general de las emisiones de vehículos, dedicamos en el Anexo A para discutir en detalle esta problemática.

Varias de estas normas internacionales han sido muy efectivas en reducir las emisiones locales. (49) La razón es estas emisiones de contaminantes nocivos (CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM, etc.) puede ser muy eficientemente reducidas y/o controladas por las tecnologías modernas exigidas en estas normas. Las mejoras en eficiencia energética en toda la cadena (de Pozo a Rueda o W2W) puede contribuir a reducir las emisiones globales de CO<sub>2</sub>.

El tema de las emisiones locales y globales se discutirá en más detalle en el Anexo A, por ahora solo adelantamos algunos resultados preliminares basado en mediciones obtenidas en distintas condiciones de manejo. (33) La Figura 20 muestra las emisiones para varios tipos de vehículos livianos compactos, propulsado por distintos tipos de combustibles o insumos energético. La Figura 20 por su parte muestra las emisiones T2W y W2T de varios tipos de vehículos livianos reportados por el ORNL (Oak Ridge National Laboratory de los EE.UU.) para varios vehículos livianos. (34) Como se ve en estas figuras, no hay un acuerdo total en los valores absolutos de las emisiones. Esto se debe en parte a la diversidad de vehículos empleados y la diversidad de protocolos de ensayos utilizados. Sin embargo, algunas conclusiones preliminares, parecen sobresalir. Los vehículos de motores de Combustión Interna (CI, ya sea Diesel, Otto a gasolina o GNC) tiene niveles de emisión que son muy similares entre sí, al menos en el tramo T2W. Por otra parte, los BEV tienen emisiones T2W muy inferiores, aun si la electricidad es generada con gas y centrales de Ciclo Combinado, las emisiones totales (W2W) son, a lo sumo, la mitad de las emisiones de los vehículos livianos con motores de CI.

---

\*\* La Unión Europea (UE) tiene sus propias regulaciones de emisión para vehículos ligeros y comerciales. Tienen la denominación genérica de normas EURO. Desde la Euro 2 hasta las más reciente EURO 7, las regulaciones de la UE introducen diferentes límites de emisiones para vehículos Diesel, a gasolina y otros combustibles. (108)

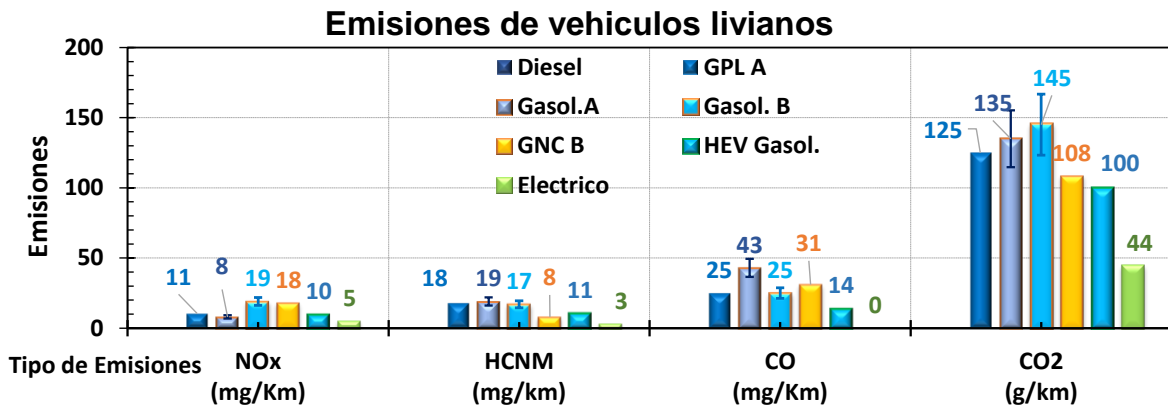


Figura 20 Resumen de emisiones de vehículos livianos compactos, T2W, medidas en condiciones que simulan un manejo característico definido por el protocolo New European Driving Cycle (NEDC). (33)

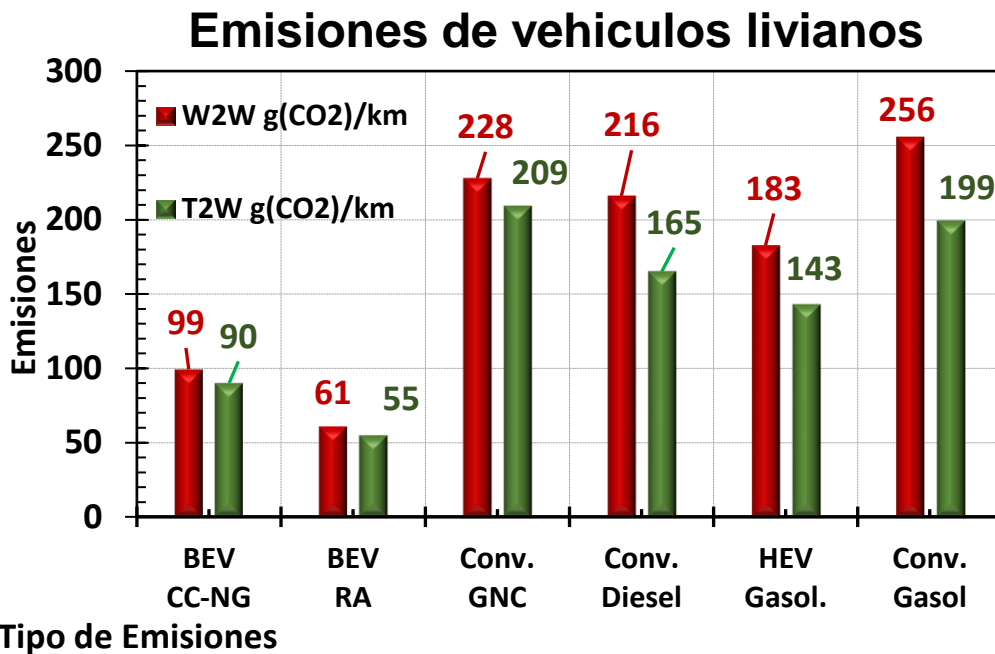


Figura 21. Resumen de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes de vehículos livianos compactos, tanto para T2W como para W2W, medidas en un contexto que simulan condiciones de manejo típicos. (34)

Asimismo, existen otras estrategias orientadas a reducir o mitigar estas emisiones que son comunes a toda la variedad de vehículos utilizados, como, por ejemplo:

*Reducir o evitar los viajes* siempre que sea posible, por ejemplo, desdensificando y reestructurando los ambientes urbanos; de modo de facilitar el abastecimiento de productos localizados, compras por Internet. Reestructurar los sistemas de logística de carga.

Utilizar tecnologías avanzadas de la información y la comunicación (TIC) para la *realización de trámites*, de modo de reducir los viajes.

Promover el *home office* al menos en un par de días por semana.

Alentar el uso de *transporte público* o *sistemas de baja emisión* como bicicletas, monopatines eléctricos, bicicletas eléctricas, caminar, etc., para ello se requiere aumentar la inversión en transporte público.

*Promoción de transporte compartido*, car-pool, con estímulo en sendas preferenciales y descuentos en los peajes y estacionamientos. Estas medidas tienden a reducir la intensidad energética (MJ/km.pasajero).

Nuestro análisis de las emisiones de autobuses se puede sintetizar en la *Figura 22*. Que, si bien proviene de un análisis realizado en Serbia, muestra varias características comunes con otros estudios. En el Anexo A se discute este punto con más detalle.

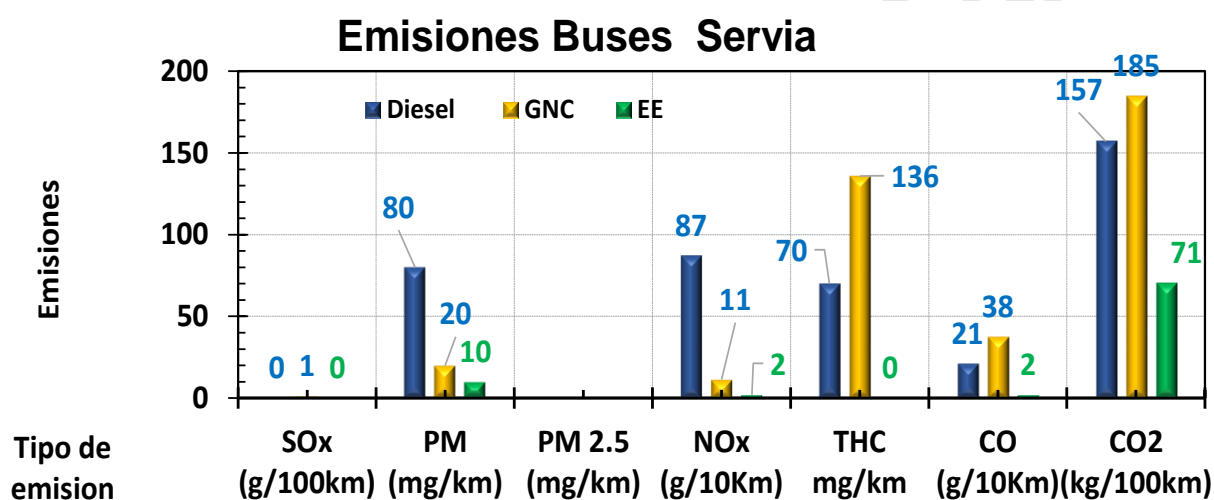


Figura 22. Emisiones producidas por distintos tipos de vehículos de transporte públicos, autobuses, usado distinto insumo energéticos: Diesel, Gas Natural Comprimido (GNC) y eléctricos (EE) en Serbia. (50) (51)

En la Figura 23 se muestra el resultado inferido de una recopilación de emisiones realizada en este trabajo, respecto de las emisiones locales para la zona de AMBA. . Estos datos deben tomarse con cuidado, sobre todo las emisiones eléctricas que varían de acuerdo a la composición de las distintas tecnologías usadas para generar y estas varían de año en año y también evoluciona con el tiempo. Si la oferta de renovables y nuclear aumenta, las emisiones eléctricas pueden variar en forma muy notables.

Emisiones de Colectivos en el AMBA E-Ciclos Estandarizados de Manejo Urbano

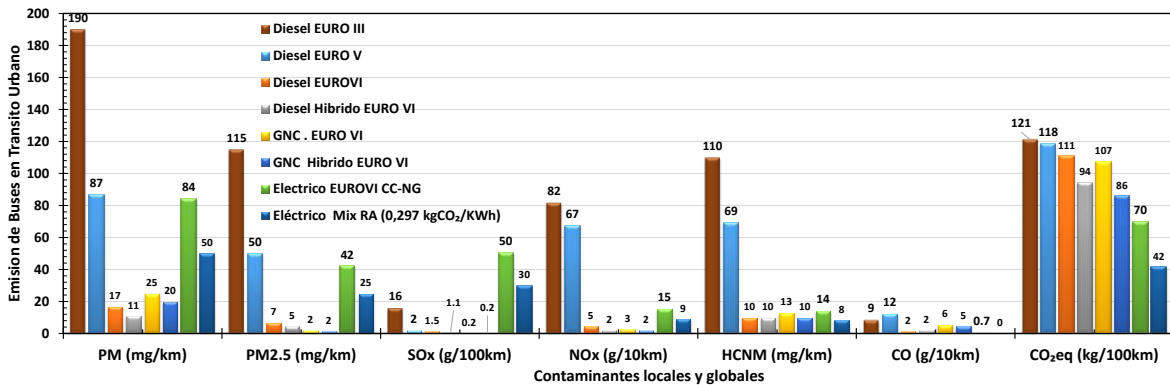


Figura 23. Emisiones producidas por distintos tipos de vehículos de transporte público, usando distinto insumo energético: Diesel, Gas Natural Comprimido (GNC) y eléctricos (EE) en Argentina. Las Emisiones de buses eléctricos están evaluadas en las condiciones más desfavorables desde el punto de vista de las emisiones para el AMBA, así como también contemplando la alimentación eléctrica por la red (Mix de Argentina).

Estos datos son resultados de un análisis bibliográfico de estudios realizados en otros países (50) (51) y recopilación de datos locales. La fundamentación de estos resultados se discute en detalle en el Anexo A. Cuando comparamos las emisiones con vehículos que cumplen la norma Euro VI, el gas natural no proporciona un beneficio significativo respecto a los vehículos Diésel. Por lo que podemos decir que, a este nivel de cumplimiento normativo, hay cierto equilibrio entre las dos tecnologías. Pero respecto a los autobuses eléctricos, hay claramente una reducción importante de las emisiones globales, como se ilustra en las *Figura 22* y *Figura 23*. Además, las emisiones indicadas en esta figura deben tomarse con cuidado, sobre todo las emisiones eléctricas que varían de acuerdo con la composición de las distintas tecnologías usadas para generar y estas varían de año en año. En la medida que la contribución de renovables, nuclear e hidroeléctrica aumente, las emisiones aportadas por las centrales térmica disminuyen.

EN PROCESO DE DISEÑO

#### 4. Costo Nivelado de Transporte (CNdT)

En este capítulo presentamos una metodología de análisis y comparación de costo de distinto tipos de vehículos de pasajeros, que permite definir un indicador económico, para evaluar el costo por km y pasajero de distintos medios de transporte. El Costo Nivelado de Transporte (CNdT), es un concepto similar a lo que se conoce en la generación eléctrica como Costo Nivelado de la Energía (LCoE), (52) que permite comparar el costo necesario para generar un MWh de electricidad con distintas tecnologías. De manera análoga, el CNdT permite establecer el costo medio en USD para recorrer una unidad de distancia (km) y por pasajero, teniendo en cuenta el costo del vehículo y el combustible necesario para que él funcione y su mantenimiento a lo largo de su vida útil. La ventaja de este indicador es que puede aplicarse a prácticamente cualquier tipo de vehículo o medio de transporte, desde un monopatín, bicicleta, moto, automóvil, autobús, etc. Con apropiadas modificaciones, también puede usarse para el transporte pesado, aunque aquí lo importante es el costo efectivo para transporta una tonelada de carga por km. Nuestro análisis del costo de vehículos de pasajeros, autos, motos, bicis y colectivos, se supone que no incluyen el Aire Acondicionado. El CNdT se calcula como la relación entre todos los costos descontados durante la vida útil del vehículo dividido por una suma descontada de la cantidad de kilómetros reales recorridos. El CNdT permite comparar diferentes tecnologías aplicadas al transporte de manera consistente. Así el CNdT “representa el ingreso promedio por kilómetro recorrido que se necesitaría para recuperar los costos de adquisición y operación del vehículo durante el período de vida útil”. Los datos elegidos para realizar la estimación incluyen: la inversión inicial (costo del vehículo), costos de combustible, de operación y mantenimiento, costos de financiación y una tasa de descuento ( $r$  o TIR). Asimismo, se puede incluir los gastos de seguro que son indispensables para que muchos vehículos puedan circular.

Por otro lado, es importante asociar esta evaluación con otras variables, en particular con las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub>, como así también las emisiones locales; para tener a una visión integral de las distintas alternativas transporte.

El Costo Nivelado de Transporte (CNdT) se define como:

$$CNdT = \frac{\text{Suma de los Costos en la Vida Útil de la Unidad}}{\text{Suma de los kilómetros recorridos en la Vida Útil de la Unidad}} \quad (1)$$

o

$$CNdT = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{N_{pas} \cdot \sum_{t=0}^n \frac{k_t}{(1+r)^t}} \quad (2)$$

- $I_t$ : inversión en el año  $t$
- $M_t$ : gastos de operación y mantenimiento en el año  $t$
- $F_t$ : gastos de combustible en el año  $t$
- $k_t$ : kilómetros recorridos en el año  $t$
- $r$ : tasa de descuento o TIR
- $n$ : vida útil esperada del vehículo.
- $N_{pas}$ : Número promedio de pasajero que transporta el vehículo



#### 4.1 Automóviles livianos compactos

Como primer caso de estudio, consideremos el caso de automóviles livianos compactos, como los descriptos en la Tabla 4.

Tipo de Vehículo	Convencional a Gasolina	Convencional a GNC	HEV Gasolina	HEV GNC	BEV_21	BEV_27
Vehículo	k\$ 20.0	k\$ 21.2	k\$ 24.0	k\$ 25.0	k\$ 27.0	k\$ 21.0
Mant.	k\$ 5.8	k\$ 6.2	k\$ 7.0	k\$ 7.3	k\$ 8.6	k\$ 6.7
Combustible	k\$ 10.9	k\$ 3.4	k\$ 6.5	k\$ 2.1	k\$ 3.9	k\$ 3.5
Seguro	k\$ 5.1	k\$ 5.4	k\$ 6.1	k\$ 6.4	k\$ 6.9	k\$ 5.3
CNdT	\$ 0.17	\$ 0.15	\$ 0.18	\$ 0.17	\$ 0.19	\$ 0.15
Emisiones (g(CO <sub>2</sub> )/km.pasajero)	144	130	86	78	34	30

Tabla 4 Características de 6 modelos de vehículos de pasajero compactos que usan distintas tecnologías. En la segunda línea se indican los precios indicativos de cada uno de ellos en miles de USD (k\$). La tercera línea es el costo de mantenimiento a lo largo de su vida útil y la cuarta línea son los costos de combustible en ese mismo período. Estos dos últimos gastos están reducidos a valores presentes usando una tasa de descuento del 5%. La vida útil supuesta es de 15 años. La quinta línea son los valores de CNdT para cada vehículo en USD/km x pasajero. La penúltima línea indica las emisiones totales globales, en g (CO<sub>2</sub>)/km.pasajero. La última línea se muestran los valores de consumo en Wh/km.pasajero.

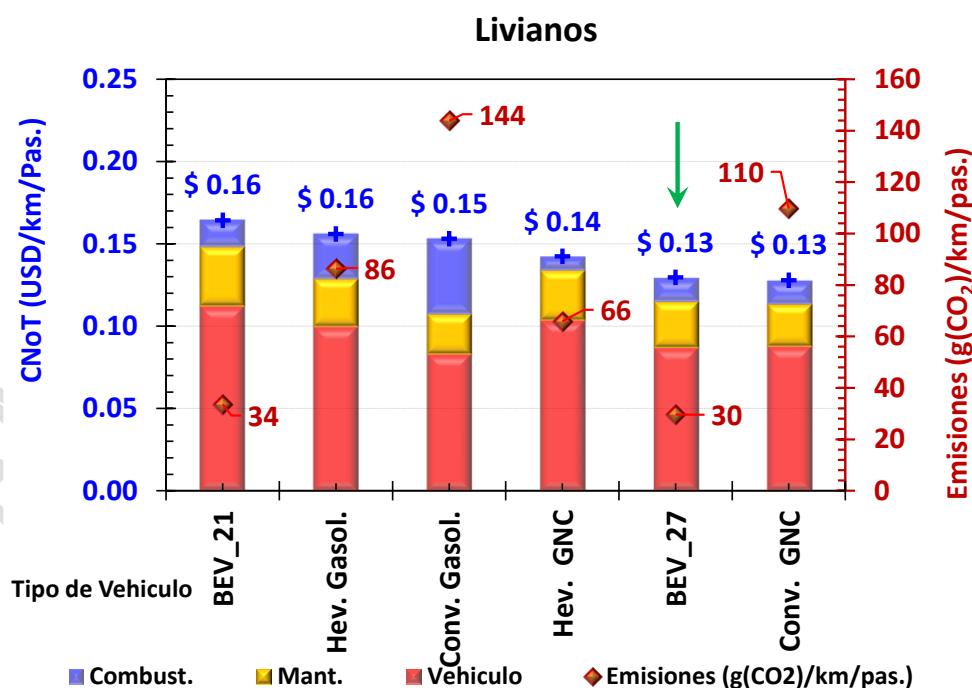


Figura 24. CNdT para los distintos vehículos livianos compactos estudiados, como su distribución. La barra roja es la incidencia del costo inicial, en amarillo el mantenimiento, estimado en 40% del costo inicial y en azul el costo de combustibles. Los rombos naranjas, referidos al eje vertical derecho, indican las emisiones globales, en g(CO<sub>2</sub>)/km.pasajero. La flecha verde indica los más asequibles y menos contaminante hacia fines de la presente década.

La Figura 24 muestra cómo se componen los valores de CNdT entre los tres costos, valor inicial del vehículo, mantenimiento y combustible, como así también las emisiones en g(CO<sub>2</sub>)/km.pasajero. Se analizaron los casos de automóviles compactos, con tecnología convencional e híbrida (HEV) a gasolina y GNC, como así también los BEVs. Los modelos BEV comparados son BEV\_21, es un automóvil eléctrico compacto eléctrico con los costos prevalentes en EE.UU. al año 2021; por ejemplo: un Nissan LEAF, Hyundai Ioniq E, Kia Nero o Chevrolet Volt. Mientras que BEV\_27, son los mismos que el BEV\_21, con los costos esperados para el año 2027, según las expectativas descriptas en la Figura 19.

Es interesante notar que los BEV son los de menores emisiones tanto globales como locales de todas las alternativas analizadas. Además, con las posibles reducciones de costos, como se discutió en las secciones anteriores, ver *Figura 19*, para los últimos años de la presente década se espera que los automóviles BEV sean los más accesible o económicos en el mercado internacional. La flecha verde en la *Figura 24* indica los vehículos más convenientes hacia fines de la presente década. Un resumen de los datos de entrada usados en estos cálculos se muestran en la *Tabla 5*.

Se ve así, que los vehículos híbridos, en particular usando GNC puede ser una buena alternativa para el período de transición. Pero dada la acelerada carrera internacional de llegar a BEV más accesibles, en unos 10 años, los mismos híbridos es posible que terminen siendo desplazados por los BEV.

Vehículos	Costo Inicial del Vehículo	W2W	W2W	Combustible	Combustible
	[miles USD]	[Wh/km]	[g(CO <sub>2</sub> )/km]	[USD/año]	[USD/100 km]
Convencional GASOLINA <sup>a</sup>	20.0	867	216	1.000	6,7
Convencional a GNC	21.2	827	194	316	2,1
HEV Gasolina	24.0	520	130	600	4,0
HEV GNC	25.0	496	117	189	1,3
BEV_21	27.0	170	50	362	2,4
BEV_27	21.0	150	45	320	2,1
km/año = 15.000		T_Vida = 15 años		N_Personas = 1,5	

Tabla 5 Valores de entrada usados para calcular los valores de CNdT de los distintos vehículos compactos analizados aquí.

Por último, un gasto no incluido hasta aquí es el asociado a los seguros, que no es menor y es indispensable para poder circular. Si se incluye un seguro de terceros completo más un seguro todo riesgo, con valores típicos de automóviles de estos rangos de precios en Argentina, los resultados obtenidos se presentan en la *Figura 25*.

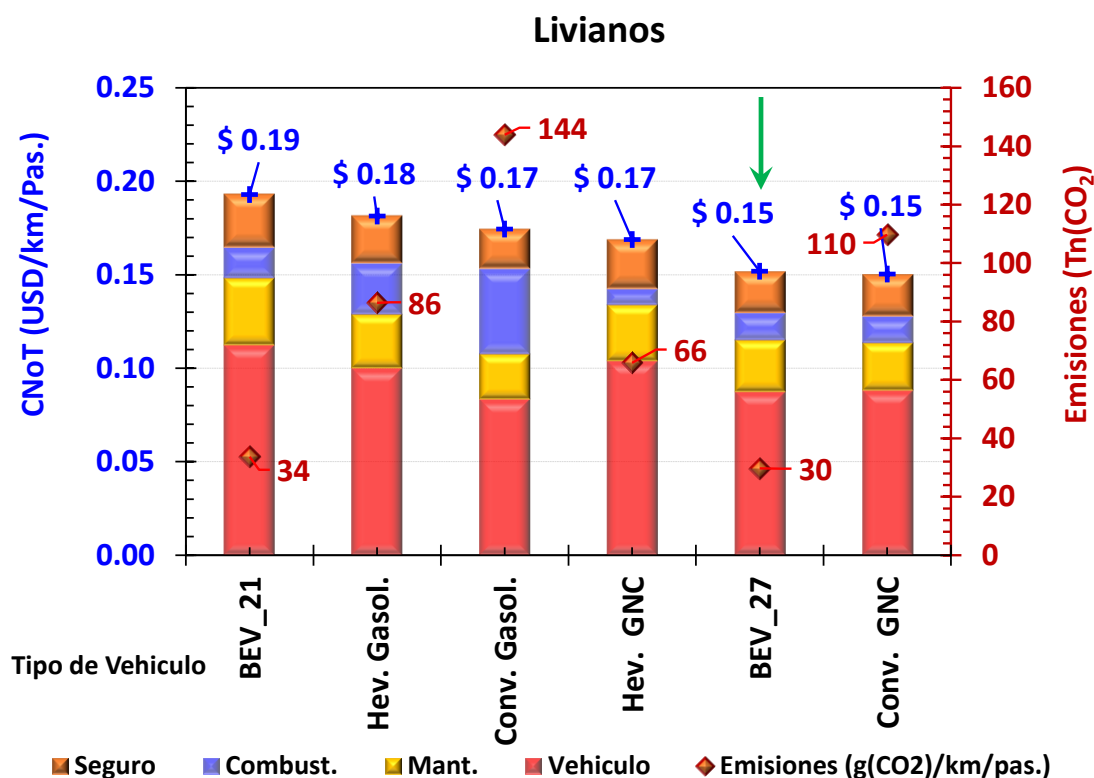


Figura 25. CNDT para los distintos vehículos livianos compactos estudiados, como su distribución. Incluyendo los gastos de seguro.

#### 4.2 Mini vehículos urbanos

En los años recientes se han desarrollado muchos vehículos urbanos de pequeño tamaño y bajo peso, muy adecuados para trasladar uno o dos pasajeros en ambientes urbanos. Algunos de estos vehículos originalmente se fabricaron con motores de combustión interna convencionales, como los Smart de Mercedes Benz, pero también se han desarrollado algunas versiones eléctricas. En la *Figura 26* se ven algunos modelos. Varios de estos coches, como el Sero Electric y Volt Motor ya se fabrican en Argentina. Ellos tienen un costo actual que oscila entre 20 y 12 mil U\$D. En China, hay una gran variedad de vehículos de este tipo, como el Wuling Hongguang MINI EV (53) (4 mil U\$D) o el Chang Li (54) (1,2 mil U\$D), estos vehículos ya se venden en el mercado internacional a precios que oscilan entre 10 y 1 mil U\$D. Tienen autonomía de 50 a 150 km, y pesan entre 200 a 400 kg. En la *Figura 27* se muestran los valores de CNDT y emisiones de estos vehículos. Los tres modelos de mini BEV son similares, aunque sus precios iniciales varían entre 2 y 10 mil U\$D. También se consideran motos convencionales a gasolina (de 150 CC) y moto similar en versión eléctricas. Asimismo, se presenta el caso de bicicletas convencionales y eléctricas.

Como se ve en la *Figura 27* y *Tabla 7*, los medios de transportes que resultan no solo los más asequibles (menores valores de CNDT) y menos contaminantes son: las bicicletas convencionales, bicicletas eléctricas, motos eléctricas y Mini BEV (41), (53) de precios inferiores a 2 o 3 mil USD. Si además

consideramos que, con la disminución de los costos de las baterías, el precio de los Mini BEV puede seguir reduciéndose, es de esperar que este tipo de movilidad prevalecerá en un futuro muy próximo. En base a este análisis, resulta necesario, repensar el diseño urbano y la infraestructura necesaria para que estas tendencias de carácter general para que puedan desarrollarse y contribuir a un transporte asequible y sostenible.

Vehículos	Costo Inic.	W2W	W2W	Combustible	Combustible
	Vehículo	[Wh/km]	[g(CO2)/km]	[U\$S/año]	[USD/100 km]
m_BEV_0	k\$ 10.0	160	48	227	2.3
m_BEV_1	k\$ 4.0	150	45	213	2.1
m_BEV_28	k\$ 2.0	150	45	213	2.1
Moto Convencional 150CC	k\$ 2.1	289	72	222	2.2
Moto EE	k\$ 2.0	35	10	50	0.5
Bicy Conv	k\$ 0.8	0	0	0	0.0
Bicy EE	k\$ 1.6	15	4	21	0.2
km/año	10,000	T_Vida(años)	10	N_Personas	1.0

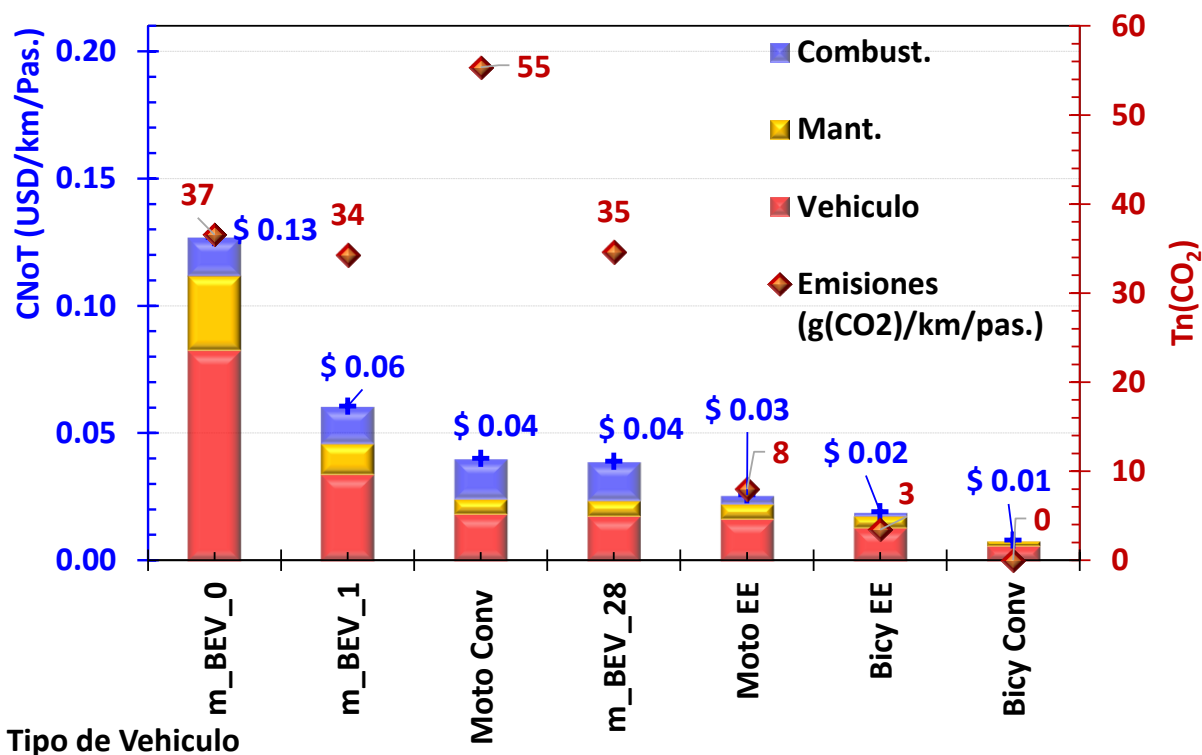
Tabla 6. Valores de entrada usados para calcular los valores de CNdT de los distintos vehículos Mini BEV, motos y bicicletas analizados.



**Wuling Hongguang MINI EV - Anunciado a un precio de 4 mil USD**

Figura 26. Algunos ejemplos de Mino BEV. Los modelos de la parte superior son dos modelos fabricados en Argentina. Abajo un modelo chino que se anuncia a un precio de 4 mil USD.

### Mini, moto y bicy



### Emisiones

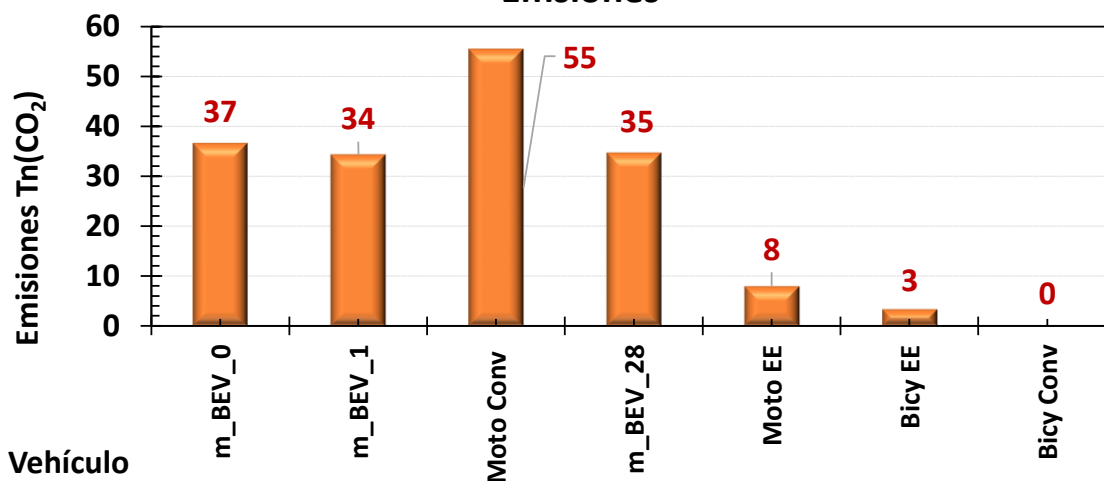


Figura 27 Panel superior: CNoT para los distintos medios de transporte Mini BEV, motos y bicicletas convencionales y eléctricas. La barra roja es la incidencia del costo inicial, en amarillo el mantenimiento, estimado en 40% del costo inicial y en azul el costo de combustibles. Panel inferior: emisiones globales, en Tn(CO<sub>2</sub>) equivalentes, a lo largo de su vida útil. Las flechas verdes indican los vehículos más asequibles y menos contaminantes.

Vehículo	Conv. a Gasolina	Conv. a GNC	m_BEV_0	m_BEV_1	m_BEV_28	Moto Conv	Moto EE	Bicy Conv	Bicy EE
Vehículo precio	k\$ 20.0	k\$ 21.2	k\$ 10.0	k\$ 4.0	k\$ 2.0	k\$ 2.1	k\$ 2.0	k\$ 0.8	k\$ 1.6
Mantenimiento	k\$ 6.5	k\$ 81.1	k\$ 3.6	k\$ 1.4	k\$ 0.7	k\$ 0.7	k\$ 0.7	k\$ 0.2	k\$ 0.6
Combustible	k\$ 5.4	k\$ 1.7	k\$ 1.8	k\$ 1.7	k\$ 1.7	k\$ 1.8	k\$ 0.4	k\$ 0.0	k\$ 0.2
Seguro	k\$ 5.7	k\$ 6.0	k\$ 2.8	k\$ 1.1	k\$ 0.6	k\$ 0.6	k\$ 0.6	k\$ 0.2	k\$ 0.5
CNdT (USD/km/pers.)	\$ 0.311	\$ 1.046	\$ 0.150	\$ 0.070	\$ 0.044	\$ 0.045	\$ 0.030	\$ 0.010	\$ 0.023
Emisiones g(CO <sub>2</sub> )/km.pasajero	166	149	36.6	34.3	34.6	55.3	8.0	0.0	3.4

Tabla 7 Características de los 7 medios de transportes analizados. En la segunda línea se indican los precios indicativos de cada uno de ellos en miles de USD (k\$). La tercera línea es el costo de mantenimiento a lo largo de su vida útil y la cuarta línea son los costos de combustible en ese mismo período. Estos dos últimos gastos están reducidos a valores presentes usando una tasa de descuento del 5%. La vida útil supuesta es de 10 años. La penúltima línea son los valores de CNdT para cada vehículo en USD/km x pasajero. La última línea indica las emisiones totales globales a lo largo de su vida útil, en Tn(CO<sub>2</sub>) equivalente.

En la se muestra los valores del CNdT de los mismos modelos de la pero incluyendo en costo de seguro.

### Mini, moto y bicy

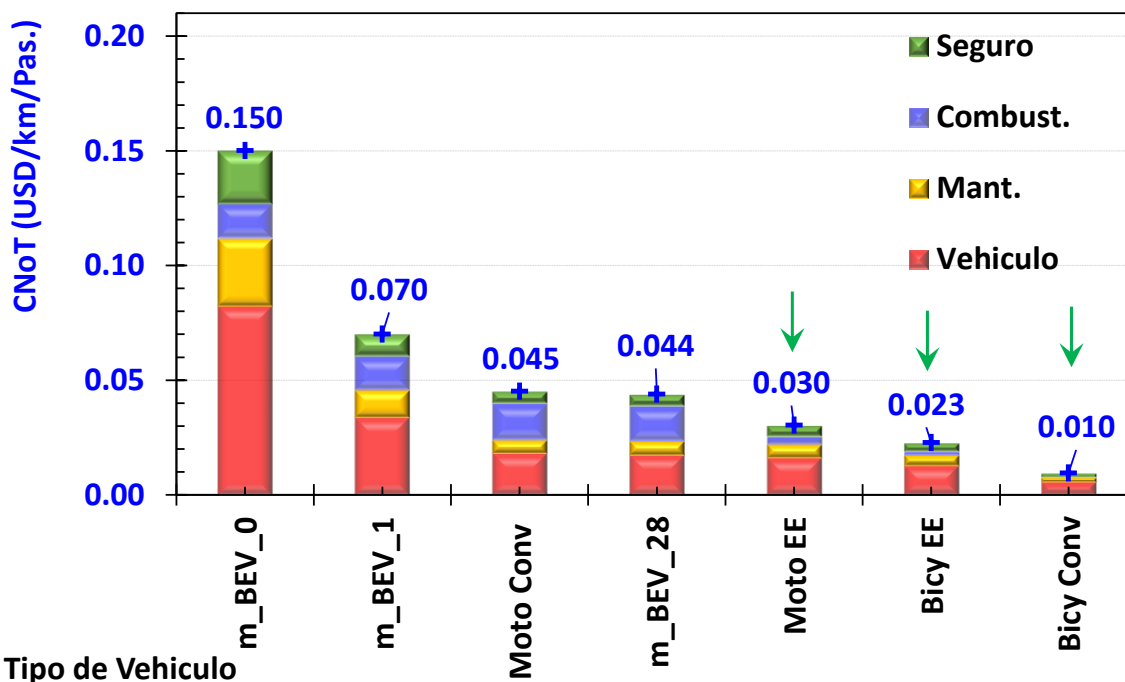


Figura 28. CNdT para los distintos mini-vehículos, motos y bicicletas estudiados, como su distribución. Incluyendo los gastos de seguro.

EN PROCESO DE DISEÑO



## 5. El GNC en Argentina Transporte Público

En Argentina, el combustible dominante en la flota de autobuses es el gasoil, es decir, los buses usan motores Diésel. Es interesante destacar que en muchas ciudades de Europa, EE.UU. y Asia, el GNC es un combustible muy prevalente en el transporte público de pasajeros.

En ese sentido, es curioso que, en Argentina, con una matriz energética muy dependiente del gas natural, abundantes recursos de gas y con una infraestructura muy desarrollada, el uso del gas natural (GN), en la movilidad de carga y pasajeros, haya tenido un desarrollo prácticamente nulo. Esto merece realizar un examen detallado para explorar su posible potencialidad.

De modo análogo, el transporte pesado, asimismo, usa Gasoil/Diésel. En el caso de transporte pesado, la posibilidad de uso de gas natural puede tomar dos caminos, uno es la de mantener la motorización de ciclo Diésel utilizando una “mezcla” de Gasoil/Diésel con GN, hecho que solo produce un ahorro económico proporcional a dicha mezcla como consecuencia de la diferencia de precios relativos. La otra alternativa es directamente el reemplazo de la motorización por otra de ciclo Otto que funciona a GNC.

El análisis tendrá en particular el foco puesto en los colectivos (buses urbanos) estándares de 12 metros de largo y sin Aire Acondicionado, buscando comparar las distintas tecnologías a partir del Costo Nivelado de Transporte (CNdT), que es una medida del costo presente neto promedio de las unidades de pasajeros para una flota automotor durante su vida útil.

Como en el caso de los vehículos livianos, es importante asociar esta evaluación con otras variables, en particular con las emisiones globales de CO<sub>2</sub> equivalentes y las emisiones locales, para tener a una visión integral de las alternativas de motorización y combustible.

La comparación se lleva adelante con: bus convencional (BC) a gasoil (o Diésel Oíl), buses Híbridos a gasoil, BC a GNC, bus Híbrido a GNC y transporte de pasajeros eléctrico, esto es:

- **DO Convencional o a Diésel;**
- **DO Híbrido;**
- **GNC Convencional;**
- **GNC Híbrido;**
- **Bus ELÉCTRICO (Bus E2020) Bus eléctrico con precio en Europa en 2020;**
- **Bus ELÉCTRICO (Bus E2021) Bus eléctrico con precio en Japón en 2021; y**
- **Bus ELÉCTRICO (Bus E2029) Bus eléctrico con precio en internacional proyectado a 2029**

Para esta evaluación se considerará la inversión inicial en el bus; los costos operativos; el leasing del banco de baterías (con una vida útil entre 6 y 8 años), el gasto en combustible, la vida útil del bus, una tasa de descuento, los kilómetros recorrido como así también las toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera por cada alternativa de combustible empleada.

En una primera mirada del problema, concentraremos a atención solamente en las emisiones globales, tomando como referencia las emisiones calculadas con el *modelo naive*, descrito previamente.

Las suposiciones realizadas en nuestras estimaciones son: recorrido anual de los colectivos, 55 mil km, compatible con lo observado para el recorrido medio de estos vehículos en el AMBA, con un número

de pasajeros medio de: 11 pasajeros por unidad y un recorrido medio de pasajero de 10 km/pasajero. Tasa de descuento utilizada fue del 5% *anual* y la vida media del bus se tomó en 10 años. Los resultados alcanzados del cálculo de los *Costos Nivelados de Transporte* (CNdT), Ecs. (1) y (2), están reflejados en la *Tabla 8*.

	Bus DO Convencional	Bus DO HEV	Bus GNC Convencional	Bus GNC HEV	Bus E 2020	Bus E 2021	Bus E 2029
Vehículo	k\$ 200	k\$ 290	k\$ 260	k\$ 340	k\$ 510	k\$ 420	k\$ 200
Mantenimiento	k\$ 87	k\$ 126	k\$ 113	k\$ 148	k\$ 222	k\$ 183	k\$ 87
Combustible	k\$ 240	k\$ 182	k\$ 90	k\$ 74	k\$ 68	k\$ 68	k\$ 64
Seguro	k\$ 57	k\$ 82	k\$ 74	k\$ 96	k\$ 145	k\$ 119	k\$ 57
Salario	k\$ 253	k\$ 253	k\$ 253	k\$ 253	k\$ 253	k\$ 253	k\$ 253
<b>CNdT (U\$D/km.Pasajero)</b>	<b>\$ 0,121</b>	<b>\$ 0,136</b>	<b>\$ 0,117</b>	<b>\$ 0,136</b>	<b>\$ 0,177</b>	<b>\$ 0,155</b>	<b>\$ 0,099</b>
<b>Emisiones (g(CO<sub>2</sub>)/km/pasajero)</b>	<b>121</b>	<b>92</b>	<b>100</b>	<b>83</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>20</b>

Tabla 8 Variables consideradas en la expresión (1) para las alternativas de combustible y los valores obtenidos de los CNdT. La penúltima fila es el CNdT total del autobús y la última el CNdT por pasajero.

El Flujo de Caja Descontado que se muestra en la Figura 27, involucra las Inversiones y los Gastos Acumulados durante los 10 años de vida útil de las unidades para las distintas alternativas con una tasa de descuento del 5% anual, a los efectos de poder observar, desde un punto de vista puramente económico, cuán conveniente resulta cada una de las alternativas. En este cálculo también se incluyó los gastos de seguro y de choferes, ya que para poder dar el servicio requiere de estas prestaciones. Se incluyeron 3 choferes por unidad con 13 salarios anuales de 1.200 U\$D/mes.

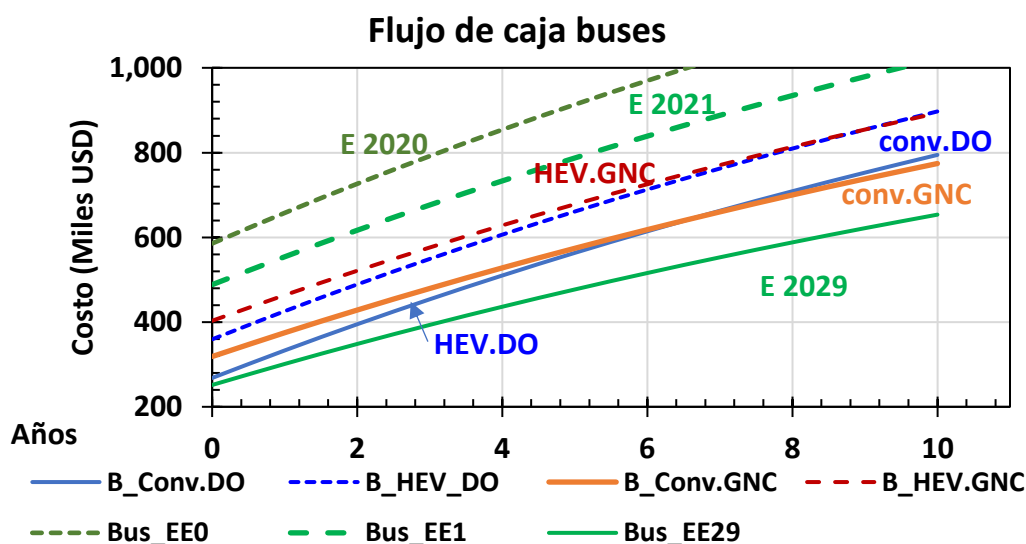


Figura 29 Flujo de Caja Descontado para las alternativas de combustible.

De la Figura 29 Flujo de Caja Descontado para las alternativas de combustible.†† se observa claramente las diferencias económicas (inversión + gastos a lo largo de la vida útil del bus) de las unidades que potencialmente se podrían incorporar a una flota de transporte de pasajeros. Los valores de los CNdT, según las Ec.(1) y (2) se muestra en la Figura 30.

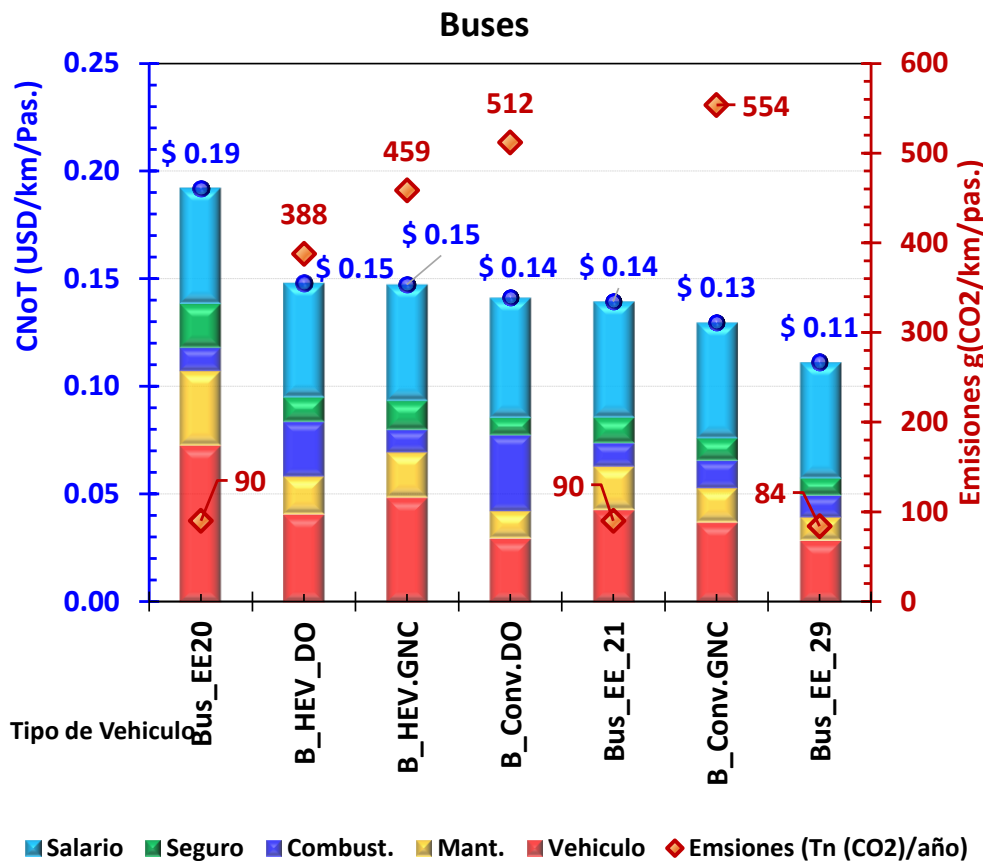


Figura 30 Valores finales del CNdT, particionado en sus distintas componentes, para las diferentes motorizaciones y combustibles, referidos al eje vertical izquierdo. Los números en azul corresponden a los CNdT. Los símbolos romboidales (números en rojo) indican las emisiones por km y pasajero, referidos al eje vertical derecho.

†† El método de flujo de fondos descontados (DCF por sus siglas en inglés) es utilizado para valorar a un proyecto o a una compañía entera. Los métodos de DCF determinan el valor actual de los flujos de fondos futuros descontándolos a una tasa que refleja el costo de capital aportado.

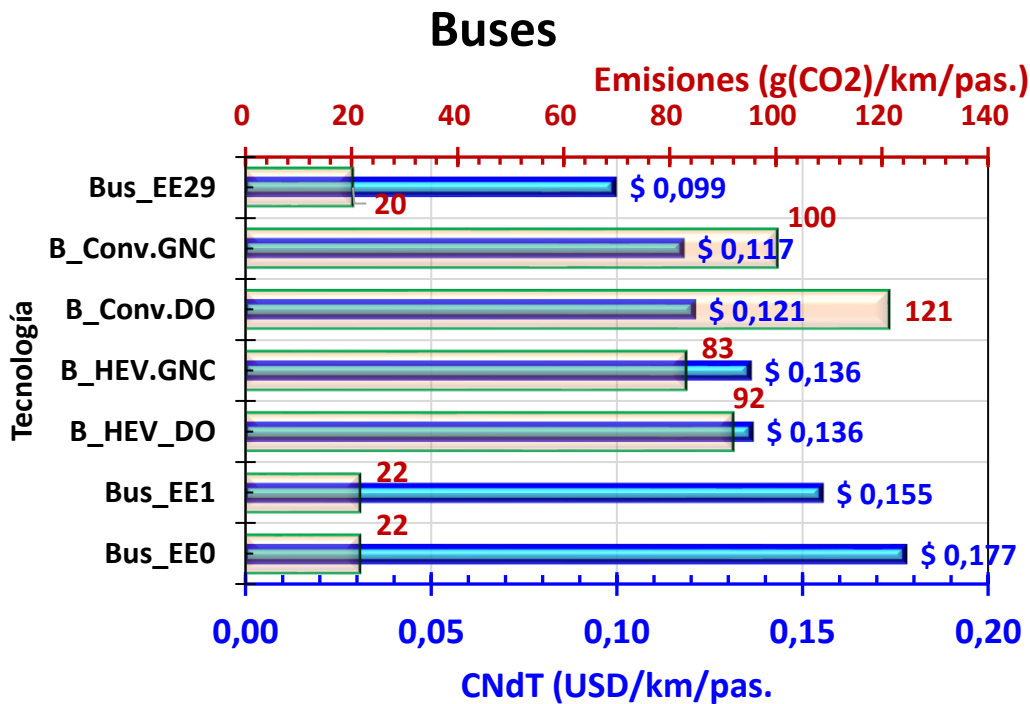


Figura 31. Comparación de los CNdT total entre las distintas tecnologías junto a las Emisiones (W2W en Modelo Naive) que producen cada una de ellas.

El hecho que el gas natural no requiere refinamiento y tiene menor pérdida en su transporte y distribución, hay una reducción de las emisiones W2W del GNC respecto del gasoil del orden del 20% al 25%, pero la mayor diferencia está en el costo de energía, dado que el costo del GNC es en más barato por unidad de energía que cualquier otro insumo, ver ***¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*** En cualquier versión, convencional o híbrida, el costo del combustible en forma de GNC es casi tres veces más económico que los combustibles líquidos. Esto hace que, para buses convencionales como híbridos, resulta más conveniente operarlos a GNC.

Con la electricidad, si bien este insumo es más escaso que los demás, tiene la ventaja de la mayor eficiencia que hace que el resultado final sea más económico que con los combustibles líquidos. Los buses eléctricos muestran una reducción considerable en sus emisiones. Ver *Figura 23* y *Figura 31*. Desde luego, la gran desventaja actual de los buses eléctricos es su costo inicial. Sin embargo, por la caída de precios que se registra en las baterías, ver, *Figura 19*; es previsible que para el año 2029 los costos de los vehículos eléctricos se equilibren con los convencionales. Esto se refleja en nuestros cálculos con el modelo Bus eléctrico 2029. Desde ya este modelo es por ahora hipotético, pero posible de ser una realidad para fines de la presente década.

Por tal motivo, una alternativa interesante y muy adecuada, sería el uso de buses híbridos a GNC para la etapa de transición, que seguramente será mayor a 10 años. Es muy posible que, para ese entonces, el precio de los vehículos eléctricos se haya reducido su valor, y considerar el paso al transporte público eléctrico.

## Precio de los insumos en RA

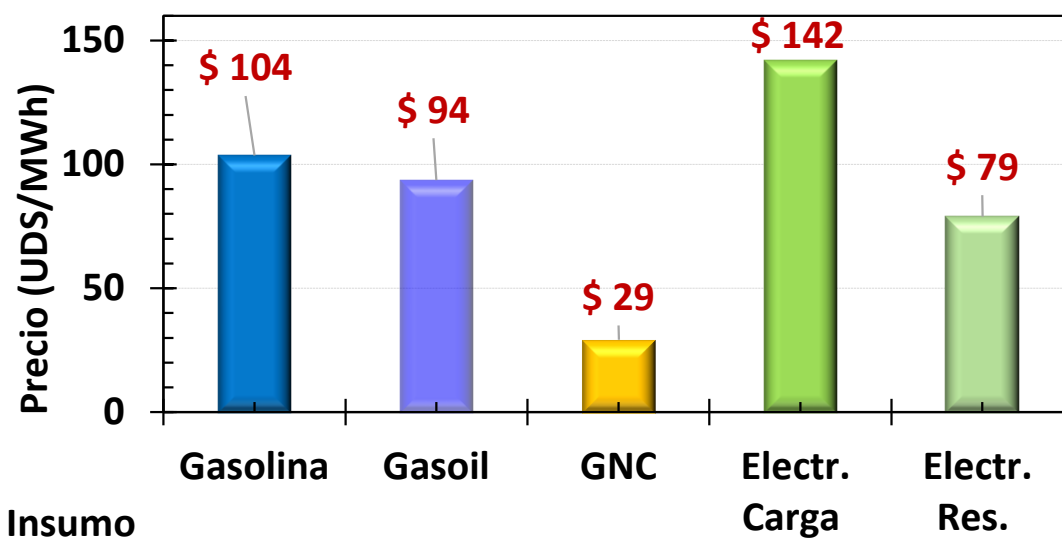


Figura 32. Costo de los distintos insumos energéticos en Argentina, expresados en U\$D/MWh. Electr. Carga se refiere al costo del MWh en una estación de carga. Por comparación también se indica el costo promedio en la zona del AMBA de la Electricidad residencial (Electr. Res.)

Por último, en la *Figura 33* se ve la distribución de los costos nivelados (reducidos a valores presentes) de los distintos gastos que son necesario para poner en funcionamiento un bus urbano.

## Distribución media de costos

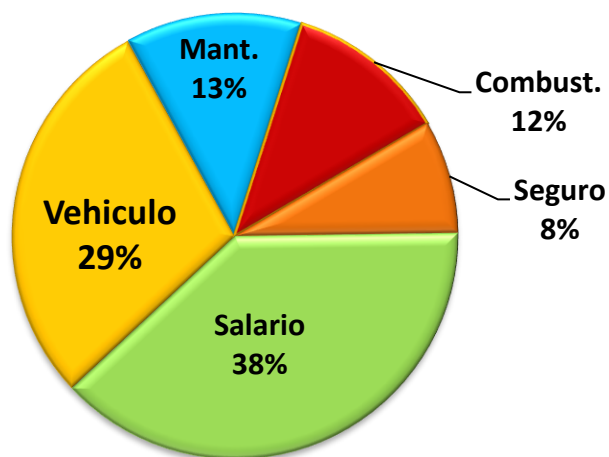


Figura 33. Distribución promedio de los gastos en los buses

Concluyendo esta sección, si los usuarios recorriesen, en promedio, 10 km del viaje en colectivos sería de  $CNdT \times 10$ , o sea, del orden de 1,3 USD.

EN PROCESO DE DISEÑO

## 6. El Transporte Pesado

Como vimos en las secciones anteriores el *Gas Natural* (GN) es una alternativa muy adecuada para Argentina. No solo tiene emisiones menores que los combustibles líquidos, sino que su precio relativo es muy conveniente, ver *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..*

Además, en el transporte pesado, la transición a sistemas eléctricos es muy posible que sea la más lenta de todos. Por lo que el *Gas Natural* es un recurso energético que debe tener *un lugar más importante en el camino de transición hacia las energías sustentables*, quizás eléctricas y con fuentes de generación también más sustentables (hidráulica, fotovoltaica, eólica, nuclear, entre otras), las que sin dudas irán incrementando su participación en la matriz energética de la Argentina.

En la actualidad se ha logrado el avance del Gas Natural Licuado (GNL) en el transporte pesado, con una herramienta reglamentaria convocada por el Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS), cuyo resultado es la Norma NAG 451.

Esta reglamentación ha permitido tener una experiencia operativa desde el 11 de enero de 2019, en la localidad de Anchoris, provincia de Mendoza, con la circulación de 6 camiones propulsados a GNL y un surtidor de GNL diseñado y realizado íntegramente en el país.

El desarrollo del GNL en vehículos pesados de larga distancia puede ser una alternativa interesante de considerar. Sin embargo, hay una serie limitación con este combustible. Necesita de una estación especial de carga de GNL, que lo hace considerablemente más costoso que el GNC, y además requiere de un uso continuo del vehículo. Hay una permanente evaporación del GNL que debe ser usado. Por lo que, al detenerse, es posible que algo del GN se evaporara o *boil-off* y deba ser venteado, lo que tiene consecuencias muy dañinas para el medio ambiente.

Por esta razón la alternativa más viable y amigable para el medio ambiente es el uso del GNC en el Transporte pesado.

### GAMA DE CAMIONES CON GAS NATURAL LICUADO GNL

Marca: *Freightliner*, Modelo: *Cascadia*

Marca: *Iveco*, Modelo: *Stralis*

Marca: *Kenworth*, Modelo: *T680, T800, y T880*

Marca: *Peterbilt*, Modelo: *579, 520, y 365*

Marca: *Scania*, Modelo: *Serie R, Serie G, y Serie P*

arca: *Volvo*, Modelo: *FH LNG*

Los motores diésel dominan el mercado mundial de vehículos pesados, pero la tecnología de Gas Natural está empezando a reducir su cuota de mercado a medida que las nuevas regulaciones ambientales se afianzan. Los motores diésel representan el 98,5% del parque de camiones.

El gas natural ofrece claras ventajas ambientales, tiene un precio competitivo y hay suficientes reservas para justificar su uso a gran escala.



Los vehículos que funcionan con gas cumplen con determinada facilidad las normas actuales y futuras sobre emisiones de gases de escape, permiten viajar libremente dentro de las zonas de bajas emisiones y de aire limpio, permiten las entregas nocturnas gracias a las bajas emisiones de ruido, consumen menos combustible y más barato que los vehículos diésel, y garantizan una imagen limpia real y tangible.

El mayor obstáculo hoy en día para las flotas interesadas en adoptar, o al menos evaluar, un camión a Gas Natural Licuado es la falta de infraestructura. No obstante, desde el punto de vista operacional, la mayoría de las flotas gravitan hacia el GNL.

También la tecnología permite usar, en lugar de un motor de ciclo Otto, que es la solución convencional para los vehículos a gas, camiones impulsados por motores a gas que utilizan ciclo Diésel, esto significa que cuando se elige el gas puede hacerse sin comprometer la conducción, la eficiencia del combustible o la fiabilidad. El consumo de combustible de esta tecnología está a la par de los motores diésel, pero entre un 15 y un 25 por ciento más bajo que el de los motores a gas convencionales (ciclo Otto).

Asimismo, no hay compromiso en la potencia de los camiones, y nuevas transmisiones automáticas igualan a los camiones a GNL a las tradicionales versiones de diésel, lo que será relevante en el panorama del transporte de mercancías. Un dato no menor es que el reabastecimiento de GNL es considerablemente rápido.

El uso del combustible GNL permite la reducción de las emisiones del vehículo en el orden del 20%, en lo que se define como eficiencia de Tanque a Rueda (T2W).

El sistema de GNL comprende tanques de combustible de GNL, inyectores de combustible, bombas de combustible criogénicas y componentes electrónicos asociados para facilitar un rendimiento robusto y un funcionamiento fiable.

## 7. Reflexiones finales

En este trabajo hemos analizado algunos desafíos que presenta el transporte a nivel global y local. No cabe duda de que el transporte es un factor fundamental de desarrollo y bienestar de cualquier sociedad. Sin embargo, este sector es responsable del 22% de las emisiones de energía y del 16% de las emisiones totales en el mundo y del 26% y 14% respectivamente, en Argentina. Además, el transporte no solo genera emisiones globales, responsables del calentamiento global; sino también de emisiones contaminantes locales: partículas microscópicas, gases tóxicos, etc., que causan numerosas enfermedades y muertes fundamentalmente en centros urbanos. Por otra parte, la flota de vehículos tiene un crecimiento notable, que se espera continúe en las próximas décadas. De mantenerse la tendencia actual, el número de vehículos livianos en 2050 puede llegar a triplicar el que había en 2010.

El objetivo general de este trabajo se orientó a identificar las oportunidades de un transporte más sostenible en Argentina, teniendo como norte, la asequibilidad y la mitigación de las emisiones. Asimismo, nos proponemos identificar algunas medidas que pudiese ser útiles de implementar para el período 2020 -2030.

En ese sentido, parecerían surgir al menos tres ejes o carriles por los que sería posible lograr un transporte más sostenible. En la Figura 34 se muestra un esquema sintético de una primera mirada del problema, que esperamos pueda permitir orientar la discusión.

Un primer eje sería el de la *Eficiencia en el sistema o eficiencia social y territorial*, es decir, las distintas formas de organización social, económica y urbanísticas: de modo de minimizar los viajes. Este enfoque pone atención al diseño de las ciudades y barrios, de modo de reducir los traslados masivos de personas, como a veces ocurre con el diseño de barrios dormitorio, tan en boga en Argentina, que obliga a los habitantes a viajar, a veces grandes distancias para trabajar, ir a las escuelas, y realizar sus compras. Otra alternativa posible, es la de promover, en la medida de lo posible, el trabajo remoto, privilegiar trámites online, etc. de modo de minimizar los viajes de traslado.

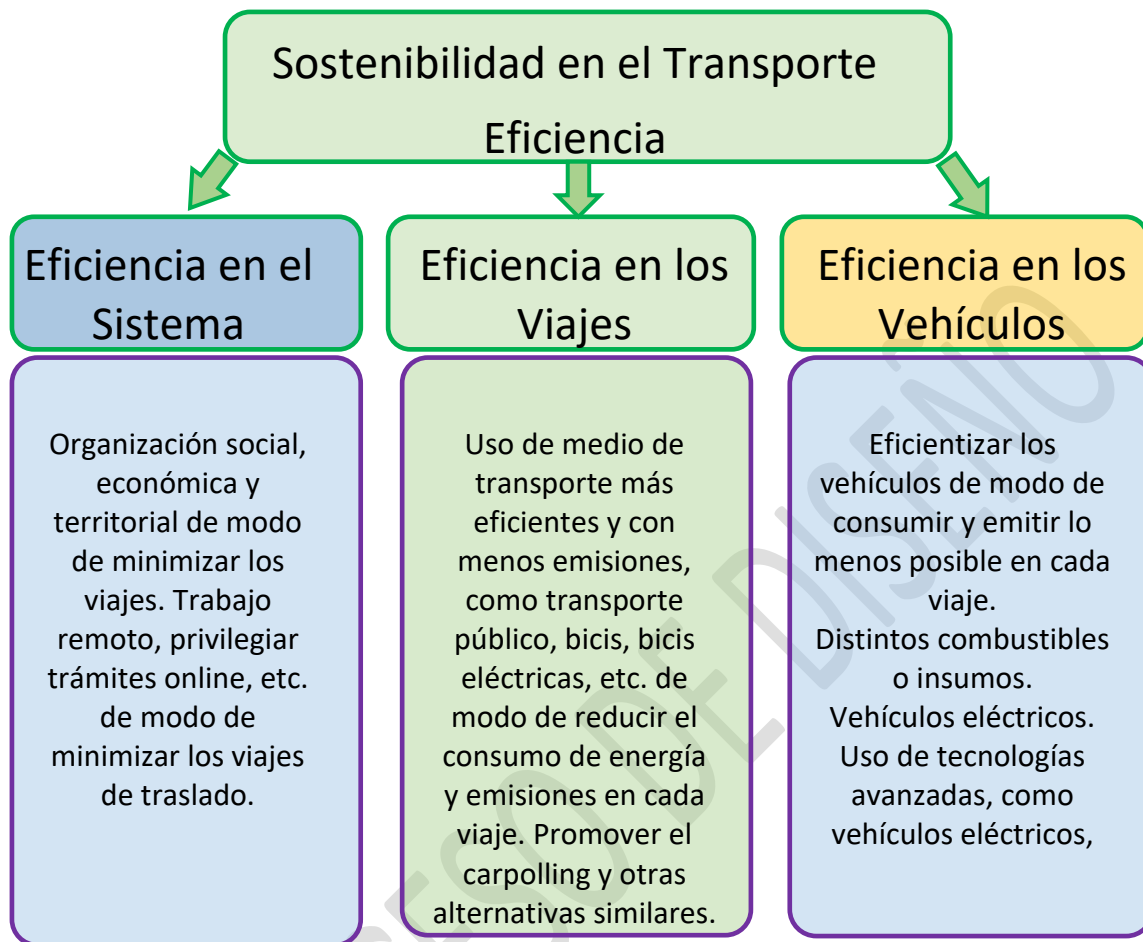


Figura 34. Esquema de los posibles ejes sobre los que se podría encausar la discusión de un transporte más sostenible.

Un segundo eje de discusión es la de *Eficiencia en los viajes*, que consiste en promover los traslados en medios de transportes más eficientes y con menos emisiones, como transporte público, bicis, bicis eléctricas, etc. de modo de reducir el consumo de energía y emisiones en cada viaje. Promover el *carpolling*, y otras alternativas similares.

Un tercer eje, sería el de mejora en *Eficiencia en los vehículos*, esto es el análisis de vehículos más eficientes y menos contaminantes, de modo de reducir las emisiones en cada viaje. En este trabajo hemos analizado en detalle los distintos combustibles o insumos energéticos que los vehículos usan y su impacto en las emisiones y el costo de transporte. En este eje, el rol de las tecnologías avanzadas es importante para un transporte más sostenible, como puede ser vehículos eléctricos, vehículos autónomos, etc.

Nuestro análisis del problema, sobre todo en el caso de vehículos livianos, indica que en términos de emisiones globales y locales de los distintos vehículos con motores de combustión interna (CI), que usan gasolina, gasoil/diésel o GNC, no tienen grandes diferencias entre sí, los vehículos a GNC tienen una menor emisión de partículas y de CO<sub>2</sub> (entre 20% y 30%), pero similares emisiones de NO<sub>x</sub>. Con lo

cual parecería haber una cierta paridad que ligeramente favorece al GNC. Solo los Vehículos Eléctricos (EV) tienen emisiones considerablemente menores, dependiendo del tipo de matriz eléctrica prevalente en cada país. En el caso actual de Argentina, la reducción de las emisiones sería superior a un factor de 2 en general relativo a los motores de CI. Sin embargo, si miramos los costos de combustibles, allí se ve una clara ventaja de los vehículos a GNC. Siendo por ahora los eléctricos los más caros.

Un aporte importante de este trabajo es haber introducido el concepto de Costo Nivelado de Transporte (CNdT), que permite establecer el costo medio en USD para recorrer una unidad de distancia (km) y por pasajero, teniendo en cuenta todos los costos: valor del vehículo, costo de mantenimiento, combustible y seguro a lo largo de su vida útil. En la Figura 35 se muestra una comparativa de los medios de transportes analizados en este trabajo, junto con las emisiones de GEI por vehículo, por año y por pasajero.

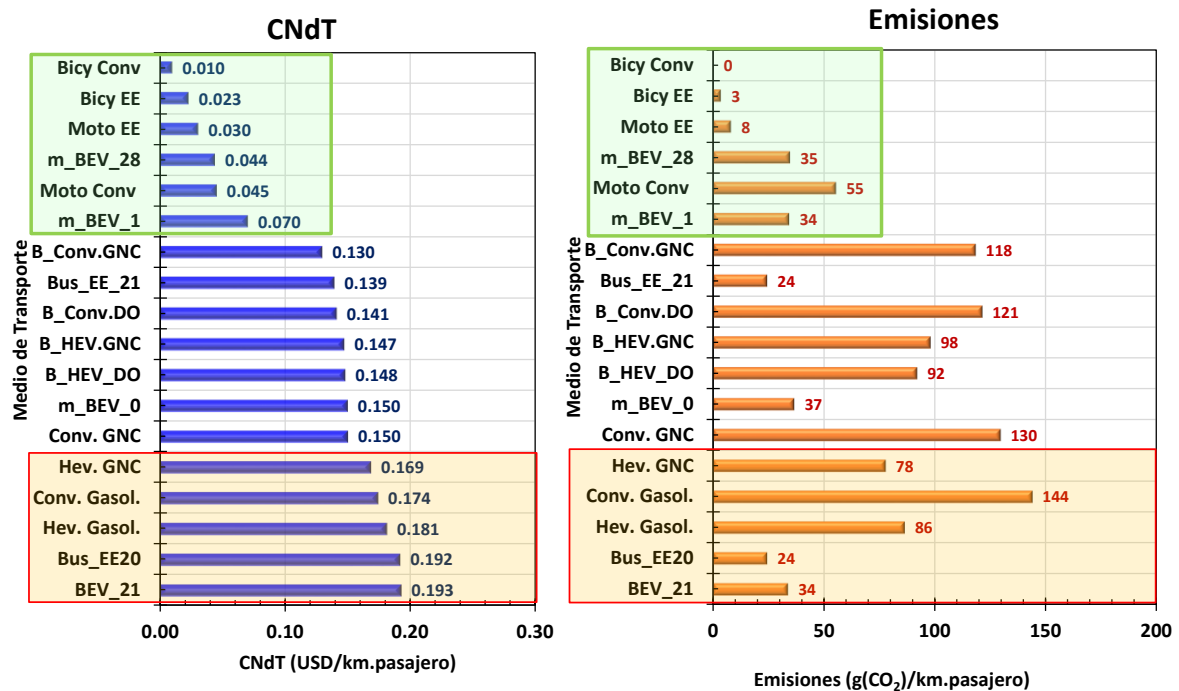


Figura 35. Cuadro comparativo de los CNdT en (USD/km.pasajero) y emisiones anuales por pasajero en (g(CO<sub>2</sub>)/km.pasajero) para distintos medios de transportes. Usando costos de la energía en Argentina. Los recuadros con fondo verde indican las opciones más sustentables en esta serie de medios de transportes analizados. El cuadro rojo, los medios con costos actuales (CNdT) más elevados.

Es interesante notar, que los vehículos de menor costo (Menor CNdT) y menores emisiones son las bicicletas, las motos y los mini-vehículos eléctricos. Aun las motos convencionales pequeñas (125 cc) no son una mala opción, aunque tiene otras objeciones en cuanto al ruido y las emisiones locales que no se reflejan en la *Figura 35*, ya que hay pocas regulaciones de emisiones para este tipo de medio de transporte, estas reservas no se aplican a las motos eléctricas. En la transición, y hasta que los precios de los autos eléctricos bajen, los autos híbridos y a GNC constituyen una buena alternativa que ya cuanta, como se señalara repetidas veces, con la infraestructura de apoyo suficiente para su desarrollo.

Los mini-auto, motos, bicicletas eléctricas, ya son convenientes actualmente, con perspectivas todavía mejores en el futuro próximo. De hecho, el costo de traslado de estos vehículos, CNdT, y sus emisiones por km, es al presente inferior al de los colectivos a gasoil y automóviles de todo tipo, como lo muestra la Figura 35. Con lo cual, para ciudades pequeñas, donde los costos de transporte público son muy poco redituables, la promoción de mini-autos eléctricos, bicis y motos eléctricas, puede ser una muy buena alternativa, tanto desde el punto de vista económico como ambiental.

Un desafío importante para la transición hacia vehículos eléctricos es la carencia de generación suficiente y las estaciones de cargas, con la consecuente expansión de las redes de transmisión y distribución eléctrica. Según Cammesa, la generación total en Argentina en el año 2019 fue de 134 TWh. Suponiendo que la eficiencia de los vehículos eléctricos es una 4 veces mayor a los convencionales de combustión interna, la demanda de los livianos sería del orden de unos 25 TWh, o sea cerca del 20% de la generación total nacional en 2019.

Para grandes ciudades, el transporte público tiene varias ventajas, como el de transportar más pasajeros con menor uso de la infraestructura. Pero aquí, surge la posibilidad del uso de colectivos a GNC o mejor híbridos a GNC. Esta es una tecnología madura y en Argentina ya tiene la infraestructura necesaria para su implementación.

El gas natural, como alternativa de reemplazo de los combustibles líquidos es un camino muy interesante para la transición hacia vehículos eléctricos más sustentables, en particular para el caso de transporte público y pesado, donde la transición hacia lo eléctrico será más lenta. La discusión y proyección que, hacia fines de la presente década, los vehículos eléctricos prevalezcan, se aplica para vehículos livianos, mini-autos, motos y bicicletas. Para el caso del transporte pesado, la transición hacia lo eléctrico es mucho más lenta. En parte por los altos costos de las baterías, que para estos vehículos son más grandes y costosas como también el inicial desarrollo actual de esta tecnología. Por lo tanto, hay una ventana de 10 a 15 años, donde el Gas Natural y en particular el Comprimido, puede tener un rol fundamental para lograr un transporte más sustentable. De igual modo los vehículos híbridos (HEV) tanto livianos como buses tiene un rol importante en esta ventana de tiempo. Al Gas Natural en el transporte creemos que debería prestársele mucha atención. No solo porque es el energético más abundante del País sino también por su precio relativo y la importante infraestructura ya existente.

Otro instrumento orientador que se debe discutir, en un trabajo conjunto de los organismos competentes, que impulsaría más aún el uso del GAS NATURAL en la MOVILIDAD, es el subsidio a los combustibles líquidos cuya eliminación progresiva, ordenada y controlada, se convertiría en un vector natural para el mercado sin necesidad de recurrir a la afectación de impuestos o baja de aranceles para incentivar las conversiones o la incorporación de los cambios tecnológicos (vehículos híbridos, vehículos eléctricos con celdas de combustible alimentadas con Gas Natural, diversificación de las aplicaciones del Gas Natural Licuado) no solo en vehículos livianos sino también, y más importante, el transporte de carga y pasajeros. No obstante, sería muy importante considerar económicamente la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> a través de una baja arancelaria y/o subsidio ya que justiprecia el esfuerzo de quienes realizan la inversión, lo que actúa a modo de un estímulo más que aceleraría el proceso de transformación del parque automotor en general.

Una reflexión final, en particular para los vehículos livianos, que merece atención y es el comportamiento de los automovilistas al momento de decidir sobre la elección del combustible de propulsión, GNC o NAFTA, ya que parecería que el producto GNC Vehicular respecto al producto NAFTA se comporta como las “segundas marcas”, lo que se define como “*efecto de sustitución*”, pero la diferencia del producto GNC Vehicular con las “segundas marcas” radica en que las segundas marcas son productos de menor precio y de menor calidad que alcanzan a satisfacer los requerimientos de los consumidores, mientras el GNC Vehicular, si bien es de menor precio relativo, coincidiendo en este precepto con el de las “segundas marcas”, pero el GNC tiene mayor eficiencia por unidad de volumen equivalente y menor cantidad de emisiones contaminantes, ventajas de calidad que nunca presentan las “segundas marcas”. Frente a este escenario, las fábricas automotrices deberían focalizar o por lo menos evaluar cuál es el producto que debería introducir/incorporar/ofrecer al mercado argentino, considerando las importantes posibilidades gasíferas del País y la amplia red de distribución de Estaciones de Carga (única en el mundo) que permitiría atender el incremento de la demanda de aquellos que se vayan incorporando al uso del *Gas Natural* como combustible para la *Movilidad*. Un punto más para analizar es el impacto de la instalación de “Estaciones de Carga Cautivas” por parte de las empresas de Transporte Público de Pasajeros, ya que estas estaciones dedicadas facilitarían las maniobras para la carga como, asimismo, el tiempo de carga.

Las acciones concretas que podrían llevarse adelante para avanzar en la incorporación del Gas Natural como combustible, serían las siguientes:

Difusión coordinada, oficial y de particulares involucrados de la industria, de las ventajas del uso de una energía más limpia y eficiente, y que emplear este combustible presenta también beneficios económicos.

Incorporación, en el transporte de carga y público de pasajeros, de unidades convencionales o híbridas, con almacenamientos (tanques de combustible) gaseosos (Gas Natural Comprimido) o líquidos (Gas Natural Líquido).

Etiquetado Vehicular por Eficiencia (reglamentado por la Autoridad Regulatoria).

Reconocimiento arancelario o subsidio en función de las menores emisiones a la atmósfera considerando un valor económico de la tonelada de CO<sub>2</sub>, fijando la cantidad de kilómetros anuales recorridos, y la estimación de la vida útil y/o financiera del vehículo.

Reducción progresiva, ordenada y controlada del subsidio a los combustibles líquidos tradicionales (naftas, diésel-oíl y fuel-oíl).

EN PROCESO DE DISEÑO



## 8. Conclusiones

En este trabajo se han analizado algunos desafíos que presenta el transporte a nivel global y en particular en Argentina. No cabe duda que el transporte es un factor fundamental de desarrollo y bienestar de cualquier sociedad. Sin embargo, este sector es responsable del 26% de las emisiones de energía y del 16% de las emisiones totales de gases efecto invernadero (GEI) en el mundo. Asimismo, los vehículos generan no solo emisiones globales, responsable del calentamiento global; sino también de emisiones locales: partículas, gases tóxicos, etc., que causan numerosas enfermedades y muertes fundamentalmente en centros urbanos.

Las estrategias para lograr un transporte más sostenible, que permita reducir las emisiones, y que al mismo tiempo posibiliten el desarrollo económico y social, se pueden agrupar en tres ejes o carriles. Un primer eje de acción sería optimizar la *Eficiencia del sistema o eficiencia social y territorial*, consistente en formas de organización social, económica y urbanísticas de modo de minimizar los viajes. También la de promover el trabajo remoto, privilegiar trámites online, para minimizar los viajes de traslado. Un segundo eje de acción sería el de *Eficiencia en los viajes*, se basa en promover los traslados en medios de transportes más eficientes y con menos emisiones, como transporte público, bicis, bicis eléctricas, etc. de modo de reducir el consumo de energía y emisiones en cada viaje. Promover el *carpolling*, y otras alternativas similares. Un tercer eje sería el de mejora en *Eficiencia en los vehículos*, esto es el análisis de vehículos más eficientes y menos contaminantes y reducir así las emisiones en cada viaje, lo que se pretendió analizar en este trabajo.

Un aporte importante del presente documento es haber introducido el concepto de Costo Nivelado de Transporte (CNdT), que permite establecer el costo medio, en USD, para recorrido de distancia (km) y por pasajero por parte de una unidad, teniendo en cuenta todos los costos: valor del vehículo, costo de mantenimiento, combustible, seguro, salarios de conductores, etc., a lo largo de su vida útil. Así los indicadores: CNdT y las emisiones por km y pasajero de cada vehículo, permite realizar una comparación objetiva de costos y emisiones de distintos medios de transportes, con un *criterio unificado y común* para todos, incluyendo, autos, mini-autos, buses, motos, bicicletas, etc.

Este estudio indica que los vehículos de menor costo (menor CNdT) y menores emisiones son las bicicletas, las motos y los mini-vehículos eléctricos. Aun las motos convencionales pequeñas (125 cc) no son una mala opción, aunque tiene otras objeciones en cuanto al ruido y las emisiones locales, ya que hay pocas regulaciones de emisiones para este tipo de vehículos, las existentes se aplican a las motos, por lo que las motos con motores de CI no son en general una buena elección.

Si bien los autos eléctricos en el mundo y sobre todo Argentina, tienen precios actualmente que los hacen inaccesibles económicamente y, por lo tanto, poco convenientes al presente. Sin embargo, la vertiginosa tendencia decreciente de estos precios indica que, para fines de esta década, su precio de venta será similar a la de sus equivalentes convencionales. Dada su mayor eficacia, respecto a los vehículos de combustión interna; sus costos de mantenimiento mecánico y de combustible, serán inferiores a la de los convencionales. Esta ventaja económica, asociado a sus menores emisiones, los transforma en los medios de transportes más promisorios en el largo plazo, o sea dentro de 10 a 15 años.

Varios países OCDE tienen políticas activas de promoción de vehículos eléctricos. Otros tienen previsto poner fin a la venta de automóviles con motores de conversión interna (CI) hacia fines de esta década. Por ejemplo, en Reino Unido pondrán fin a la venta de autos de CI a partir del 2030. Recientemente, Argentina intentado seguir el modelo europeo ha comenzado a alinearse con esta tendencia. De hecho, el proyecto de ley de Movilidad Sustentable, en el texto de la propuesta, apunta a poner límite a la venta de autos a combustión en el país para el año 2041. Por otro lado, el Gobierno Nacional celebró un acuerdo con la empresa china Jiangsu Jiankang Automobile para producir en Argentina vehículos urbanos eléctricos y baterías con la utilización de litio, elemento del cual el país posee una de las mayores reservas mundiales.

Sin embargo, en Argentina, la infraestructura de generación eléctrica, ni las redes de transmisión y distribución están preparados para absorber esta nueva demanda potencial, de cerca del 20% de la generación total nacional en 2019, solo para alimentar la flota de vehículos livianos. Además de equipar las ciudades, rutas y estaciones de servicio con puntos de carga de BEV. Esta infraestructura, además de costosa, requiere de muchos años de desarrollos, quizás una década.

En la transición, y hasta que los precios de los automóviles eléctricos bajen, los autos híbridos y a GNC constituyen una buena alternativa, que ya cuenta con la infraestructura de apoyo suficiente para su desarrollo. En cuanto a mini-auto, motos, bicicletas, eléctricas, ya son convenientes actualmente, mejorado su posición en el futuro próximo. De hecho, el costo de traslado de estos vehículos, CNdT, y sus emisiones por km, es al presente inferior al de los colectivos a gasoil y automóviles de todo tipo. Con lo cual, para ciudades pequeñas, donde los costos de transporte público son muy poco redituables, la promoción de mini-autos eléctricos, bicis y motos eléctricas, puede ser una muy buena alternativa, tanto desde el punto de vista económico como ambiental. Se necesita arbitrar estímulos económicos, como créditos de mayor plazo, campañas informativas, y el desarrollo de infraestructuras de carga de baterías, en rutas, calles y estaciones de servicio.

Para grandes ciudades, el transporte público tiene varias ventajas, como el de transportar más pasajeros con menor uso de la infraestructura. Pero aquí, surge la posibilidad del uso de colectivos a GNC o mejor híbridos a GNC. Esta es una tecnología madura y en Argentina ya tiene la infraestructura necesaria para su implementación. Si bien en este sector los buses eléctricos tienen una clara ventaja ambiental, por sus costos, y hasta que los precios de los buses eléctricos disminuyan, se abre una ventana temporal donde el GNC puede jugar un papel clave en los próximos 10 a 15 años.

Respecto del segmento automotor del transporte de carga y de pasajeros, surge claramente lo conveniente de incorporar, a las flotas de transporte urbano y de carga, unidades motorizadas con GNC, en consecuencia, se iniciaría así un camino hacia vehículos de menor contaminación y mayor ahorro energético, en un marco de desarrollo estratégico sostenible.

Por último, la necesidad de comenzar a movernos hacia la adaptación de las ciudades, la economía y sociedad, hacia condiciones más sostenibles, se debería ir rediseñando nuestras ciudades, incorporando nuevas formas organización social, económica y urbanísticas, de modo de minimizar los viajes. Muchas de estas iniciativas ya están en curso en muchas ciudades sostenibles e inteligentes. Son

prioridades que se vuelven cada vez más impostergables y deberían tomarse como norte en los emprendimientos constructivos actuales.

### **Anexo A- Emisiones de vehículos de transporte**

En este anexo se realiza un análisis del impacto ambiental y costos que implica para la economía la renovación del parque de buses urbanos de pasajeros en el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) por tecnologías EURO VI más limpias y eficientes, evaluando las alternativas de buses diésel, híbridos, eléctricos y a gas natural comprimido (GNC) disponibles en el mercado. Para ello se contemplan tanto las emisiones locales que impactan sobre la salud de la población como las globales responsables en gran medida del calentamiento global.

Las tecnologías de buses EURO VI comparadas fueron; motor diésel (y su versión híbrida) con catalizadores de oxidación (DOC), selectivo para NOx (SCR) y filtro de partículas (DPF), motor ciclo otto GNC estequiométrico con catalizador de tres vías (y su versión híbrida) y buses eléctricos del tipo de carga nocturna (overnight), contemplando emisiones asignadas a la producción de la energía consumida, para el impacto ambiental más desfavorable en el AMBA. Del análisis de contaminantes locales realizado en base a una proyección de posibles excedencias al estándar de calidad de aire OMS de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) para cortos períodos de exposición, surge que las alternativas de buses a GNC, eléctricos e híbridos presentan un mejor comportamiento respecto del diésel. Sin embargo, cuando se evalúa el uso de energía de centrales térmicas por buses eléctricos, estos presentaron emisiones altas para los contaminantes criterio de mayor efecto en la salud, así como material particulado de menos de 2,5 µm de diámetro (PM<sub>2,5</sub>) y Óxidos de Azufre (SO<sub>x</sub>), varias veces superiores al resto de las tecnologías EURO VI evaluadas. Esta situación podría afectar el cumplimiento de estándares de calidad de aire OMS de larga exposición en AMBA, conforme las nuevas normas más exigentes para PM 2.5 implementadas en Provincia de Buenos Aires a partir de 2018 (Dec.1074/ 1018 GDEBA-GPBA) y a ser incorporadas por CABA que solo cuenta con estándares para PM<sub>10</sub>. De lo analizado respecto a los costos sociales asociados (contemplando externalidades ambientales y costos directos) surge que la renovación de la flota actual por buses a gas natural comprimido (tanto con motor de combustión como su versión híbrida) presenta la alternativa más conveniente, mientras que por buses eléctricos la más costosa. Sin embargo, para una proyección sobre las contribuciones al cambio climático global, los buses eléctricos son los que menores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generan de tanque a rueda, conforme a su mayor eficiencia (seguido por los buses híbridos a GNC) energética. Asimismo, existen incertidumbres respecto a la contribución total de GEI por estas alternativas tecnológicas para un ciclo de vida completo.

El GNC y su versión híbrida resultan una opción intermedia respecto de las emisiones y consumo de energía que implica los menores costos económicos y se presenta en mejores condiciones para viabilizar desarrollos productivos locales. Esta alterativa permite no solo reducir la actual intensidad de carbono de la energía empleada en el transporte sino también proyectar una transición al uso de combustibles renovables (Biogás e Hidrógeno verde), para viabilizar la descarbonización de la matriz energética actual. En lo que respecta a la selección de los modelos de buses más apropiados, se deben optimizar la metodología en una base comparativa equivalente y acorde al servicio contemplado,

asegurando validez de homologaciones y monitoreo de las tecnologías incorporadas para asegurar el cumplimiento de la norma EURO VI durante la vida útil garantizada.

### **Consideraciones generales**

Los procesos socioeconómicos de transformación disruptiva que han venido sucediendo desde el siglo XX con el ingreso de nuevas tecnologías a nivel internacional (acceso a la electricidad, automotores con combustibles fósiles, celulares, internet, etc.), ocurren en lapsos de 10 a 20 años ( (55)) hasta que una nueva tecnología es asimilada por el mercado. Actualmente, la incorporación internacional en curso de nuevas tecnologías alternativas más limpias y eficientes en el sector transporte (Vehículos híbridos, eléctricos, de celda de combustible a hidrogeno etc.), es un proceso iniciado aproximadamente en 2010 y que proyecta consolidarse a 2030 en los países desarrollados. Estos programas de renovación de tecnologías en el sector transporte se están dando en diversos puntos del planeta acompañando los requerimientos de mitigación de gases de efecto invernadero o GEI (contribuciones nacionales de reducción de GEI) consensuados a nivel internacional a través del acuerdo de Paris alcanzado en la COP 21 de 2015 por cambio climático global; con la consigna de mantener el aumento de la temperatura media del planeta respecto de los niveles preindustriales muy por debajo de los 2°C. A esto se suman los adelantos en el conocimiento científico sobre el impacto en la salud que tienen los contaminantes criterio y tóxicos (56), (57) en áreas densamente urbanizadas del planeta, y que motivaron en 2013 la clasificación por parte de la OMS del material particulado ultrafino dentro del Grupo 1, como cancerígeno para humanos (Comunicado de prensa IARC N° 221 17 de Oct. de 2013) así como la posterior estimación en 2012 de 7 millones de muertes prematuras anuales en el mundo, a consecuencia de la contaminación del aire.

Dadas las transformaciones tecnológicas consideradas, estos programas contemplan altas inversiones iniciales y desarrollos de infraestructuras de producción y suministro de combustibles o energías alternativas bajo condiciones de financiación internacional (58). Asimismo, las necesidades de optimizar el uso de la energía en los distintos procesos productivos y especialmente en el transporte pesado de carga y pasajeros, es también un motivador de estas transformaciones que permiten consolidar ahorros de combustible con la consecuente reducción en costos logísticos. En este sentido la agenda nacional requiere avanzar concretamente tanto en la mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como de contaminantes criterio en salud (59) con el ingreso de tecnologías automotrices EURO 6 (para vehículos livianos) y EURO VI (para vehículos pesados) mucho más limpias y eficientes que las EURO 5/V (60) afectadas por el “Dieselgate” (episodio que se inició con el juicio a VW por el Gob. de Estados Unidos en 2015, y marcado por las mayores emisiones de los vehículos en su uso real). Estas tecnologías EURO 5/V presentan elevadas emisiones en el uso real de estos vehículos en la calle, que no podían verificarse en los laboratorios de homologación de nuevos modelos debido a modificaciones selectivas del funcionamiento de los sistemas de control de emisiones gestionadas electrónicamente. (61), (62), (63), (64), (65), (66), (67)

La normativa EURO VI incorpora la verificación de emisiones en uso real de los vehículos en la calle a través de analizadores portátiles de abordaje conocidos como Portable Emission Measurement Systems (PEMS), evaluando toda la vida útil de los autobuses. Esta y otras modificaciones en las condiciones de certificación ambiental, más las fuertes innovaciones incorporadas en los sistemas de control de

motores de combustión determinan una sustancial reducción de las emisiones contaminantes tanto en laboratorio como en el uso real en la calle. (60), (68), (69) La norma EURO VI ha sido incorporada gradualmente a los diferentes mercados internacionales (60) propiciando importantes mejoras en eficiencia energética y emisiones de GEI a través de tecnologías alternativas, no obstante, esta situación no es la misma actualmente para Latinoamérica.

Si bien países productores de automóviles como Brasil y México ya incorporaron en su agenda normativa (60) la implementación de estándares EURO 6/VI en 2022/2023, los mismos están siendo algo retrasados (al igual que los de China 6/VI equivalente al EURO 6/VI en China) debido a la pandemia mundial por el COVID 19. Argentina se encuentra actualmente en la norma EURO V (Figura 37) y no ha definido aún el ingreso a EURO VI, lo que es probable pueda ocurrir no más allá de 2025 (60) en acuerdo a los requerimientos de armonización del mercado Latinoamericano e internacional así como por el cumplimiento de metas de mitigación GEI definidas por el Gob. Nacional (70), (71)).

Límites de Emisión de NOx y MP para Buses en Argentina

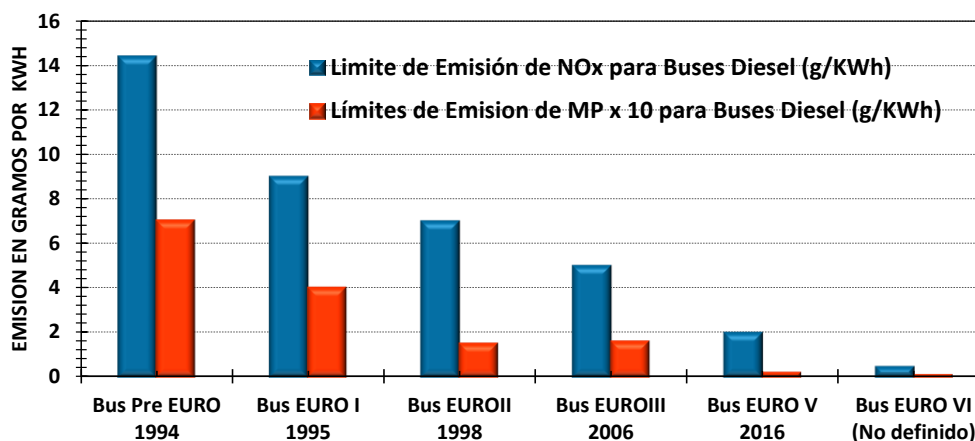


Figura 36 Evolución de los Límites máximos de emisión de buses nuevos en Argentina

Existen situaciones similares en la región, como el caso de Chile, que estando también en norma EURO V, han decidido adelantar el ingreso de EURO VI en 2020 solo para el transporte automotor público de pasajeros teniendo en cuenta la especial incidencia de los buses (59), (72) en la contaminación ambiental urbana. Para programar la mejora en sus estándares ambientales y de eficiencia energética, Chile dispuso de infraestructura de certificación de emisiones y consumo de combustible de buses pesados instalada en el año 2004 (Laboratorio 3CV del Ministerio de Transporte de Chile con tecnología para medición de vehículos pesados instalada por convenio con la Empresa Nacional del Petróleo), que permitió no solo la selección de las tecnologías alternativas más limpias y eficientes, sino realizar controles periódicos sobre la durabilidad de la flota de buses de transporte rápido (BRT por sus siglas en inglés) del sistema de transporte BRT Transantiago de Santiago de Chile (72).

En Argentina existe actualmente una ventana de oportunidad para adelantar el ingreso de normas EURO VI en el transporte automotor de pasajeros, impulsando además la incorporación de tecnologías alternativas más limpias y eficientes disponibles en el mercado internacional (buses híbridos, eléctricos y gas natural comprimido o GNC EURO VI). Para el caso de buses a GNC en particular, su desarrollo es

propiciado, además, por la disponibilidad de importantes reservas nacionales de gas natural, con excedentes de producción utilizables. Además, recientes reglamentaciones posibilitan la incorporación de tecnologías de vehículos pesados a GNC/GNL importadas (NAG451) y el control de la calidad del gas vehicular (NAG-602). En este sentido el gas natural podría actuar como una transición entre las actuales tecnologías de transporte automotor, con la incorporación de combustibles de menor intensidad de carbono y renovables, como el biogás (biometano) y el hidrógeno azul (con captura de carbono) o verde (libre de carbono). Esto debería promover un cambio en la matriz energética nacional hasta su completa transformación a neutral o libre de CO<sub>2</sub> en las próximas décadas, propiciando también la electrificación del transporte. Asimismo, podría crear actualmente condiciones para un desarrollo productivo de calidad internacional competitiva bajo estándares de certificación EURO VI, aprovechando la experiencia que el país ha experimentado en materia gas natural vehicular desde hace más de 30 años.

### **Ventajas Ambientales de las nuevas tecnologías de Buses EURO VI**

Una evaluación de las alternativas tecnológicas disponibles en el mercado internacional, en trenes de potencia de autobuses urbanos y variantes energéticas (Gas Natural, Híbridos y Eléctricos EUROVI) diferente de las actuales (Diesel EURO III, V y VI), es analizada en esta publicación desde el punto de vista del impacto local (Contaminantes criterio en salud) y global (GEI) de sus contaminantes. Para ello se realiza un análisis comparativo a partir del relevamiento de factores de emisión (en gramos por Kilómetro) por tipo de tecnología y bajo un mismo ciclo de conducción urbana, extraídos de mediciones publicadas en la bibliografía internacional disponible. (73), (74), (75) Los buses relevados son modelos M3 (Subclase A) Standard para ciudad (aprox. entre 11 y 15 m de longitud) del tipo empleado en el transporte urbano del AMBA con pesos brutos totales entre 12 y 17 Ton, y evaluados en un ciclo europeo de conducción urbana estandarizada (Braunschweig)<sup>‡‡</sup>. Este ciclo se realiza arrancando con el motor en caliente, tiene una duración de 30 minutos, con casi 11 km de recorrido, no contempla pendientes de terreno y se desarrolla a una velocidad media de 22,6 km/h., condiciones de conducción que se adaptan a las usadas típicamente por buses urbanos en el AMBA con tránsito fluido y en acuerdo a los consumos típicos obtenidos para buses urbanos. El consumo de energía típico de un bus estándar en el ciclo Braunschweig es aproximadamente de 1 KWh/kkm (con consumos típicos para un bus diésel de 43 lt/100 km) frente a 0,7 KWh (consumos típicos para un bus diésel de 28 lt/100 km) que tiene el ciclo de conducción europeo WHTC (World Harmonized Transient Cycle) empleado para homologar nuevos modelos. Seguido se detallan en la Tabla 9 las tecnologías de buses urbanos contemplados en esta evaluación.

---

<sup>‡‡</sup> Los ciclos de conducción como el WHVC o el Braunschweig (Br) son secuencias o trazas estandarizadas de velocidad en función del tiempo que representan diferentes condiciones de tránsito (ciclos urbanos del tipo fluidos y congestionados, con muchas paradas, bajo diferentes condiciones de temperaturas o contemplando pendientes del terreno etc.) y permiten evaluar comparativamente de las diferentes tecnologías alternativas de buses simulando su manejo en dinamómetro de chasis o de motor, para poder medir tanto el consumo de combustible (o de energía) como las emisiones de efecto local y global generadas.

Tipo de Bus Urbano	Diesel (EURO)				GNC EURO VI		Eléctrico Overnight con energía de:	
	EUIII	EUV	EUVI	Hibrido EUVI	EUVI	Hibrido EUVI	Central Térmica (CT)	Mix Argentina
Motor	Ciclo Diesel (Combinado con motor eléctrico para híbrido FHEV) ***				Ciclo Otto Estequiométrico (e híbrido eléct. FHEV) ***		Motor Eléctrico	
Comb. / Energía	Diesel Grado 3 (< 10 ppm de azufre)				GNC		CT emisión kgCO <sub>2</sub> /kwh 0,5	RA Mix. emisión kgCO <sub>2</sub> /kwh 0,297
Sist. de Control Emisión	No	SCR*	DOC+SCR+DPF+ASC*		**TWC**		No	

\*Catalizador de Oxidación (DOC), catalizador de reducción selectiva (SCR) y filtro de partículas (DPF)

\*\*Catalizador de tres vías (TWC)

\*\*\* Full Hybrid Electric Vehicle (FHEV) No se evaluaron Mild Hybrid (MHEV) ni Plug in (PHEV)

Tabla 9 Características generales de las tecnologías alternativas de buses evaluados.

En acuerdo a lo detallado, se relevaron publicaciones internacionales, especialmente del Technical Certification Centre VTT of Finlandia (Figura 37) con factores de emisión en dinamómetro de chasis bajo el ciclo de conducción “Braunschweig” antes explicado, para cada una de las alternativas tecnológicas evaluadas, de manera de establecer condiciones comparativas de medición.

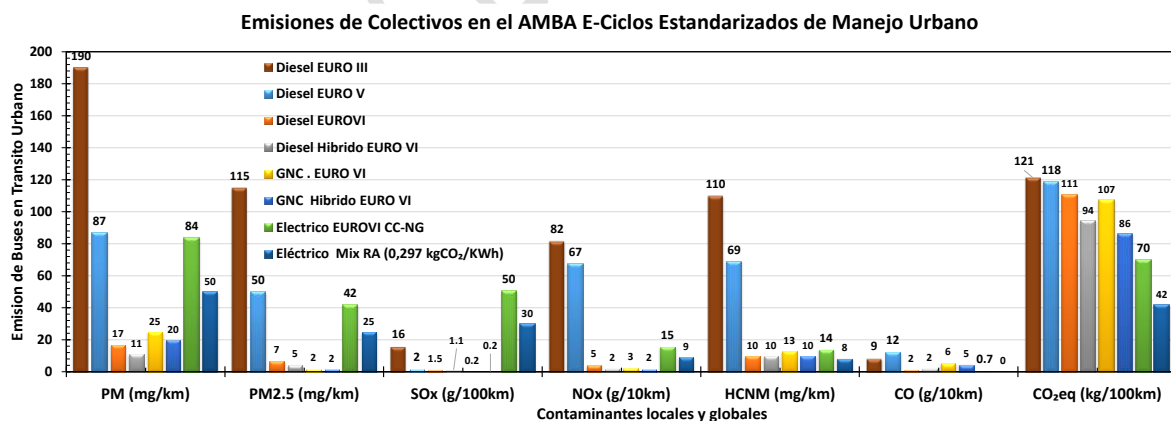


Figura 37. Factores de emisión de tecnologías alternativas de buses EURO VI vs EURO III/V (Business as Usual) Diesel determinados por bajo ciclo Braunschweig (19,20,21) y contemplando valores de emisiones equivalentes para buses eléctricos a partir de informe de emisiones por generación energía (22) en CABA con factores para ciclo combinado con gas natural (CC-GN)

Para analizar las ventajas ambientales comparativas de los buses EURO VI en sus diferentes alternativas tecnológicas, se evaluará más adelante la proyección de dos escenarios futuros, el primero considerado de no existir cambios, es decir del tipo “Business as Usual” y en base a los actuales

requerimientos normativos (Figura 36), con el ingreso de modelos de buses diésel EURO V que renuevan paulatinamente el parque actual (con predominio de Diesel EURO III, aprox. 90 % de la flota). Esta situación elevaría especialmente las emisiones de contaminantes criterio en salud, así como MP, NO<sub>x</sub>, y NMHC proyectando un aumento en la demanda de servicios y conforme se observa en la comparativa de factores de emisión EURO III y V frente a las tecnologías alternativas EURO VI (Figura 37) implicando costos e impactos en salud asociados a la morbilidad y mortalidad prematura de la población afectada (47). Para realizar esta evaluación a continuación se brindará un detalle sobre las condiciones de testeo y las características de las tecnologías estudiadas, tanto motores de combustión (diésel y GNC) y sus sistemas de control de emisiones como de buses electrificados (ahorros de energía y autonomía eléctrica en híbridos y eléctricos). Asimismo, se brindarán detalles sobre el comportamiento en uso real de estas tecnologías y la durabilidad de las prestaciones ambientales, para el servicio de transporte público durante la vida útil a garantizada.

### **Impacto en la salud y costos sociales de la contaminación**

Si bien el NO<sub>2</sub> (componente de los NO<sub>x</sub>), compuesto que es altamente oxidante, con probadas afecciones respiratorias e impacto nocivo sobre la salud (76), (77) además de precursor de la formación de aerosoles y del ozono (O<sub>3</sub>) troposféricos (compuesto aún más agresivo que integrando el smog fotoquímico) ha sido el único contaminante criterio evaluado hasta aquí, el material particulado PM (por sus siglas en inglés) fino (PM<sub>2,5</sub>) y ultrafino (PM<sub>0,1</sub>) es sin dudas el contaminante con mayor coeficiente dosis-efecto en la salud (56), (78), (79), (80), (81), (82), (83), (84) que determina los mayores impactos sobre la mortalidad prematura y morbilidad de la población (60). El PM es asociado también en su composición con la presencia de otros contaminantes nocivos, como son los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y los compuestos orgánicos volátiles (integrado mayormente por hidrocarburos no metánicos NMHC) dado que estos pueden formar parte también de las partículas, estar presentes en los aerosoles o en otro estado de agregación, siendo en todos los casos altamente nocivos. (81), (82), (83), (84), (85), (86)

Ahora bien, cuando se evalúan los costos sociales de la contaminación, se deben tener en cuenta además de los gases de efecto invernadero (GEI). Para ello se debe contemplar no solo el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), sino también el Black carbón (BC u hollín), el Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) y el Metano (CH<sub>4</sub>), dada la importancia que tiene el transporte en la contribución de estos contaminantes que poseen un alto potencial de calentamiento global en términos de la molécula de CO<sub>2</sub> equivalente. Económicamente se evalúan así todas las externalizaciones ambientales del transporte. (60), (87), (88) Además, se deben contemplar los costos de consumos de combustible o energía que tendrán las tecnologías de buses seleccionadas durante toda su vida útil, así como las inversiones implicadas en la adquisición de estas nuevas unidades (60), (87), (88), (89), (90), ambos costos económicos directos que totalizan junto a las externalidades los costos sociales contemplados en la economía, sumamente importantes para las decisiones adoptadas. (60), (91), (92), (93) Los costos económicos implicados en el posterior uso, tanto mano de obra de operación y mantenimiento, evaluados para la vida útil de las tecnologías de buses contempladas, son analizados a través de los costos nivelados del transporte en otro capítulo de esta publicación. Por otra parte, existen otros costos implicados como los de infraestructura de producción, distribución y suministro de los combustibles y energía considerada, así



como aquellos implicados en el ciclo de vida completo del proceso productivo (incluyendo impactos ambientales, recuperación y reúso de materiales etc.) de los buses que no son evaluados aquí.

Existen diferentes alternativas para evaluar los costos sociales de la contaminación entendidos como aquellos integrados por las externalizaciones económicas (costos evitados en salud y de mitigación GEI) y los costos directos incorporados a la economía (consumo de combustible y costos de los buses) seguidamente son evaluados en base a modelos simplificados que se han desarrollado con este fin. (87), (88)

### Costos ambientales: Modelos de Directiva Europea 2009/33/CE

Para analizar los costos ambientales (evitados en salud por contaminantes criterio y mitigación GEI) a partir de los factores de emisión de contaminantes criterio adoptados para las tecnologías alternativas de buses en un escenario de tránsito urbano fluido (ciclo Braunschweig (73), (74), (75), (94), (95), (96), (97), (98) se aplicaron dos modelos de evaluación diferentes. El primer criterio adoptado se extrajo de la Directiva Europea 2009/33/CE (87)) en la que se contemplan los costos en euros de los contaminantes NOx, NMHC, MP y CO<sub>2</sub>, por cada gramo emitido, teniendo en cuenta por un lado los gastos evitados en salud para los contaminantes criterios (NOx NMHC y MP) y por el otro los costos de mitigación de GEI para emisiones de CO<sub>2</sub>. Este modelo tiene en cuenta ambos costos (externalidades ambientales y directos por precio de unidades y consumo de combustible o energía durante la vida útil estipulada) para las distintas tecnologías. Las estimaciones de costos externos se realizan de acuerdo con los principios establecidos en el “Manual europeo de estimación de costos externos en el sector del transporte”. Los cálculos se realizaron con factores de emisión bajo el ciclo Braunschweig.

Esta normativa (2009/33/CE) fue desarrollada en Europa para determinar los costos sociales que se deben contemplar en licitaciones de rodados llevadas a cabo por los países de la Comunidad Europea para evaluar ofertas de diferentes configuraciones de modelo y tecnologías automotrices. En su texto se estandariza tanto la energía consumida según el tipo de combustible alternativo seleccionado como la vida útil de las unidades a contemplar que para el caso de buses se fija en 800.000 km. En la Tabla 10 *Tabla 10 Contraste de Costos para Europa (2009/33/CE) y EEUU en valorización de emisiones.* se comparan tanto los costos evitados en salud como aquellos previstos por mitigación GEI, extrapolados de la Directiva Europea (en azul) por tipo de contaminantes frente a valores similares contemplados por otros estudios en los Estados Unidos ( (89)).

Ciudad	PM10 USD/kg	NOx k_USD/kg	HC USD/kg	CO <sub>2</sub> USD/Tn
Los Angeles	22	12	7	
New York	19	9	5	
Chicago	14	7	3	
San Francisco	8	5	2	
2009/33/CE	103.0	4.4	1.0	48.0

Tabla 10 Contraste de Costos para Europa (2009/33/CE) y EEUU en valorización de emisiones. k\$ significa mil USD.

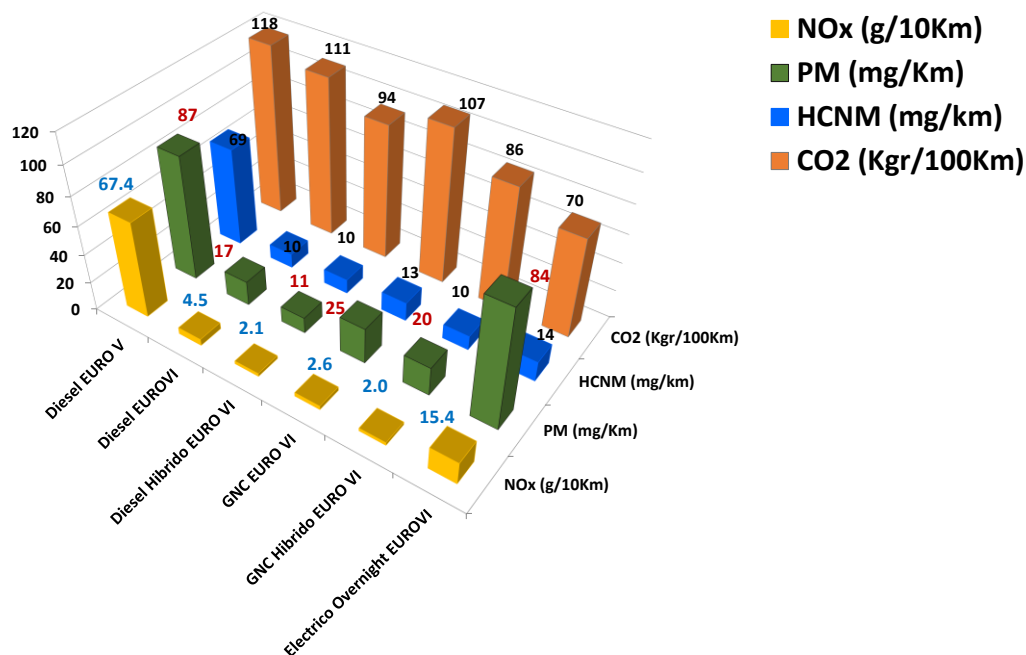


Figura 38 Factores de emisión de tecnologías alternativas de buses EURO VI vs EURO V (Business as Usual) Diesel determinados por bajo ciclo Braunschweig (73), (74), (75) y contemplando valores de emisiones equivalentes para buses eléctricos a partir de informe de emisiones por generación energía (99) en CABA contemplando factores para ciclo combinado con gas natural (CC-GN). Factores de Emisión Equivalentes de Buses Urbanos de 12 a 17 Tn obtenidos en dinamómetros de chasis sobre ciclo de conducción Brauschweig (Veloc. Media 22 Km/h) con 50 % de la carga máxima (Laboratorio VTT - Finladia) Base B10 Diesel Grado 3

Los valores de costos ambientales totales son estimados para la hipótesis de estudio planteada a 2025, ya sea continuando el ingreso de buses diesel EURO V (business as usual) para completar la renovación 100 % (10.000 buse en AMBA) a EURO V o contemplando para ese fin, el ingreso de cada una de las tecnologías alternativas EURO VI evaluadas (Figura 38).

### COSTOS SOCIALES DEL TRANSPORTE Conforme Directivas Europeas 33/2009

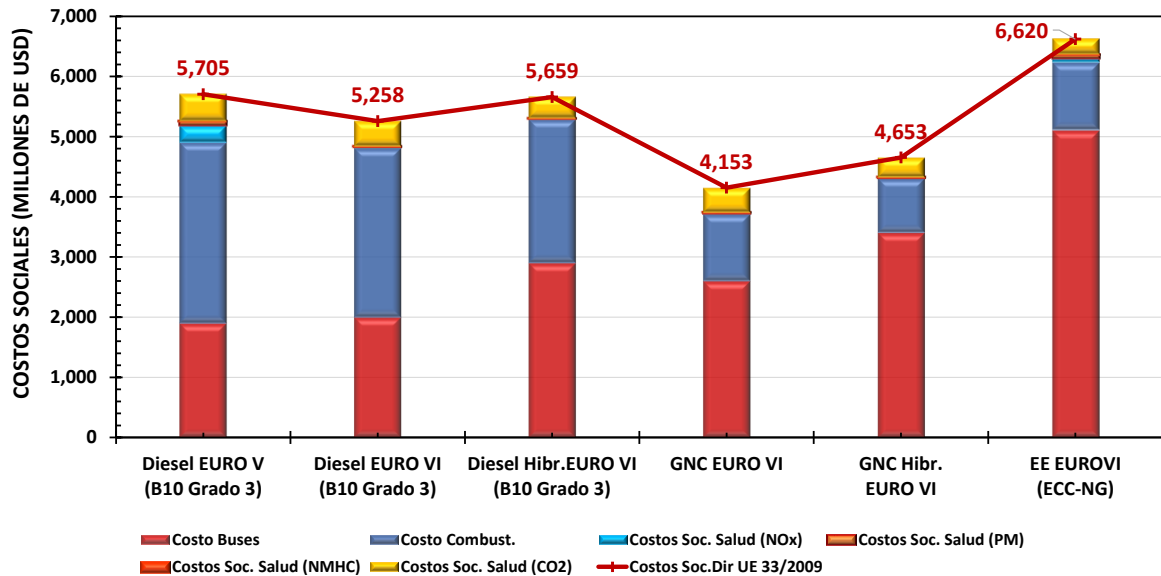


Figura 39 Costos Sociales de Transporte Totales en Millones de USD para las diferentes tecnologías de buses (Modelo 2009/33/CE) Renovación de Flota de 10.000 Buses Urbanos Nacionales en AMBA Vida Útil de 800000 Km (10 años). Basado en las Directiva Europea 2009/33/CE.

Las externalidades económicas son determinadas conforme 2009/33/CE para una vida útil de 800.000 Km de las unidades incorporadas. Los costos ambientales mas bajos obtenidos son para los buses EURO VI híbridos (diesel o GNC) y los mas altos para los EURO V diesel, por aproximadamente el doble del promedio de costo para las diferentes alternativas tecnologicas de buses EURO VI (Figura 39)

### Costos ambientales: Modelo FMI para México

El otro modelo utilizado para evaluar los costos ambientales se empleó en 2018 para evaluar la renovación de buses con tecnologías alternativas en Ciudad de México (88). A diferencia del anterior modelo europeo, este modelo propuesto por el Fondo Monetario para México en 2014 (100) para estimar costos y beneficios externos en función de la contaminación y los costos sociales del carbono, se actualizó en 2016 y contempla diferentes tipos de contaminantes criterio. Para la evaluación de costos evitados en salud tiene en cuenta, las emisiones de NOx, SOx y PM2,5 y para los costos sociales del carbono las emisiones de CO<sub>2</sub>. La siguiente Tabla 11 contiene los factores a contemplar para cada tipo de contaminante valorizados en USD por tonelada emitida.

Parametros	Valores
Emisiones de PM2.5	226.920 USD/tn (USD 0,22692/gPM2.5)
Emisiones de NOx	1.750 USD/tn (USD0,00175/gNOx)
Emisiones de SO <sub>2</sub>	8.580 USD/tn (USD0,00858/g SO <sub>2</sub> )
Emisiones de CO <sub>2</sub>	40 USD/tn (USD0,04/kgCO <sub>2</sub> )

Tabla 11 Factores FMI Mexico para valorizar del impacto ambiental del transporte ( 88)

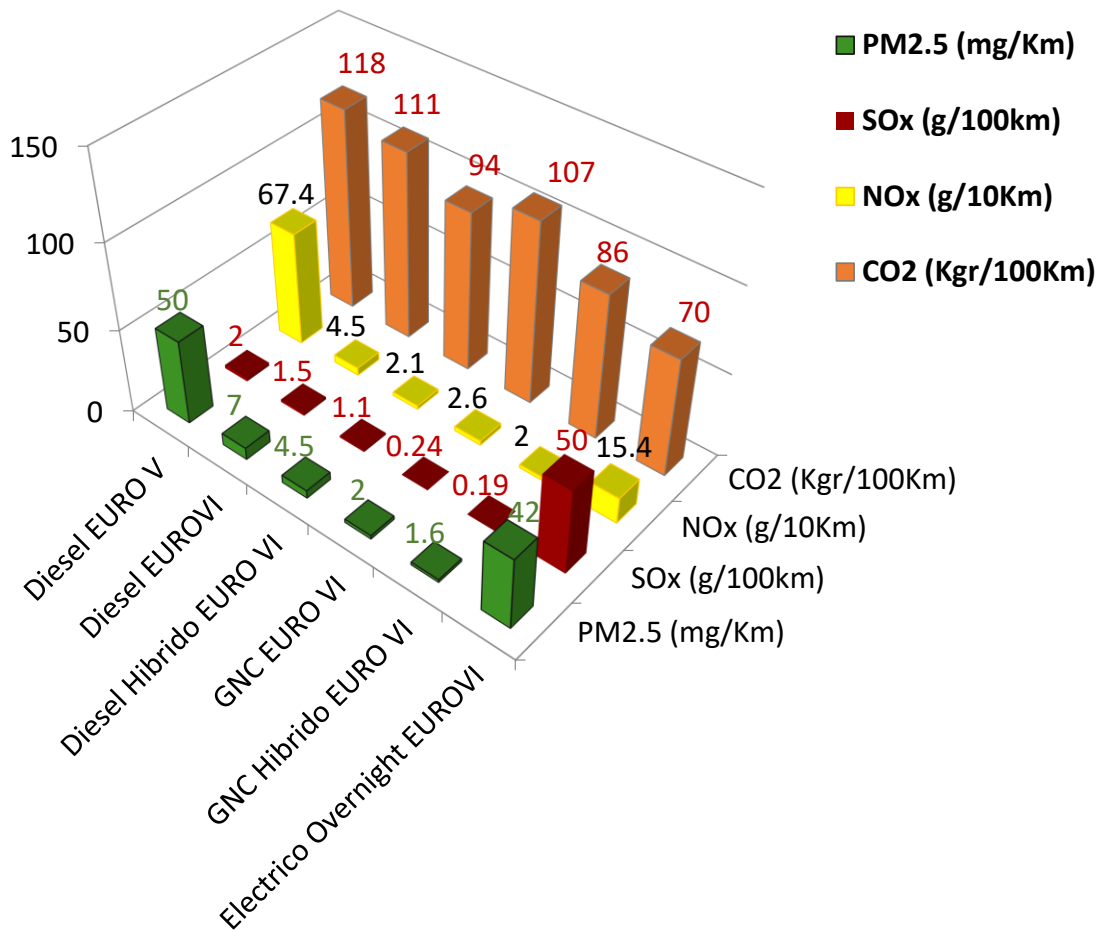


Figura 40 Factores de emisión de tecnologías alternativas de buses EURO VI vs EURO V (Business as Usual) Diesel determinados por bajo ciclo Braunschweig ( 73), (74), (75) y contemplando valores de emisiones equivalentes para buses eléctricos a partir de informe de impacto por generación energética ( 99) en CABA contemplando factores para ciclo combinado con gas natural (CC-GN). Factores de Emisión Equivalentes de Buses Urbanos de 12 a 17 Tn obtenidos en dinamómetros de chasis sobre ciclo de conducción Brauschweig (Veloc. Media 22 Km/h) con 50 % de la carga máxima (Laboratorio VTT - Finlandia) Base B10 Diesel Grado 3

Finalmente, con la aplicación del modelo de valorización de costos ambientales implementado por el FMI para México, se verifica que los costos ambientales obtenidos son en forma relativa similares al modelo anterior (Figura 40) con las mayores ventajas económicas obtenidas con buses EURO VI híbridos y las mayores desventajas para los EURO V diésel (Figura 41). Sin embargo, en valores absolutos por el modelo FMI los costos aproximadamente 20% inferiores a los obtenidos por Directivas Europeas.

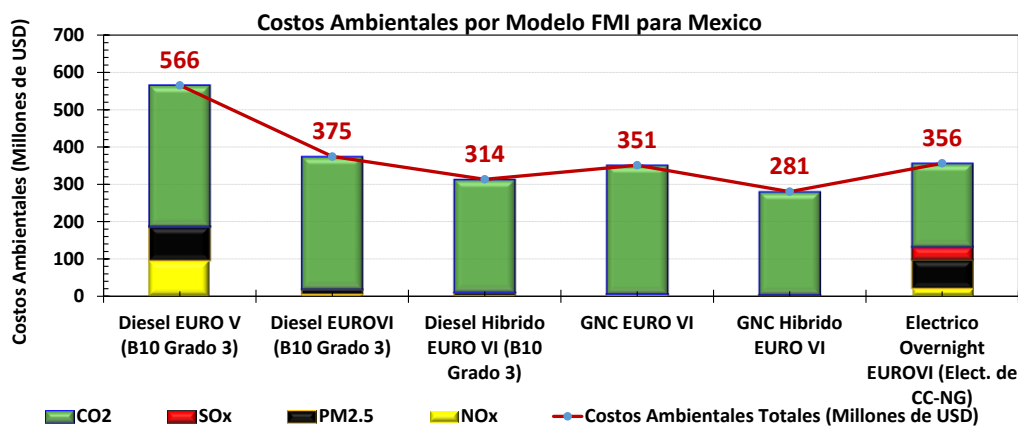


Figura 41. Costos Ambientales Totales en USD para las diferentes tecnologías de buses (Modelo FMI para México 2014) Renovación de Flota de 10.000 Buses Urbanos Nacionales en AMBA Vida Útil de 800000 Km (10 años) Evaluación de Emisiones de GEI y Consumos de Energía Anuales

Finalmente se desarrolló una estimación de la carga total anual de emisiones GEI (Estimado en CO<sub>2</sub> equivalente con efecto a 20 y100 años contemplando los factores GWP de Tabla 3 Principales gases de efecto de invernadero (GEI),Tabla 3 que aportaría la flota argentina de transporte urbano de pasajeros en el territorio nacional, así como del consumo de energía en kWh equivalente, contemplando el uso de las diferentes tecnologías alternativas. Ambos parámetros (emisiones GEI y energía consumida) son estimados de tanque a rueda y para el remplazo de 30.000 buses urbanos (Base de Datos Nacional, Provincial y Municipal de (101)), por las diferentes tecnologías alternativas evaluadas y contemplando un recorrido de 66.000 km anuales por cada bus en base a estadísticas disponibles de CNRT (102)).

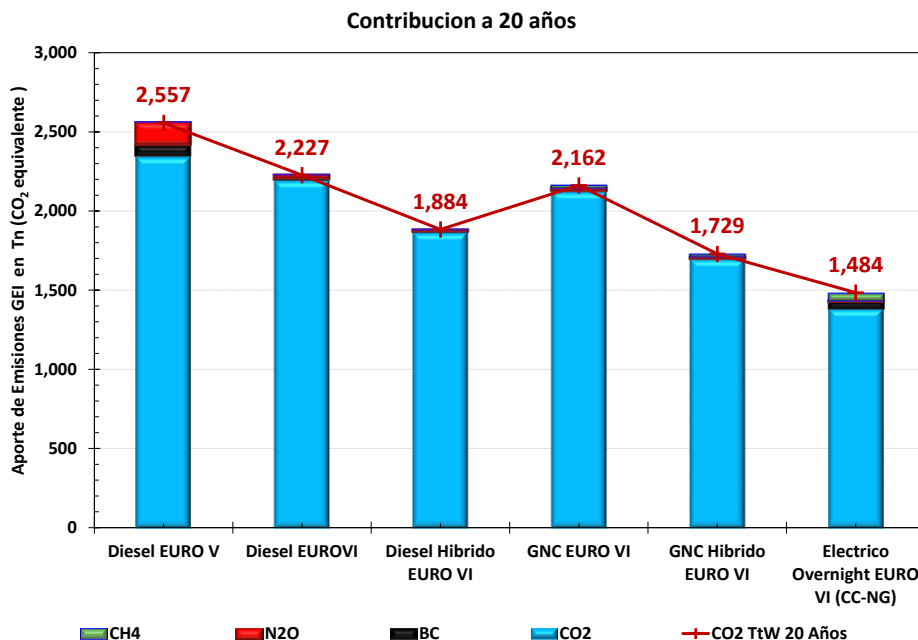


Figura 42 Emisión anual de GEI T2W en Miles de Ton, CO<sub>2</sub> equiv. de efecto a 20 años. Contribución de GEI T2W anual (en Miles de Tn de CO<sub>2</sub> equivalente con efecto GEI a 20 Años) en el territorio argentino comparando tecnologías alternativas de renovación de la flota nacional de 30.000 buses urbanos (Base Diesel Grado 3) y contemplando un recorrido de 66.000 Km anuales por unidad.

De los factores de emisión de CO<sub>2</sub>, BC, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> adoptados para las tecnologías actuales y alternativas de buses evaluadas en un escenario de tránsito fluido (ciclo Braunschweig (73), (74), (75), (94), (95), (96), (97), (98), (103) se determinaron las emisiones anuales en CO<sub>2</sub> equivalentes aportadas por los 30.000 buses urbanos para GEI con efecto proyectado a 20 años y a 100 años obteniéndose los resultados comparativos presentados en las Figura 42 y Figura 43 ..

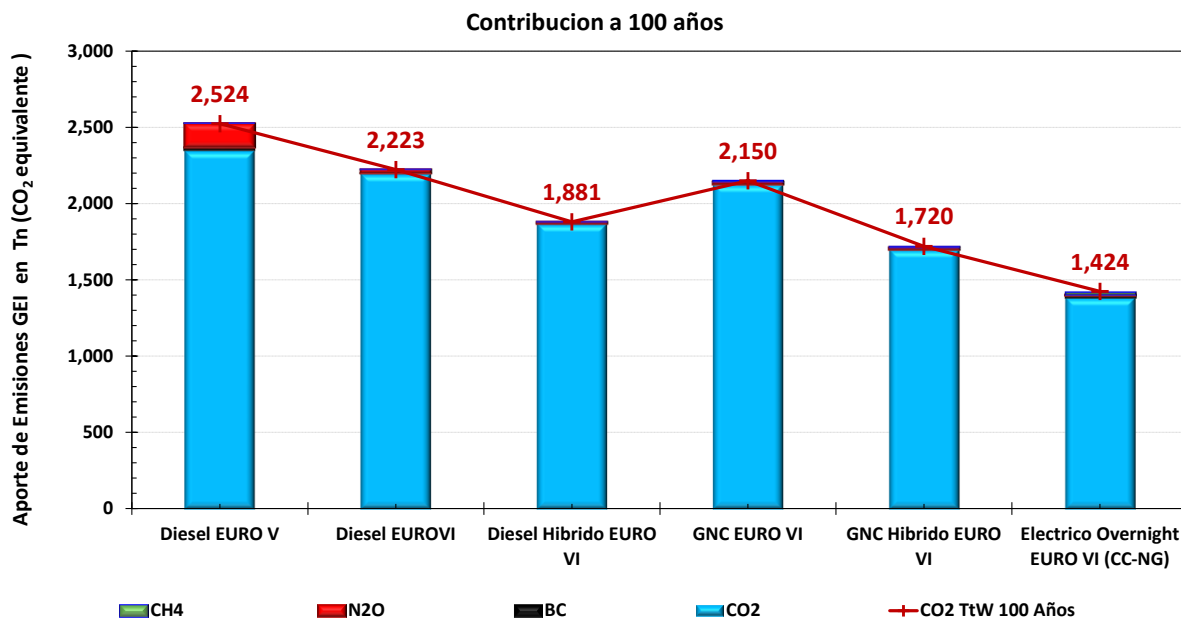


Figura 43 Emisión anual de GEITtW en Miles de Tn, CO<sub>2</sub> equiv. de efecto a 100 años. Contribución de GEI T2W anual (en Miles de Tn(CO<sub>2</sub> equivalente con efecto GEI a 100 Años) en el territorio argentino comparando tecnologías alternativas de renovación de la flota nacional de 30.000 Buses Urbanos (Base Diesel Grado 3) y contemplando un recorrido de 66.000 Km anuales por unidad.

Los autobuses diésel que utilizan tecnología SCR (EURO V y VI), producen mayores emisiones de 20 comparado con las otras tecnologías de autobuses, mientras que los motores GNC emiten mayores cantidades de CH<sub>4</sub> (Figura 42 y Figura 43). Las tasas de emisión de masa de partículas de los autobuses con DPF (EURO VI) se han reducido en más de un 90 % en comparación con los autobuses sin DPF (EURO III y V). (74), (75)

De los resultados obtenidos se desprende que los buses eléctricos presentan las mayores reducciones en la contribución de emisiones GEI T2W o “de tanque a rueda” comparado con el escenario “business as usual” de buses diésel EURO V. No obstante, las comparaciones de emisiones GEI para estas tecnologías alternativas deben efectuarse en términos equivalentes, contemplando también la extracción, producción y distribución de la energía (emisión GEI de poso a rueda o T2W), así como los procesos productivos en su ciclo de vida completo.

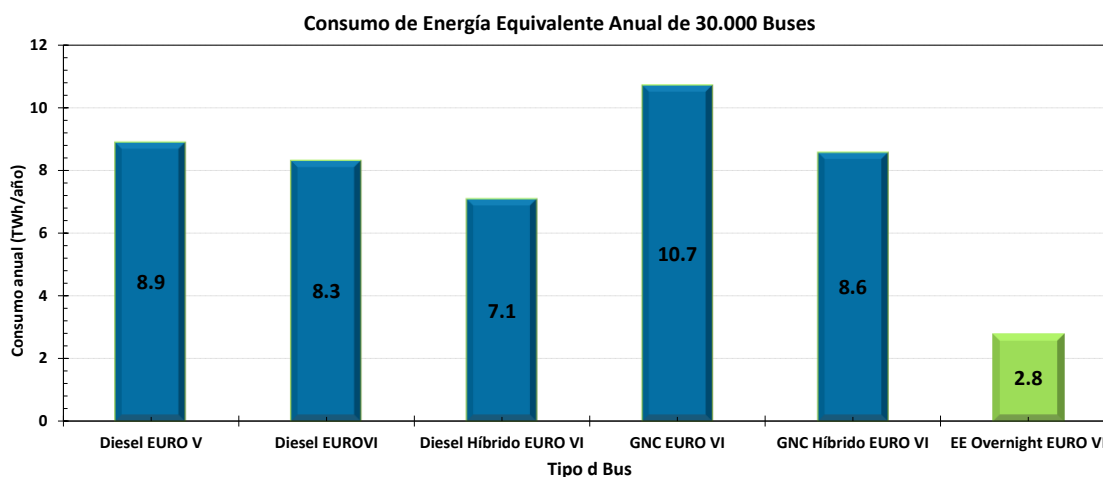


Figura 44 Consumo de Energía Anual (TWh) de Buses Urbanos de tecnologías. Consumo de Energía Equivalente Anual en TWh estimado para la flota de 30.000 Buses Urbanos Nacionales, comparando tecnologías alternativas (Base Diesel Grado 3) y contemplado un recorrido de 66.000 Km anuales por bus. Para referencia el consumo total de electricidad en el País fue de 129 TWh en 2019.

En el caso de buses europeos bajo el ciclo de Braunschweig, la hibridación reduce el consumo de combustible (y CO<sub>2</sub>) en una media del 27% (19 a 32%), dependiendo del tipo de tecnologías y en comparación para la media EEV EURO V sin hibridación (20). Para el caso de los buses híbridos relevados presentan reducciones para la emisión de CO<sub>2</sub> entre 15 y 20 % de lo emitido por buses diésel y GNC EURO VI sin hibridación respectivamente. El bus diésel es la opción más eficiente para los motores de combustión (Figura 44). Los vehículos de GNC EUVI consumen aprox. 30 % más de energía en comparación con el promedio de diésel EUVI. Sin embargo, las emisiones de GEI de tanque a rueda en CO<sub>2</sub>eq por kilómetro recorrido de los vehículos de GNC pueden ser hasta 10% más bajas que las del promedio de diésel EUVI ( (74), (75)).

Si bien los menores consumos y emisiones GEI de tanque a rueda (T2W) se obtienen para el uso de buses eléctricos (Figura 44). en un análisis completo de ciclo de vida para evaluar la eficiencia de cada alternativa, trabajos de la Agencia Europea de Medioambiente AEME ( (104), (105)) indican que los vehículos con motor de combustión interna emiten entre 1,3 y 2 veces menos CO<sub>2</sub> que los eléctricos en la fase productiva. El factor depende del tamaño del vehículo (cuanto más grande mayor el factor) y se asigna especialmente a la incidencia de los procesos productivos de baterías. Esto reduce las ventajas comparativas que tienen los vehículos eléctricos en su utilización al menos con las alternativas tecnológicas de baterías actualmente disponibles y plantea una posible ventaja en las emisiones GEI W2W de los vehículos híbridos de nueva generación ( (105)). Por otra parte, del análisis de impactos sobre toxicidad en humanos y ecotoxicidad de agua dulce realizados en el estudio de AEME ( (104)), también resultan desfavorables para vehículos eléctricos para la evaluación de su ciclo de vida de la cuna a la tumba.

### En Resumen:

Las crecientes preocupaciones ambientales sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (de efecto global) y contaminantes criterio en salud (de efecto local), así como el rápido desarrollo e implementación de nuevas tecnologías alternativas para trenes de potencia de autobuses

urbanos (motores a gas natural, eléctricos e híbridos), han propiciado en los últimos años un aumento del interés por comparar aplicabilidad, impacto ambiental, eficiencia energética y costos implicados en estas alternativas para el transporte. Si bien los autobuses urbanos EURO V diésel convencionales brindan un rendimiento robusto acompañado de una autonomía de conducción aceptable, presentan mayores emisiones para el uso real en la calle que debe superarse. Por otra parte, la mayor complejidad de los sistemas de control de emisiones de motores diésel para cumplir las normas de emisiones EURO VI en condiciones locales, así como los requerimientos en la calidad del diésel (incluyendo posibles aumentos en cortes de biodiésel), pueden resultar en mayores costos y requisitos de mantenimiento. Existe actualmente en Argentina una ventana de oportunidad para adelantar el ingreso de normas EURO VI en el transporte público urbano de pasajeros, teniendo en cuenta las mayores contribuciones que tienen los autobuses a la contaminación del aire en áreas densamente urbanizadas como el AMBA y aportes de GEI en el territorio Argentino. En una hipótesis de recambio a 2025 del 100 % de la flota de autobuses EURO III y V diésel que circula actualmente en el AMBA por tecnologías alternativas EURO VI (diésel, GNC, híbridos y eléctricos), todas logran reducir sustancialmente (aunque en menor medida el diésel) el aporte de contaminantes criterio de mayor impacto en la salud, así como PM<sub>2,5</sub> y NO<sub>2</sub>, disminuyendo la probabilidad de excedencias a los estándares de calidad de aire OMS que presentan las actuales tecnologías EURO V. En acuerdo a la estimación de costos realizada para la situación actual del mercado, los buses a GNC incorporan los menores costos sociales a la economía mientras que los eléctricos los más elevados. Este análisis contempla tanto externalidades (costos ambientales por impacto de las emisiones locales y globales) como costos directos de la energía consumida (proyectados por 2009/33/CE (87) para una vida útil de 10 años de los buses) e inversiones para el recambio de unidades, pero no tiene en cuenta costos de infraestructura, operativos específicos (de mantenimiento y mano de obra contemplados a través de costos nivelados en esta publicación) ni productivos para el ciclo de vida completo de las alternativas comparadas. En base a esta apreciación, así como a la disponibilidad de probadas reservas de gas natural y excedentes para el uso en transporte, el GNC presenta muy buenas condiciones para asegurar la transición a tecnologías EURO VI en el transporte y posibilitar un desarrollo productivo local dirigido a la futura incorporación de combustibles con menores intensidades de carbono (Biogás e Hidrógeno) y paulatina electrificación (híbridos y eléctricos) con la mayor participación de energías renovables.

En el análisis comparativo “de tanque a rueda” (T2W) de la energía consumida y emisiones generadas por las tecnologías contempladas, es determinante aplicar condiciones de evaluación equivalentes y acordes (o específicas) al servicio de transporte proyectado (tipo de ruta y tránsito recorrido, carga de pasajeros contemplada, autonomía y frecuencias admitidas para el servicio, confort etc.). Los trenes de potencia de los buses analizados presentan diferente sensibilidad (variación en emisiones y consumos de energía) a cambios en las condiciones de tránsito (congestionado, fluido, agresivos, con diferente velocidad media, etc.), tanto para el caso de autobuses con motores de combustión que modifican sensiblemente su consumo de combustible y emisiones según el tipo de ciclo de conducción estandarizado o real considerado, como para híbridos y eléctricos, que si bien presentan una menor sensibilidad son también afectados en su eficiencia energética y emisiones por las condiciones de uso (pendientes, velocidades medias, cantidad y tipo de paradas y arranques etc.) en el servicio, pudiendo llevar a sobredimensionamientos en la capacidad eléctrica (que aumenta costos operativos y de unidades) o a inviabilidad de una tecnología para la prestación del servicio planificado



Los buses eléctricos a batería (BEB) tienen la ventaja de no producir emisiones de gases en la calle, presentando el menor consumo de energía y emisiones de GEI que el resto en un análisis de tanque a rueda (conforme a emisiones asignadas a la energía consumida) bajo el ciclo Braunschweig, además de ser silenciosos. Estas características, así como una menor sensibilidad al tipo de tránsito, probablemente los hacen ideales para el funcionamiento en rutas que atraviesan áreas densamente urbanizadas con tránsito muy congestionado. Sin embargo, los BEV presentan otras desventajas, como sus altos costos de inversión de capital inicial, una recarga lenta de energía, envejecimiento y rango limitado de las baterías. Además, tanto para eléctricos como híbridos el consumo de energía, envejecimiento y rango de aplicación de las baterías están influenciados por el tipo de rutas (tipo ciclos stop and go, declives, autonomías y frecuencias requeridas, etc.), condiciones meteorológicas (temperatura ambiente) así como capacidades energéticas para asegurar el confort requerido (refrigeración y calefacción) con que son evaluados. Las emisiones generales (GEI y contaminantes criterio en salud) de pozo a rueda para autobuses eléctricos también dependen de la intensidad de CO<sub>2</sub>eq. y emisiones contaminantes asignadas a la electricidad consumida, así como las capacidades reales de suministro y ampliación de la red de acceso en el área de operación. Por otra parte, debe preverse que la infraestructura de carga debe ser planificada previamente (a compra de unidades) e implementada para integrarse a la red eléctrica en cada área, requiere espacio público (especialmente para modo de carga oportuna), además de ser costosa de construir y operar. (91), (106)

Los autobuses híbridos presentan mayor sensibilidad que los eléctricos al cambio de agresividad de los ciclos de conducción, aunque menor que en el caso de los motores de combustión. La mejora en los ahorros de energía que pueden obtener varía ampliamente con los ciclos de conducción y regeneraciones por paradas y arranques, aumentando para ciclos más agresivos como el MAN o NY Bus ( (107)). Asimismo, la eficiencia de algunos modelos en paralelo puede reducirse en tráficos muy congestionados de baja velocidad, razón por la cual, la selección de estos diseños debe hacerse teniendo en cuenta las condiciones de servicio requeridas para asegurar viabilidad y eficiencia planificada ( (107)). Dado que, en el caso de los híbridos en serie, el motor eléctrico es el único que tracciona, presentan características más parecidas a los eléctricos, además de contar con menores emisiones de contaminantes debido al funcionamiento del motor de combustión en regímenes constantes ( (74), (107)). Sin embargo, al igual que en el caso de la selección de modelos de buses eléctricos a batería debe contemplarse el servicio proyectado para evitar sobredimensionamientos (cantidad de baterías) que afectan los costos de la unidad y operativos. Si bien los autobuses híbridos completos contemplan inversiones iniciales más elevadas que los de combustión, obtienen las menores externalidades por el impacto de emisiones (locales y globales) bajo ciclo Braunschweig y costos sociales similar. Dependiendo de la ruta o ciclo de conducción contemplado, así como de la apropiada selección de modelos, los buses híbridos presentan potencialidad para mejorar su performance (eficiencia y emisiones de ciclo Braunschweig) y costos sociales frente al resto de las alternativas evaluadas, así como para desarrollos productivos locales.

Finalmente, los elevados factores de emisión para PM<sub>2,5</sub> relevados para buses eléctricos cuando se contemplan las condiciones de alimentación más desfavorable (considerando emisiones de centrales térmicas (99)) resultan muy superiores al del resto de los buses EURO VI incluido el diésel. Para la hipótesis de electrificación completa de la flota, esta situación podría afectar el cumplimiento de

estándares de calidad de aire OMS de larga exposición en AMBA, conforme a nuevas normas más exigentes para PM 2.5 implementadas en Provincia de Buenos Aires a partir de 2018 (Dec.1074/ 1018 GDEBA-GPBA) y a ser incorporadas por CABA que solo cuenta con estándares para PM10.

### **Anexo B- Consumo de gas natural en el transporte**

El gas natural comprimido, GNC, es de gran interés en Argentina. Por una parte, el parque automotor que usa este combustible en el país es muy significativo, del orden del 12% del total. En la Figura 45 es posible apreciar su evolución en los últimos años. Argentina ocupa un puesto importante en el mundo en cuanto al número de vehículos que usan GNC, como se ve en la *Figura 6*.

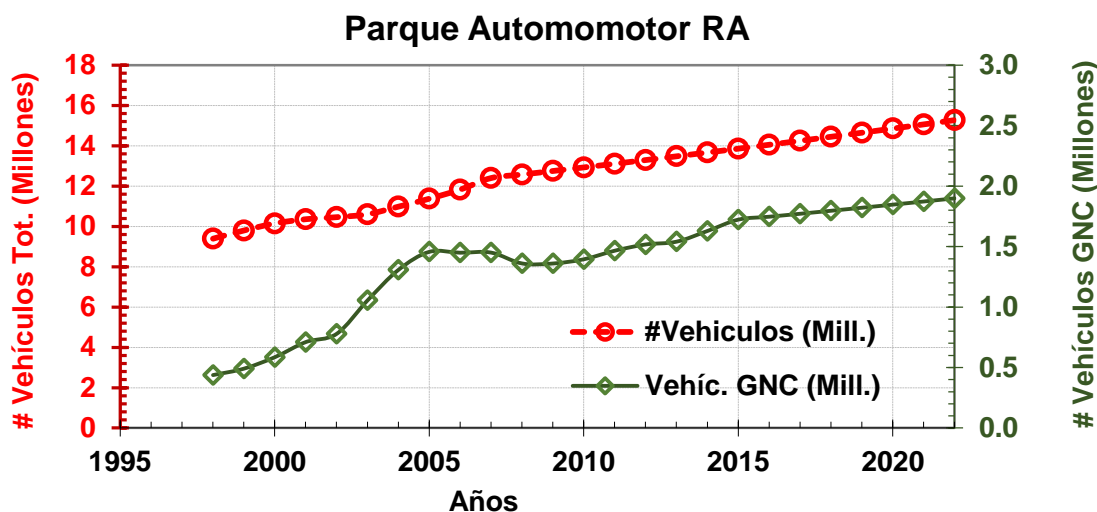


Figura 45 Variación del número de vehículos a GNC (círculos rojos, referidos al eje vertical izquierdo) y número de vehículos a GNC (rombos verdes referidos al eje vertical derecho).

### **Consumo de GNC en Argentina**

El consumo de GNC en Argentina ha tenido en general un gran crecimiento a hasta el año 2005. Su uso comenzó en el año 1984 y actualmente el porcentaje de vehículos a GNC en Argentina es de aproximadamente el 12% respecto del total del parque automotor, con cerca de 1,9 millones de vehículos que usan este combustible y numerosas estaciones de servicios que expenden este combustible en casi todo el territorio nacional. Este crecimiento ha experimentado importantes variaciones con el correr de los años. En la Figura 45 vemos que entre 2001 y 2005 el porcentaje de vehículos a GNC se duplicó. En la Figura 47 se presenta la variación del consumo de GNC a partir del año 1993 hasta diciembre de 2020, junto a su crecimiento anual a nivel nacional. Esta figura es representativa del comportamiento del consumo de GNC en prácticamente todas las regiones de Argentina.

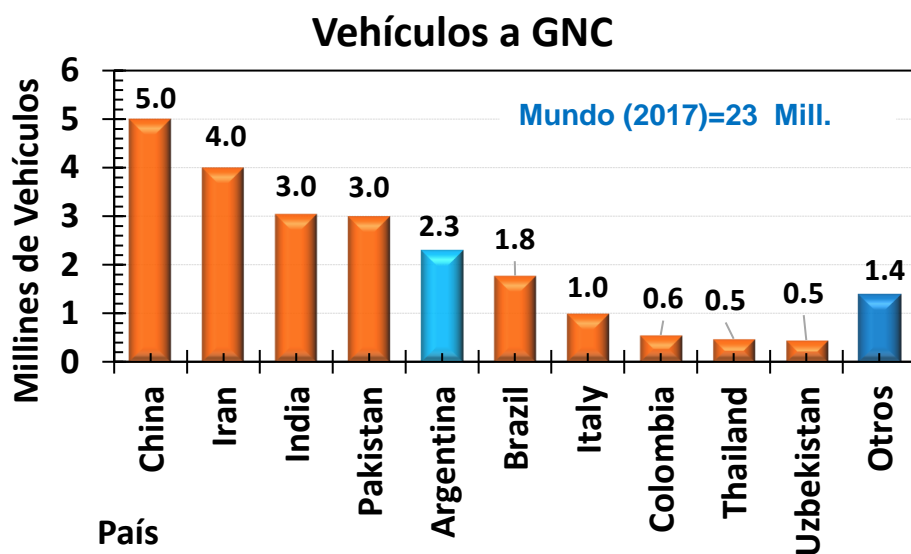


Figura 46. Parque de vehículos livianos impulsados a GNC (NGV) en el mundo. (12)

El consumo de GNC no tiene una dependencia con la temperatura, aunque sí se observa una cierta estacionalidad. (1) En particular se observa una disminución en el consumo en los meses de enero (-15%) y febrero (-10%). Esta disminución en los meses de verano probablemente esté asociada a la disminución de la actividad económica como consecuencia de las vacaciones. También el traslado, en vacaciones, de una fracción de los vehículos a zonas sin abastecimiento de GNC, puede contribuir a la disminución del consumo.

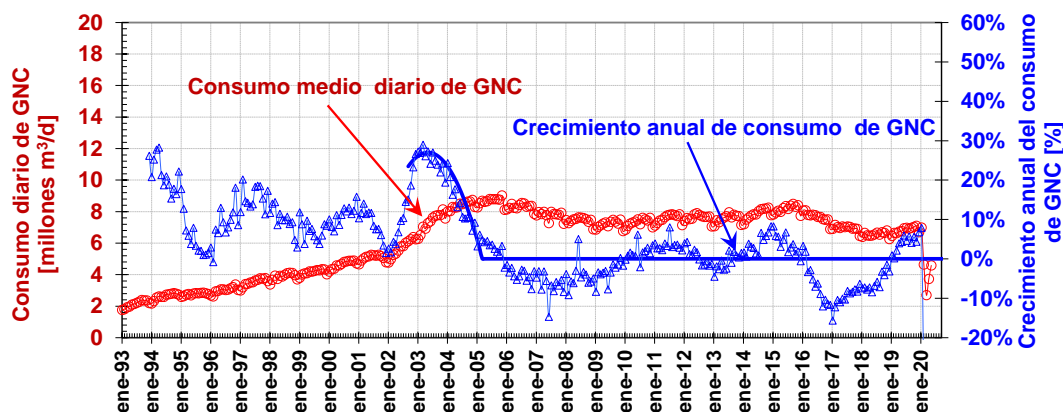


Figura 47 Variación del consumo de GNC (círculos rojos, referidos al eje vertical izquierdo) y variación del crecimiento anual del consumo de GNC (triángulos azules, referidos al eje vertical derecho). Los datos corresponden a todo el país. Las oscilaciones observadas son consecuencia de la disminución del consumo durante los meses de vacaciones.

En términos generales, se puede afirmar que el GNC en Argentina se comporta como una especie de “bien inferior”, es decir en épocas de crisis económica, su demanda aumenta. Esto se ve claramente en los años 2000 a 2004 donde se ve un crecimiento muy fuerte. Este incremento se atenuó en el año 2004 y hacia fines de 2005 retomó su tendencia histórica similar a la de los años 90. En estos periodos de recesión, los usuarios están más proclives a perder algo de espacio en el baúl de su automóvil, por un combustible más económico. Otro factor que influye mucho es la relación costo del litro de combustible líquido, relativo al costo de  $m^3$  de GNC. Si esta relación es mayor de 2, el incentivo a pasarse

a GNC aumenta en forma muy clara. Lo opuesto ocurre cuando esta relación disminuye de 2. Esta situación ocurrió en los años 2016-2018 donde claramente se ve una disminución de la demanda de GNC, Figura 47.

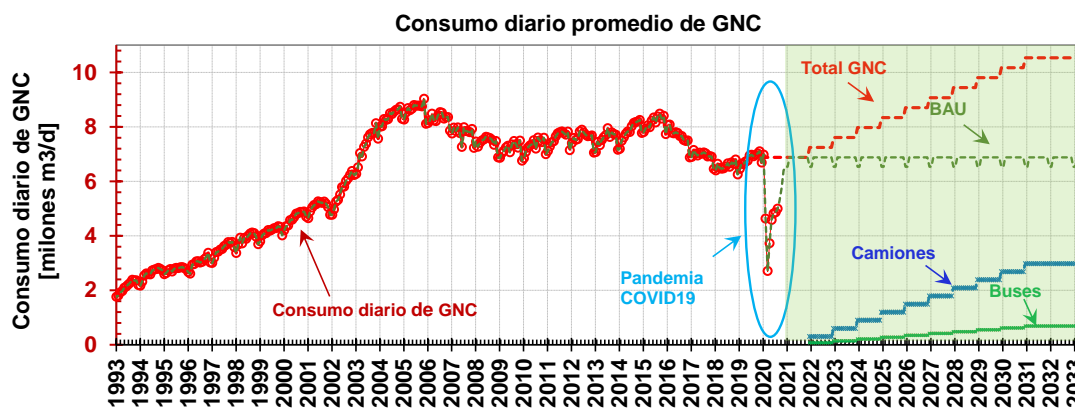


Figura 48 Variación del consumo de GNC (círculos rojos, referidos al eje vertical izquierdo) y variación del número de estaciones de servicio de GNC (triángulos azules, referidos al eje vertical derecho). Los datos corresponden a todo el país. Las oscilaciones observadas son consecuencia de la disminución del consumo durante los meses de vacaciones.

Otra característica notable del comportamiento del GNC se ve en el año 2020, como resultado de la cuarentena debido a la pandemia de COVID19. Ver Figura 47 y Figura 48. La caída de la demanda de combustible para a movilidad fue muy notable, como ocurrió en muchos países del mundo. Sin embargo, si observamos la tendencia general que se bien registrando desde 2017 en adelante, el crecimiento de la demanda es muy pequeña. Casi podría decirse que está estacionaria.

Los que deseamos explorar aquí es que pasaría con la demanda de GNC, si a partir de 2022, se incorporará a la flota de GNC, 1000 buses a GNC y 1000 camiones de GNC. En la Tabla 12 se indican los posibles incrementos en la demanda de GNC a nivel nacional.

	Incorporación Anual (unidades)	km/año	Consumo anual en miles m <sup>3</sup> (GNC)/unidad	Incremento del consumo nacional en Millones m <sup>3</sup> /día
Buses	1000	55.000	24,88	0,068
Camiones	1000	240.000	108,6	0,30

Tabla 12. Potencial incremento del consumo de GNC poa incorporación de 1000 buses y 1000 camiones a la flota.

Bajo las hipótesis indicadas en la Tabla 12, en la Figura 48 se muestran los incrementos de la demanda de cada tipo de vehículo y su impacto en la demanda total, línea roja de puntos. Como se ve, la incorporación de un numero de 1000 buses y camiones, incrementaría el consumo de gas en cerca de 3 millones de m<sup>3</sup>/día, es decir del 42%. Lo interesante de esta demanda es que, al ser contante y no estacional, podría ser abastecida sin mayores dificultades por el posible incremento en producción de posos de *Shale gas*, que tienen un gran potencial en Argentina.

En los primeros 2 a 5 años gran parte de este gas podría ser transportada por los gasoductos actuales, pero a partir de ese tiempo, las ampliaciones de la red de transporte que se están analizando en la actualidad podrían acomodar esta nueva demanda de gas.

Nuestro análisis revela que la demanda de GNC se ha mantenido constante desde 2018 y en los años 2016 y 2017 disminuyó.

La incorporación a la flota de vehículos a GNC de unos 1000 buses al año y otros tantos camiones a GNC, podría incrementar la demanda de GNC en casi 43% al cabo de 10 años. Además de contribuir a reducir los impactos ambientales, esta incorporación podría ser un factor dinamizador del desarrollo de los yacimientos de gas no convencional en Argentina y la ampliación de la red de transporte de gas en Argentina.

EN PROCESO DE DISEÑO

EN PROCESO DE DISEÑO

## 9. Referencias

1. *Responsible Transport: A post-COVID agenda for transport policy and practice*. Budd, L. and Ison, S. 100151, 2020, *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* 6 (2020) 100151, Vol. 6, pp. 1-5.
2. EIA DOE. *World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States*, <http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/>. EE.UU. : s.n., 2011 April.
3. American Business Conferences . *Shale Gas in Argentina* <http://www.shale-gas-tight-oil-argentina.com/>. *American Business Conferences* . 2013.
4. Secretaría de Gobierno de Energía. *Balance de gestión en energía 2016—2019 Emergencia, normalización y bases para la transformación*. [Online] Secretaría de Gobierno de Energía, Dic. 2019. <http://www.energia.gob.ar/>.
5. IEA. *IEA looks at CO2 emissions* . [Online] Data and statistics. IEA, 2020. <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TPESbySource>.
6. EPA. *Global Greenhouse Gas Emissions Data*. [Online] United States Environmental Protection Agency (EPA), 2020. <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>.
7. Ritchie, Hannah. *Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from?* [Online] Our World in Data, 2021. <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>.
8. Min. de Ambiente y Desarrollo Sustentable Argentina. *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero*. Buenos Aires : s.n., 2017.
9. IPCC. *International Panel on : Climate Change. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. <http://www.ipcc.ch/>. [Online] 2011.
10. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. <https://inventariogei.ambiente.gob.ar/>. [Online] 2019. <https://inventariogei.ambiente.gob.ar/>.
11. *Informe de Política Pública del Foro Internacional de Transportes, No. 76. ITF (2020), « Descarbonizando el Sistema de Transportes en Argentina : Trazando un Rumbo a Seguir »*. Paris : Publicaciones de la OCDE, París., 2020.
12. *NGV GLOBAL* . [Online] NGV Global services the rapidly growing natural gas vehicle (NGV) industry worldwide, 5 31, 2018. <http://www.iangv.org/current-ngv-stats/>.
13. ADEFA. [Online] Asociación de Fábricas de Automotores (ADEFA) agrupa a terminales automotrices que producen automóviles en Argentina , 5 31, 2018. <http://www.adefa.org.ar>.
14. *Carsmagazine*. *Informe: cómo se conforma el parque automotor de Argentina*. [Online] 4 27, 2019. <https://www.carsmagazine.com.ar/como-se-conforma-el-parque-automotor-de-argentina/>.
15. *Energy Losses in a Vehicle* California Energy Commission. [Online] 2020. [http://www.consumerenergycenter.org/transportation/consumer\\_tips/vehicle\\_energy\\_losses.html](http://www.consumerenergycenter.org/transportation/consumer_tips/vehicle_energy_losses.html).
16. U.S. Department of Energy – U.S. EPA. *Where the Energy Goes: Gasoline Vehicles*. [Online] Fuel Economy Guide EPA- USA, 2020. <https://www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml>.
17. Wikipedia. *Freno regenerativo*. [Online] 2018. [https://es.wikipedia.org/wiki/Freno\\_regenerativo](https://es.wikipedia.org/wiki/Freno_regenerativo).
18. —. *Vehículo compartido*. [Online] 2020. [https://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo\\_compartido](https://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo_compartido).
19. Organero, M. Muñoz. *TESIS DOCTORAL, Eco-driving: Ahorro de energía basado en el comportamiento del conductor*. Madrid : TESIS DOCTORAL, Univ. Carlos III, Madrid , 2015.
20. Secretaria de Energía de la Nación RA. *Guía de para Conducción Eficiente Vehiculos Livianos*. [Online] Oct. 2018. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia\\_de\\_conduccion\\_eficiente\\_para\\_vehiculos\\_livianos.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_de_conduccion_eficiente_para_vehiculos_livianos.pdf).
21. *Well-to-wheel analysis of direct and indirect use of natural gas in passenger vehicles*. Curran, S.J. and Otros. 2014, *Energy*, Vol. 75, pp. 194-203.

22. Dirección de Cambio Climático – SAyDS. *La Huella de Carbono. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, República Argentina. Versión 1.0 (4 de junio de 2008).* [www.ambiente.gov.ar/.../030608\\_metodologia\\_huella\\_carbono.pdf](http://www.ambiente.gov.ar/.../030608_metodologia_huella_carbono.pdf). Buenos Aires : s.n., 2008.
23. Wikipedia. Electric car EPA fuel economy. [Online] 2020. [https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_car\\_EPA\\_fuel\\_economy](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_car_EPA_fuel_economy).
24. IPCC. Carbon dioxide intensities of fuels and electricity for regions and countries. [Online] IPCC, 2018. <https://www.ipcc.ch/data/>.
25. Center for Life Cycle Analysis (LCA) of Columbia University. *Center for Life Cycle Analysis (LCA) of Columbia University.* <http://www.clca.columbia.edu>. NY : s.n., 2010.
26. Wikipedia. Life-cycle assessment. [Online] 2021. [https://en.wikipedia.org/wiki/Life-cycle\\_assessment](https://en.wikipedia.org/wiki/Life-cycle_assessment).
27. —. Sistema stop-start. [Online] 2020. [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_stop-start](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_stop-start).
28. IRENA. Hydrogen: A renewable energy perspective. Tech. rep. Paris. [Online] IRENA., sep. 2019. <https://www.irena.org/publications/2019/Sep/Hydrogen-A-renewable-energy-perspective>.
29. EPA U.S. Department of Energy. EPA Find and Compare Cars <http://www.fueleconomy.gov/>. 2011.
30. *Questions about a Hydrogen Economy.* Wald, M.L. 2004, *Scient. Am.* , Vol. May, pp. 68-73.
31. Christensen, A. *Assessment of Hydrogen Production Costs from Electrolysis: United States and Europe.* Washigton D.C. : Intenational Coucil on Clean Tranportation (ICCT), 2020.
32. IEA. *The Future of Hydrogen.* Paris : s.n., 2019.
33. *A comparison of exhaust emissions from vehicles fuelled with petrol, LPG and CNG.* Bielaczyc, P, Szczotka , A. and Woodburn, J. 2016, *Materials Science and Engineering*, Vol. 148, pp. 1-10.
34. Stacy , C., Davis , C. and Boundy, R.G. *Transportation, Energy Data Book Edition 38.* Oak Ridge - Ten : Oak Ridge National Laboratory, 2019.
35. Wikipedia. Energy in Germany. [Online] 2018. [https://en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_in\\_Germany](https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_in_Germany).
36. *Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on.* Moro, A. and Otros. s.l. : <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.012>, 2017, *Transportation Research Part D*, p. In Press.
37. Secretaría de Energía de la Nación- Ministerio de Hacienda. Cálculo del factor de Emisión de CO2 de las red Argentina de Energía Eléctrica. [Online] 10 2019. <http://datos.minem.gob.ar/dataset/calculo-del-factor-de-emision-de-co2-de-la-red-argentina-de-energia-electrica>.
38. IPCC - Transport. *Transport. In: Climate Change Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the IPCC- Chap.8.* New York, NY, USA. : Cambridge Univ. Press, 2014.
39. Wikipedia. Motor vehicles. [Online] 2021. [https://en.wikipedia.org/wiki/Motor\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Motor_vehicle).
40. —. Electric car use by country. [Online] 2021. [https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_car\\_use\\_by\\_country](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_car_use_by_country).
41. Alibaba. Small Electric Cars. [Online] 2021. [https://www.alibaba.com/products/electric\\_small\\_car/CID100002872.html?IndexArea=product\\_en&](https://www.alibaba.com/products/electric_small_car/CID100002872.html?IndexArea=product_en&).
42. BloombergNEF. Lithium-ion battery price for EV. [Online] Dec 16, 2020. <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/>.
43. Wikipedia. La gran niebla de Londres de 1952. [Online] [https://es.wikipedia.org/wiki/Gran\\_Niebla\\_de\\_Londres#:~:text=En%20diciembre%20de%201952%20un,densa%20masa%20de%20aire%20fr%C3%ADo..](https://es.wikipedia.org/wiki/Gran_Niebla_de_Londres#:~:text=En%20diciembre%20de%201952%20un,densa%20masa%20de%20aire%20fr%C3%ADo..)
44. *Air Pollution and Human Health: From Local to Global Issues.* Brunekreef, Bert. 2010, *Procedia Social and Behavioral Sciences* , Vol. 41, pp. 6661–6669.
45. Wikipedia. IPCC list of greenhouse gases. [Online] 2021. [https://en.wikipedia.org/wiki/IPCC\\_list\\_of\\_greenhouse\\_gases](https://en.wikipedia.org/wiki/IPCC_list_of_greenhouse_gases).
46. TELam. Baja la contaminación atmosférica en ciudades argentinas a casi un mes de la cuarentena. 2020.
47. *ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LAS NORMAS EURO VI SOBRE EMISIONES EN VEHÍCULOS PESADOS EN ARGENTINA ICCT.* Miller, Joshua and Braun, Caleb . Buenos Aires : s.n., 2020. International Council on Clean Transportation (ICCT).



48. *Everything You Need to Know About the Fastest-Growing Source of Global Emissions: Transport*. Wang, Shiyang and Ge, Mengpin. [ed.] World Resource Institute. 2019.
49. National Research Council USA. *Effectiveness and Impact of Corporate Average Fuel Economy (CAFE) Standards*. Washington, DC. : The National Academies Press, 2002.
50. *Actual emissions from urban buses powered with diesel and gas engines*. J. Merksiz, P. Lijewski a, J.Pielecha. [ed.] Elsevier. 2016, Transportation Research Procedia , Vol. 14, pp. 3070-3078.
51. *SOME ENERGETIC AND ECOLOGICAL ASPECTS OF DIFFERENT CITY BUS DRIVE SYSTEMS*. Tomića, M. V. and et, al. 2017, Thermal Science, Vol. 22, pp. 310-317.
52. Wikipedia. Costo de la electricidad por tipo de fuente. [Online] 2021. [https://es.wikipedia.org/wiki/Costo\\_de\\_la\\_electricidad\\_por\\_tipo\\_de\\_fuente](https://es.wikipedia.org/wiki/Costo_de_la_electricidad_por_tipo_de_fuente).
53. —. Wuling Hongguang Mini EV. [Online] 2021. [https://en.wikipedia.org/wiki/Wuling\\_Hongguang\\_Mini\\_EV](https://en.wikipedia.org/wiki/Wuling_Hongguang_Mini_EV).
54. Movilidad Electrica .com. Chang Li, el coche eléctrico más barato del mundo que se vende en Alibaba. [Online] 2020. <https://movilidadelectrica.com/chang-li-coche-electrico-mas-barato-del-mundo/>.
55. Trieu Mai, Jadun Paige, Logan Jeffrey, McMillan Colin, Muratori Matteo, Steinberg Daniel, Vimmerstedt Laura, Jones Ryan, Haley Benjamin, and Nelson Brent. *Electrification Futures Study: Scenarios of Electric Technology Adoption and Power Consumption for the United States*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-6A20-71500. s.l. : <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/71500.pdf>, 2018.
56. International Agency for Research on Cancer. (2012, June 12). *IARC: Diesel Engine Exhaust Carcinogenic*. s.l. : JNCI Journal of the National Cancer Institute. Lyon, France: World Health Organization. doi:10.1093/jnci/djs034., 2012.
57. Cohen, A. J., Brauer, M. and Burnett, R. et al. *Estimates and 25-Year Trends of the Global Burden of Disease Attributable to Ambient Air Pollution: an Analysis of Data From the Global Burden of Diseases Study 2015*. s.l. : The Lancet 2017, 1–12., 2017.
58. Dallmann, T. R., Du, L., & Minjares, R. *Low-Carbon Technology Pathways for Soot-Free Urban Bus Fleets in 20 Megacities (No. Working Paper 2017-11)*. s.l. : International Council on Clean Transportation ICCT (Vol. 356, pp. 493–494). Washington, DC. Retrieved from <http://www.theicct.org/publications/low-carbon-technology-pathways-soot-free-urban-bus-fleets-20-megacities>, 2017.
59. Vassallo, Julio E. y Mayol, María Laura. “*La Contaminación del Aire y el Transporte Automotor en Buenos Aires: Análisis de las Emisiones de NO2 Provenientes del Transporte Automotor en un Sitio Comercial de la Ciudad de Buenos Aires*”. s.l. : Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ISA) de la Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - AIDIS N° 137 (Ene. 2020) pág. 59 a 80., 2020.
60. Miller, Joshua y Braun, Caleb and ICCT, Abril 2020. *ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LAS NORMAS EURO VI SOBRE EMISIONES EN VEHÍCULOS PESADOS EN ARGENTINA*. s.l. : International Council on Clean Transportation (ICCT), Abril 2020., 2020.
61. Carslaw David, Beevers Sean, Westmoreland Emily and Williams Martin King’s College London James Tate University of Leeds Murrells Tim, Stedman John, Li Yvonne, Grice Susannah, Kent Andrew and Tsagatakis Ioannis. *Trends in NOx and NO2 emissions and ambient measurements*. s.l. : UK Prepared for Defra version 18th July 2011, 2011.
62. Keuken M.P., Roemer M.G.M., Zandveld P., Verbeek R.P., Velders G.J.M. *Trends in primary NO2 and exhaust PM emissions from road traffic for the period 2000e2020 and implications for air quality and health in the Netherlands*. s.l. : Atmospheric Environment 54 (2012) 313e319, 2012.
63. G., Carslaw D. and Rhys-Tyler. *New insights from comprehensive on-road measurements of NOx, NO2 and NH3 from vehicle emission remote sensing in London, UK*. s.l. : Atmospheric Environment 81 (2013) 339e347, 2013.
64. Velders G.J.M., Wesseling J., Geilenkirchen G.P. and Ligterink N.E. *The Euro emission standards for cars and trucks in relation to NO2 limit value exceedances in the Netherlands*. s.l. : RIVM Letter Report 680363001/2013 G.J.M., 2013.

65. Pastramas, N., et al. *Update of the Air Emissions Inventory Guidebook - Road Transport 2014*. s.l. : EMISIA SA Report No: 14.RE.011.V1, 2014.
66. Kadijk Gerrit, Ligterink Norbertand Spreen Jordy. *“On Road NOx and CO2 investigations of Euro 5 Light Commercial Vehicles”*. s.l. : TNO 2015 R10192, 2015.
67. Lowell Dana and Kamakaté Fanta. *Urban off-cycle NOx emissions from Euro IV/V trucks and buses Problems and solutions for Europe and developing countries*. s.l. : International Council on Clean Transportation (ICCT) 2012, 2012.
68. Lee., Jongmin Kim and Jongtae. *NOx Emissions from Euro 5 and Euro 6 Heavy-Duty Engines Diesel Vehicles under Real Driving Conditions*. s.l. : 2020, 13, 218; doi:10.3390/en13010218, 2020.
69. Engines, Signer Meinrad Senior Expert in Combustion. *Testeo de Conformidad en Servicio Euro VI La solución para la performance en emisiones de vehículos pesados en el mundo real*. s.l. : Swiss Agency for Development and Cooperation Consultant. msco GmbH CH-9320 Arbon Seminario en FADEEAC Buenos Aires 29-30.11.2017, 2017.
70. *Decarbonizando el Transporte en Economías Emergentes. Presentación Secretaría de Cambio Climático y Desarrollo Sustentable de Argentina*. Moreira Muzio, Macarena,. s.l. : Coordinadora de Mitigación SAyDS, Dirección Nacional de Cambio Climático. Presentación Secretaría de Cambio Climático y Desarrollo Sustentable Dirección Nacional de Cambio Climático. Seminario del Ministerio de Transporte de la Nación 16 de Sept. de 2019, 2019.
71. Mastronardi, L., et al. *Escenarios Energeticos 2030. Documento Síntesis Noviembre 2019*. s.l. : Dirección Nacional de Escenarios y Planeamiento Energético Subsecretaría de Planeamiento Energético. Secretaría de Energía de la Nación., 2019.
72. Marcela, Castillo and Fabián, Galarza Sebastian and Lopes Gianni and Cadiz Alfonso and Nilo. *Sustainable Bus System Report from the Advanced Motor Fuels Technology Collaboration programme. March 2018*. s.l. : CMMCh and 3CV Ministry of Transport and Telecommunications of Chile., 2018.
73. Nils-Olof Nylund, Kimmo Erkkilä, Maija Lappi & Markku Ikonen. *VTT TRANSIT BUS EMISSION STUDY: COMPARISON OF EMISSIONS FROM DIESEL AND NATURAL GAS BUSES*. s.l.: VTT RESEARCH REPORT PRO3/P5150/04 15.10.2004., 2004.
74. Nils-Olof Nylund and Koponen, Kati Koponen,. *Fuel and Technology Alternatives for Buses Overall Energy Efficiency and Emission Performance*. s.l. : VTT TECHNOLOGY 46, 2012., 2012.
75. Söderena, P., Nylund, N-O., & Mäkinen, R. *City bus performance evaluation*. s.l. : VTT Technical Research Centre of Finland. Customer Report, No. VTT-CR-00544-19, 2019.
76. (HEI), Health Effects Institute. *Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review. Special Report N° 17. January 2010*. s.l. : HEI Special Report N° 17. January 2010., 2010.
77. Faustini A, Rapp R, Forastiere F. . *Nitrogen dioxide and mortality: review and meta-analysis of long-term studies*. s.l. : Eur Respir J. 2014;44:744–753. [PubMed], 2014.
78. Feifei Liu, Fangfang Qu, Huiran Zhang, Lingshan Chao, Rongqin Li, Fengxue Yu, Jitao Guan and Xixin Yan. *The effect and burden modification of heating on adult asthma hospitalizations in Shijiazhuang: a time-series analysis. Respiratory Research*. s.l.: Respiratory Research (2019) 20:122. Respiratory Research <https://doi.org/10.1186/s12931-019-1092-0>, 2019.
79. Lawrence D. Lemke, Lois E. Lamerato, Xiaohong Xu, Jason C. Booza, John J. Reiners Jr, Delbert M. Raymond III, Paul J. Villeneuve, Eric Lavigne, Dana Larkin and Helene J. Krouse. *Geospatial relationships of air pollution and acute asthma events across*. s.l. : Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology (2014) 24, 346–357, 2014.
80. Straif K., Cohen A., Samet J. *Air pollution and cancer*. s.l. : Published by the International Agency for Research on Cancer IARC Scientific Publications; 161 WHO Press, World Health Organization 2013, 2013.
81. Pasi Jalava, Päivi Aakko-Saksa, Timo Murtonen, Mikko S. Happo, Ari Markkanen, Pasi Yli-Pirilä, Pasi Hakulinen, Risto Hillamo, Jorma Mäki-Paakkanen, Raimo O. Salonen, Jorma Jokiniemi and Mija-Riitta Hirvonen. *Toxicological properties of emission particles from heavy duty engines powered by conventional and bio-based diesel fuels and*

- compressed natural gas*. s.l. : Part Fibre Toxicol. 2012; 9: 37. Published 2012 Sep. 29 doi: 10.1186/1743-8977-9-37., 2012.
82. Lee Kuan Ken, Miller Mark R., and Shah Anoop S. V. *Air Pollution and Stroke*. s.l. : J Stroke. 2018 Jan; 20(1): 2–11. Published online 2018 Jan 31. doi: 10.5853/jos.2017.02894, 2018.
83. *Vehicle Emissions and Health: A Global Perspective on Effects, Placed in an Indian Context*. Greenbaum Dan, President Health Effects Institute. s.l. : HEI Presentation in Delhi, India 1 September 2011, 2011.
84. *Health Effects of Air Pollution*. Michael, Brauer. s.l. : Meeting of the G20 Transport Task Group 28-31 October 2019, Tokyo, Japan., 2019.
85. Anenberg Susan, Miller Joshua, Henze Daven, Minjares Ray. *A GLOBAL SNAPSHOT OF THE AIR POLLUTION-RELATED HEALTH IMPACTS OF TRANSPORTATION SECTOR EMISSIONS IN 2010 AND 2015*. s.l. : 2019 International Council on Clean Transportation., 2019.
86. Shaohua Hu, Jorn D. Herner , William Robertson , Reiko Kobayashi , M.-C. Oliver Chang , Shiou-mei Huang , Barbara Zielinska , Norman Kado , John F. Collins , Paul Rieger , Tao Huai & Alberto Ayala. *Emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and nitro-PAHs from heavy-duty diesel vehicles with DPF and SCR*. s.l. : Hu et al. / Journal of the Air & Waste Management Association 63 (2013) 984–996, 2013.
87. CONSEJO, PARLAMENTO EUROPEO Y DEL. *DIRECTIVA 2009/33/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de abril de 2009 relativa a la promoción de vehículos de transporte por carretera limpios y energéticamente eficientes*. s.l. : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0, 2009>.
88. Consulting, C40 Cities with Grütter. *Ciudad de Mexico: Alternative Bus Technologies August, 2018*. s.l. : C40 Cities Climate Leadership Group. Implemented Agency: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2018.
89. Barrera D., M. Conte Grand and F.H. Gaioli. *Conversión a GNC del autotransporte público de pasajeros y de carga del AMBA*. s.l. : (1999) Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable, mimeo., 1999.
90. Conte Grand M.(1997), w C. Weaver and P. Balam. *Social Benefits of Reducing Air Pollution in the Buenos Aires Metropolitan Area, Vol. 2, "Pollution Management"*. s.l. : (1997) "Pollution Management" Project, World Bank/Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable de Argentina., 1997.
91. America, Clean Buses in Latin. *GREEN YOUR BUS RIDE Summary report January 2019*. s.l. : 2019 NDC Support Facility, Steer, The World Ban., 2019.
92. Posada Francisco, Chambliss Sarah, and Blumberg Kate. *COSTS OF EMISSION REDUCTION TECHNOLOGIES FOR HEAVY-DUTY DIESEL VEHICLES*. s.l. : 2016 International Council on Clean Transportation., 2016.
93. Miller, J., et al. *Financing the Transition to Soot-Free Urban Bus Fleets in 20 Megacities*. s.l. : [http://www.theicct.org/publications/financing transition-soot-free-urban-bus-fleets-20-megacities](http://www.theicct.org/publications/financing-transition-soot-free-urban-bus-fleets-20-megacities) Washington, DC, 2017; pp 1–49, 2017.
94. M., Grütter Jürg. *Consulting Real World Performance of Hybrid and Electric Buses Environmental and Financial Performance of Hybrid and Battery Electric Transit Buses Based on Real World Performance of Large Operational Fleets*. s.l. : Grütter October 2014 Based on Real World Performance of Large Operational Fleets October 2014 [www.transport-ghg.com](http://www.transport-ghg.com), 2014.
95. Matzer C., Weller K., Dippold M., Lipp S., Röck M., Rexas M., Haus-berger S. *Update of emission factors for HBEFA Version 4.1*. s.l. : Graz University Technology 09. September 2019 I-05/19/CM EM-I-16/26/679 Version 4.1; Austria Institute of Internal Combustion Engines and Thermodynamics Head: Univ.-Prof Dr. Helmut Eichlseder Inffeldgasse 19, A-8010 Graz, Final re-port, I-05/19/CM EM-I-16, 2019.
96. Ntziachristos Leonidas, Samaras Zisis. *Copert EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 – Update Jul. 2018*. s.l. : Copert EMEP/EEA guidebook, 2018.
97. Kousoulidou M., Ntziachristo L. s, Gkeivanidis S., Samaras Z., Franco V. and Dilara P. *Validation of the COPERT road emission inventory model with real-use data*. s.l. : 2011 publication at: <https://www.researchgate.net/publication/261726813>, 2011.

98. Ntziachristosa Leonidas, Gkatzofliasb Dimitrios, Kouridisb Chariton, Samaras Zisis and Tritsi Antoni. *COPERT: A European road transport emission inventory model*. s.l.: Environmental Science and Engineering, DOI 10.1007/978-3-540-88351-7\_37, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009., 2009.
99. Central Térmica Costanera, Impacto ambiental de Informe 2015. *Publicación de factores de emisión 2015 y 2016 de la Central Térmica Costanera. y de "Memoria y Estados Financieros Central Costan. s.l. : [https://es.wikipedia.org/wiki/Central\\_térmica\\_Costanera](https://es.wikipedia.org/wiki/Central_térmica_Costanera). y de "Memoria y Estados Financieros Central Costanera S.A. 2016" <https://www.enel.com.ar/content/dam/enel-ar/subsidiaria-costanera/balances/2016/costanera-sostenibilidad-final-baja.pdf>, 2015 y 2016.*
100. Parry Ian, Veung Chandara, and Heine Dirk. *How Much Carbon Pricing is in Countries' Own Interests? The Critical Role of Co-Benefits*. s.l. : International Monetary Fund IMF Working Paper WP/14/174 September 2014, 2014.
101. CNRT, C3T-UTN de Base de Datos. *"Cantidad de vehículos automotores que prestan Servicios Públicos de Transporte de Pasajeros en el ámbito urbano. Por jurisdicción"*. s.l. : sitio web actualizado 2020 del Centro de Transporte Transito y Seguridad Vial de la Universidad Tecnológica Nacional C3T <http://ondat.fra.utn.edu.ar/?p=859>, 2020.
102. Transpote, Comisión Nacional de Regulación del. *Informe de Gestión 2016-2019 e Informe Interanual 2016-2019 para Buses Urbanos*. s.l.: Ministerio de Transporte de la Nación Argentina. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/cnrt\\_-\\_libro\\_gestion\\_2016-2019.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/cnrt_-_libro_gestion_2016-2019.pdf). y [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/cnrt\\_-\\_libro\\_gestion\\_2016-2019.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/cnrt_-_libro_gestion_2016-2019.pdf), 2019.
103. Rachel, Delgado Oscar and Muncrief. *Assessment of Heavy-Duty Natural Gas Vehicle Emissions: Implications and Policy Recommendations 2015*. s.l. : 2015 International Council on Clean Transportation, 2015.
104. EEA, European Environment Agency. *"Electric vehicles from cycle and circular economy perspectives. TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism"*. s.l. : TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) EEA Report N°13/2018, 2018.
105. Sach, Goldman. *New era in CO2 regulation: EVs to be tested across life cycle, not only on running performance*. s.l. : Goldman Sach. Global Automobiles Publication 5 December 2019, 2019.
106. AMF VTT's electric bus projects: *Partnership with Helsinki Region Transport*. Nylund Nils-Olof Research Professor at VTT, Senior Vice Chairman of IEA. s.l. : Regional Workshop for Emission Standards Update for Heavy-Duty Vehicles in Latin America. Santiago de Chile 19-20 April 2016, 2016.
107. Klaus Kivekäs, Antti Lajunen, Jari Vepsäläinen and Kari Tammi. *City Bus Powertrain Comparison: Driving Cycle Variation and Passenger Load Sensitivity Analysis*. s.l. : Department of Mechanical Engineering, School of Engineering, Aalto University, Puumiehenkuja 5, 02150 Espoo, Finland. *Energies* 2018, 11, 1755 6., 2018.
108. Wikipedia. Vehicle emission standard. [Online] 2021. [https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle\\_emission\\_standard](https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle_emission_standard).