



# Proyecto Trabajo Final

Marzo 2015

“Evaluación técnica, económica y ambiental  
de la implementación de Autobuses Híbridos  
en la Ciudad de Mar del Plata”.

**Autor:**

***Minellono, José Armando***

**Tutor:**

***Ing. Dimenna, Claudio***

**Carrera:**

***Ingeniería Electromecánica***

**Evaluadores:**

***Mg. Ing. Susana Jacob  
Ing. Eduardo Garín  
Mg. Ing. Pedro Prado.***

**Suplente:**

***Ing. Juan Suárez***



## INDICE

INTRODUCCIÓN .....	4
ANTECEDENTES .....	6
Bibliografía Antecedentes.....	8
OBJETIVOS .....	9
ALCANCE .....	10
METODOLGIA Y RESULTADOS.....	11
CAPÍTULO 1: Arquitecturas de vehículos Híbridos .....	11
Sistema Híbrido Serie.....	13
Sistema Híbrido Paralelo [3] [9] .....	18
Sistema de Transmisión en HEV Paralelo .....	22
Acoplamiento de Par .....	23
Sistema Híbrido Serie-Paralelo [1] [3] [10].....	29
Sistemas de acoples entre MCI, M/GE #1 y M/GE #2. ....	31
Grupo de Almacenamiento de Energía.....	36
Bibliografía Capítulo 1 .....	43
CAPÍTULO 2: Calidad del aire, controles y normativas .....	46
Factores que afectan las concentraciones de los contaminantes del aire. [4][5] ...	46
Fuentes de contaminación.....	47
Contaminantes criterio .....	47
Efectos a la exposición a corto y largo plazo en Contaminantes Criterios .....	51
Marco Normativo .....	52
Normativa UE Unión Europea. [9] .....	53
Normativa en la República Argentina .....	56
Bibliografía Capítulo 2 .....	60
CAPÍTULO 3: Implementación de Autobuses Híbridos en la ciudad de Mar del Plata .....	62
Buses híbridos en el mercado actual.....	62
Descripción de Buses Híbridos .....	63



---

Selección del bus híbrido .....	65
Selección de Buses Híbridos y comparativa con Buses convencionales .....	65
Costo real de combustible para el año 2013 .....	65
Costo anual por consumo de combustible .....	69
Calculo de subsidio anual entregado por el Estado Nacional .....	71
Ahorro de combustible .....	73
Ahorro de emisiones .....	74
Ahorro de externalidades .....	75
Ahorro anual con flota unificada .....	81
Estimación y viabilidad de reemplazo progresivo de flota .....	81
Escenario 1 .....	83
Escenario 2 .....	87
Análisis de resultados .....	93
Bibliografía Capitulo 3 .....	95
CONCLUSIÓN .....	102



## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Mar del Plata en la actualidad cuenta un sistema de transporte público de pasajeros con una flota estimada en 408 de autobuses, los cuales recorren alrededor de 35 millones de kilómetros por año. Si bien, dichas líneas transitan vastas extensiones de ésta ciudad y Batán, poseen un diagrama de recorrido que obliga a la gran mayoría de las líneas a circular en cercanías del micro y macrocentro.

Corredores como la intersección entre las avenidas Pedro Luro e Independencia, 25 de Mayo y San Luis o Bulevar Marítimo y San Martín son claros ejemplos de recorridos de alta concentración de autobuses de Transporte Público de Pasajeros (TPP) que dejan su impronta marcada de las emisiones de gases contaminantes como por ejemplo el material particulado y el hollín sobre las fachadas de los edificios aledaños.

Otra de las problemáticas que conlleva esta situación son las relacionadas al bien estar de los vecinos y trabajadores que residen o cumplen su jornada laboral en cercanías de dichos recorridos. Aquí, el nivel de ruido y emisiones de gases contaminantes se vuelven una amenaza directa a la salud de las personas.

Altas concentraciones de gases contaminantes, sumado a elevados tiempos de exposición generarían en las personas afectadas enfermedades respiratorias graves, con lo que conlleva a gastos hospitalarios y de internación.

Una solución a dicha problemática serían los vehículos con tecnología híbrida, los cuales combinan una fuente primaria como los motores de combustión interna y una fuente secundaria como el motor eléctrico alimentado por un grupo de energía.

En la actualidad, países como Alemania y Estados Unidos son pioneros en el desarrollo de la tecnología híbrida, con lo cual han avanzado y logrado vehículos con gran autonomía reduciendo niveles de ruido, consumo de combustible fósil y emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

En Latinoamérica, Brasil lidera el mercado con plantas automotrices de firmas como Volvo, Mercedes-Benz y Marcopolo que se encuentran en pleno desarrollo y fabricación de buses híbridos, en tanto que Argentina cuenta con la firma TATSA con apoyo de EATON para el desarrollo a baja escala de autobuses híbridos.

El estado nacional juega un rol importante debido que se encuentra involucrado en el área del Transporte Público de Pasajeros comprometido seriamente con costos directos e indirectos de los mismos.

Como costo directo principal se puede nombrar la participación en subsidios al combustible Gas Oil, en tanto los costos indirectos son más difíciles de percibir pero a largo plazo representan sumas importantes, los mismos son: costos por emisiones de CO<sub>2</sub>, externalidades hospitalarias e internación causadas por enfermedades respiratorias derivadas por inhalación de gases contaminantes.



Por lo tanto, el objetivo del trabajo es abordar dicha problemática sobre la base de un exhaustivo análisis técnico de las diversas arquitecturas híbridas disponibles en el mercado actual e identificar cuáles de ellas se adaptan a las condiciones actuales requeridas en la ciudad de Mar del Plata.

Se analizarán las normativas ambientales vigentes con un marco nacional e internacional, para así desarrollar un estudio de factibilidad económica sobre la implementación de autobuses híbridos.

En cuanto al análisis económico será desarrollado de acuerdo a dos modelos diferentes de autobuses híbridos y se estudiarán para cada uno de ellos dos escenarios sobre el desarrollo de implementación tomando como referencia principal el recambio progresivo de unidades mediante el sistema de antigüedad de flota.



## ANTECEDENTES

Se conoce que los comienzos de los vehículos híbridos y eléctricos se ubican a fines del siglo XIX, pero dicho avance fue desestimado rápidamente debido a que aún el avance en el desarrollo de motores eléctricos y grupos de almacenamiento de energía no era suficientemente atractivos en comparación a motores de combustión interna o de vapor [1].

Luego, a partir de la década de los '60, la investigación a cerca de dicha tecnología se profundizó y surgieron diversos prototipos pero no fue hasta 1997 cuando Toyota lanza el primer auto híbrido "Prius" en el mercado japonés. Las ventas del primer año fueron casi 18.000 unidades [2][3].

En la actualidad, existen reconocidas firmas como Volvo, Mercedes-Benz, Eaton, y Toyota entre otros, que son líderes en tecnología híbrida y eléctrica, y ofrecen diferentes tipos de vehículos de acuerdo a las exigencias del mercado internacional.

En Latinoamérica, se está comenzado a tomar conciencia de los riesgos y perjuicios que trae aparejada la contaminación ambiental debido a los gases de combustión. Ciudades como Bogotá (Colombia) se encuentran trabajando en dicha problemática y a finales de 2013 en su sistema de transporte público de pasajeros "Transmilenio" decidieron llevar a cabo la incorporación de 200 buses híbridos y según publicación del diario "La Republica" se espera para el 2015 se lleve a cabo una nueva implementación de 150 buses híbridos [4].

Tanto en Santiago de Chile (Chile) como en Rio de Janeiro y Curitiba (Brasil), los gobiernos también han incentivado políticas medioambientales y económicas, lo cual ha facilitado que firmas como Volvo Bus inviertan en dichos países y ofrezcan la línea de vehículos híbridos para el transporte público de pasajeros [4] [8].

En la Argentina, el primer bus ecológico fue diseñado y construido por TATSA luego de dos años de desarrollo conjunto entre la Agencia de Protección Ambiental del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, la Universidad Nacional de La Plata y la Cámara Empresaria de Autotransporte de Pasajeros[5][6].

En 2009, en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires comenzó a operar el prototipo Ecobus en la Línea N°62 y se programó una entrega de 5 unidades más para el 2010. En la actualidad se cuenta con una flota aproximada de 20 unidades [9].

En 2012, la ciudad de San Luis para el sistema de transporte público de pasajeros "Transpuntano", el gobierno provincial decidió adquirir 5 unidades híbridas modelo Ecobus de la firma TATSA [7].



---

Por lo tanto, existe una marcada tendencia al cuidado del medioambiente y la salud pública, ya que con la incorporación de dichas unidades ayudan a reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera y a mejorar la calidad de vida de las personas reduciendo las probabilidades de ocurrencia de enfermedades cardio-respiratorias y neuronales.



## Bibliografía Antecedentes

- [1] **Historia del coche híbrido\_ los pioneros**  
<http://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-del-coche-hibrido-los-pioneros>
- [2] **History of Hybrid Vehicles – HybridCars**  
<http://www.hybridcars.com/history-of-hybrid-vehicles/>
- [3] **A Brief History of Hybrid Cars – CarsDirect**  
<http://www.carsdirect.com/green-cars/a-brief-history-of-hybrid-cars>
- [4] **Volvo Bus hará realidad el Transmilenio \_ La República**  
[http://www.larepublica.co/volvo-bus-har%C3%A1-realidad-la-circulaci%C3%B3n-de-buses-el%C3%A9ctricos-en-el-sistema-transmilenio\\_178156](http://www.larepublica.co/volvo-bus-har%C3%A1-realidad-la-circulaci%C3%B3n-de-buses-el%C3%A9ctricos-en-el-sistema-transmilenio_178156)
- [5] **Plan estratégico 2008-2012 CABA**  
[http://estatico.buenosaires.gov.ar/areas/med\\_ambiente/apra/institucional/archivos/pe\\_1era\\_parte.pdf?menu\\_id=32258](http://estatico.buenosaires.gov.ar/areas/med_ambiente/apra/institucional/archivos/pe_1era_parte.pdf?menu_id=32258)
- [6] **Programa Buses Híbridos en la Ciudad de Buenos Aires**  
[http://www.ias.org.ar/down/asociados/reporter\\_ias/legal/legales/res-gcaba-1-10-buses-hibridos.htm](http://www.ias.org.ar/down/asociados/reporter_ias/legal/legales/res-gcaba-1-10-buses-hibridos.htm)
- [7] **San Luis lanzo la línea Ecobus - Terra Argentina**  
<http://noticias.terra.com.ar/san-luis-lanzo-la-linea-de-transporte-ecologico-ecobus.9210c99da4906310VqnVCM3000009af154d0RCRD.html>
- [8] **Zona Verde para el transporte en Santiago**  
<http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/stolvett-zonaverde-pdf.pdf>
- [9] **Buenos Aires Ciudad - Desarrollo Sustentable**  
[http://www.buenosaires.gob.ar/areas/med\\_ambiente/apra/des\\_sust/transpo rte\\_eco.php?menu\\_id=32419](http://www.buenosaires.gob.ar/areas/med_ambiente/apra/des_sust/transpo rte_eco.php?menu_id=32419)



## OBJETIVOS

El objetivo del presente proyecto es estudiar la factibilidad de la implementación de los autobuses con tecnología híbrida en la ciudad de Mar del Plata, a través de una evaluación técnica, económica y ambiental.

Para cumplir con dicho propósito, la primera etapa será la investigación y estudio de las diferentes arquitecturas de tecnología híbridas que se ofrecen en la actualidad en los países desarrollados. Al mismo se considerarán las normativas medioambientales vigentes de carácter nacional e internacional, conforme a lo relacionado sobre las emisiones de gases que son causadas por los motores de combustión interna.

Luego, se analizarán ventajas y desventajas de las diferentes arquitecturas de dichas tecnologías las cuales fusionan motores de combustión interna diesel con motores eléctricos alimentados por grandes grupos de almacenamiento. En este sentido se evaluarán también las opciones actuales del mercado Argentino y Sudamericano, seleccionando dos opciones de vehículos híbridos para su posterior estudio económico.

Finalmente, se observará la viabilidad del proyecto contemplando los costos de implementación progresiva de dichas unidades sobre la base del recambio de unidades por antigüedad cumplida versus costos provenientes de externalidades hospitalarias, efectos en la salud, emisiones de CO<sub>2</sub>, ahorro de combustible y subsidios en el precio del Gas Oil.



---

## ALCANCE

El trabajo final se basará en la evaluación técnica, económica y ambiental aplicada a todo el conjunto de líneas de transporte de pasajeros urbanos de la de Mar del Plata, será desarrollado en dos partes principales.

Se pretende realizar en primer lugar, una descripción técnica de los diferentes modelos de sistemas híbridos aplicados vehículos de transporte de pasajeros, analizando sus componentes característicos. Luego el análisis de normas que regulan la contaminación atmosférica por emisión de gases de escape, así como los gases considerados peligrosos para la salud y el medio ambiente.

La segunda parte, estará centrada en realizar una evaluación técnica, económica y ambiental, en base a la implementación de Autobuses Híbridos en la Ciudad de Mar del Plata.

En esta etapa, se realizará una evaluación de cuál de los modelos presentados en la primer etapa es el sistema híbrido más adecuado. Luego serán comparados los rendimientos entre dichos vehículos híbridos y los convencionales a combustión interna y los ahorros de combustibles que es posible obtener.

Se analizarán externalidades producidas por las emisiones de gases tóxicos a la atmósfera, cuantificando su incidencia económica.

Se analizará la viabilidad económica del reemplazo del parque de buses.



## METODOLGIA Y RESULTADOS

### CAPÍTULO 1: Arquitecturas de vehículos Híbridos

Un Vehículo Eléctrico Híbrido (HEV) busca combinar las ventajas de la tracción eléctrica como su operación silenciosa y niveles nulos de emisión de gases tóxicos; combinada con la autonomía de los motores de combustión interna (MCI), tomando el caso más general. Un sistema híbrido posee principalmente tres componentes básicos los cuales son: un motor eléctrico, un motor de combustión interna y un sistema de almacenamiento de energía [1].

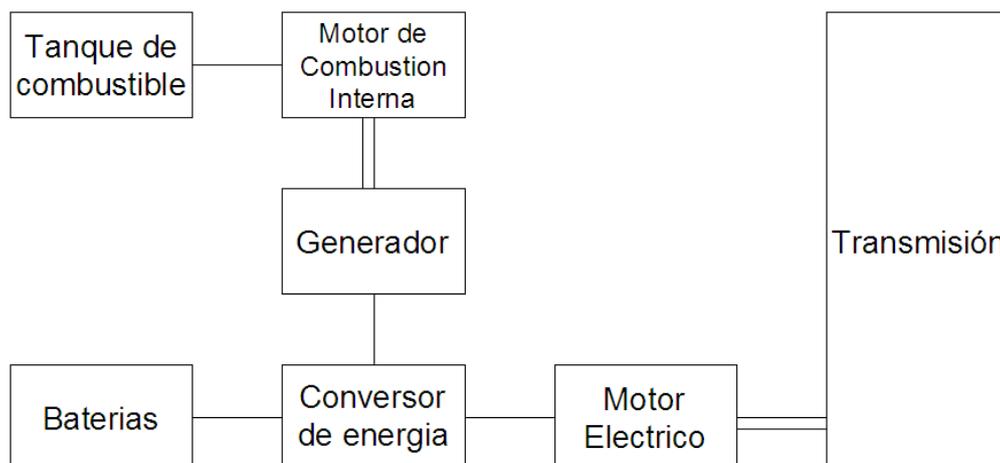
El combustible más utilizado para el motor de combustión interna es diesel, aunque también se pueden utilizar otras fuentes de energía como naftas, gas natural, biocombustibles, biogás o celdas de combustible.

Para el sistema de almacenamiento de energía se utilizan baterías de plomo-ácido, níquel-hidruro metálico o ion-litio, aunque en algunos casos también se utiliza un ultracapacitor que a diferencia de una batería convencional posee una mayor vida útil y provee una gran cantidad de energía pero por un corto período de tiempo.

Tradicionalmente, los HEV se clasificaban en dos tipos básicos: en serie o en paralelo.

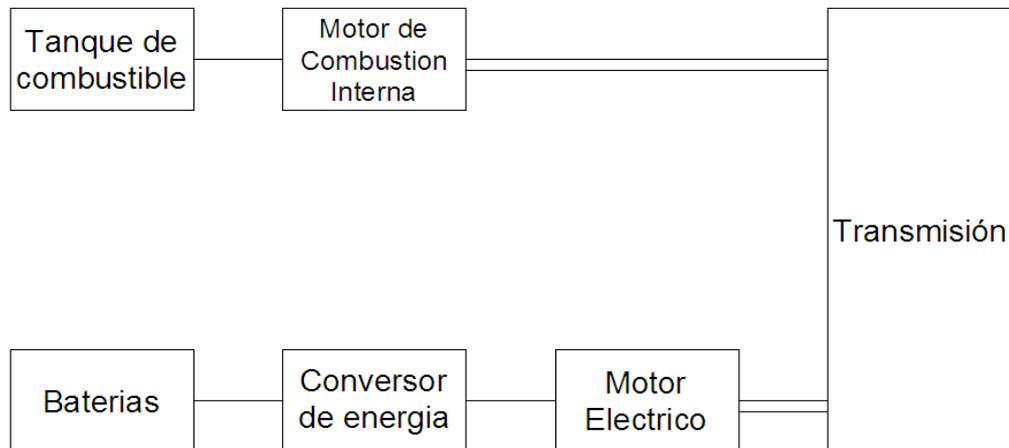
Es interesante observar que algunos HEV recientemente introducidos al mercado podrían no ser clasificados dentro de estos dos tipos; por lo tanto, los HEV se han reclasificado en cuatro tipos: [1] [2]

#### ❖ HIBRIDO SERIE,

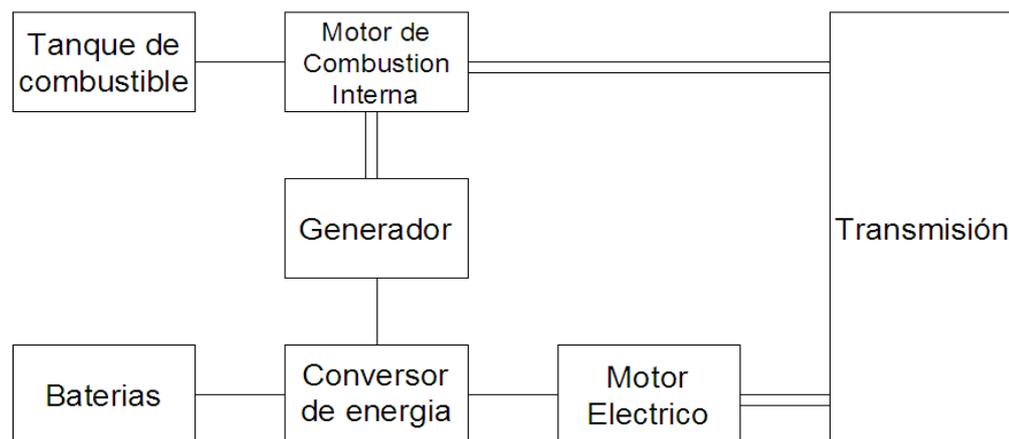




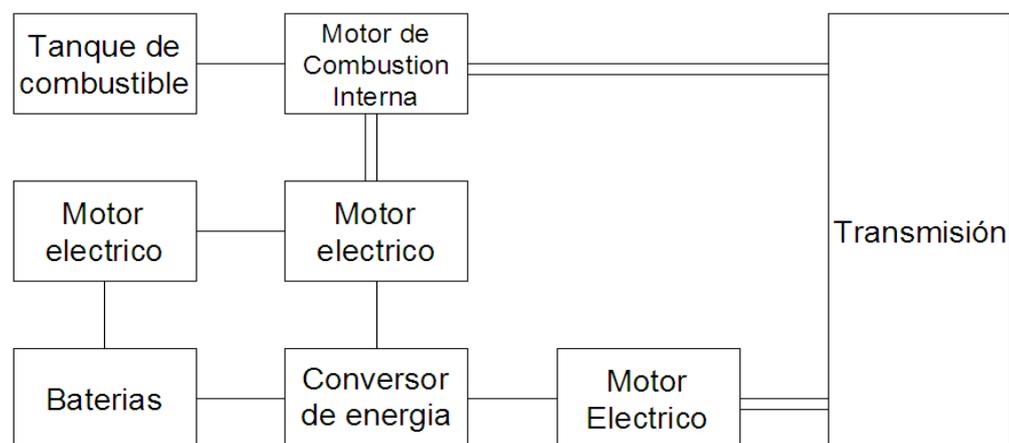
❖ HIBRIDO PARALELO,



❖ HIBRIDO SERIE - PARALELO



❖ COMPLEJO HIBRIDO





En los esquemas anteriores, se identifica la:

**Fuente de Energía Primaria** (constante) compuesta por Motor de Combustión Interna y Tanque de Combustible.

**Fuente de Energía Secundaria** (dinámica) compuesta por Motor Eléctrico y banco de Baterías.

Por supuesto, el motor de combustión interna puede ser sustituido por otro tipo de fuente de energía, como por ejemplo las celdas de combustible. Del mismo modo, las baterías pueden ser reemplazadas por supercondensadores, volantes, o sus combinaciones.

Ahora a continuación detallaremos los diferentes tipos de sistemas híbridos:

### **Sistema Híbrido Serie**

Un tren de *Transmisión Híbrido Serie* es un sistema en el cual dos fuentes diferentes de energía alimentan un único Motor Eléctrico (ME), el cual es el encargado de impulsar el vehículo, ver Figura 1-1.

Para ello, la fuente de Energía Primaria, compuesta por un MCI, es la encargada de generar la energía eléctrica suficiente tanto para asegurar una carga segura al Grupo de Almacenamiento y/o abastecer el ME en modo directo.

La fuente de *Energía Secundaria* es el Grupo de Almacenamiento o banco de baterías de donde el ME toma energía para su correcto funcionamiento.

Luego, existe una lógica de control y de potencia tanto para el Flujo de Carga entre la fuente de Energía Primaria y Grupo de Almacenamiento, y el Flujo de Descarga entre el fuente de Energía Secundaria y el Motor eléctrico.

También puede estar contemplado un ingreso de carga al Grupo de Almacenamiento por medio de la red eléctrica cuando el Vehículo Híbrido se encuentra detenido. [3]

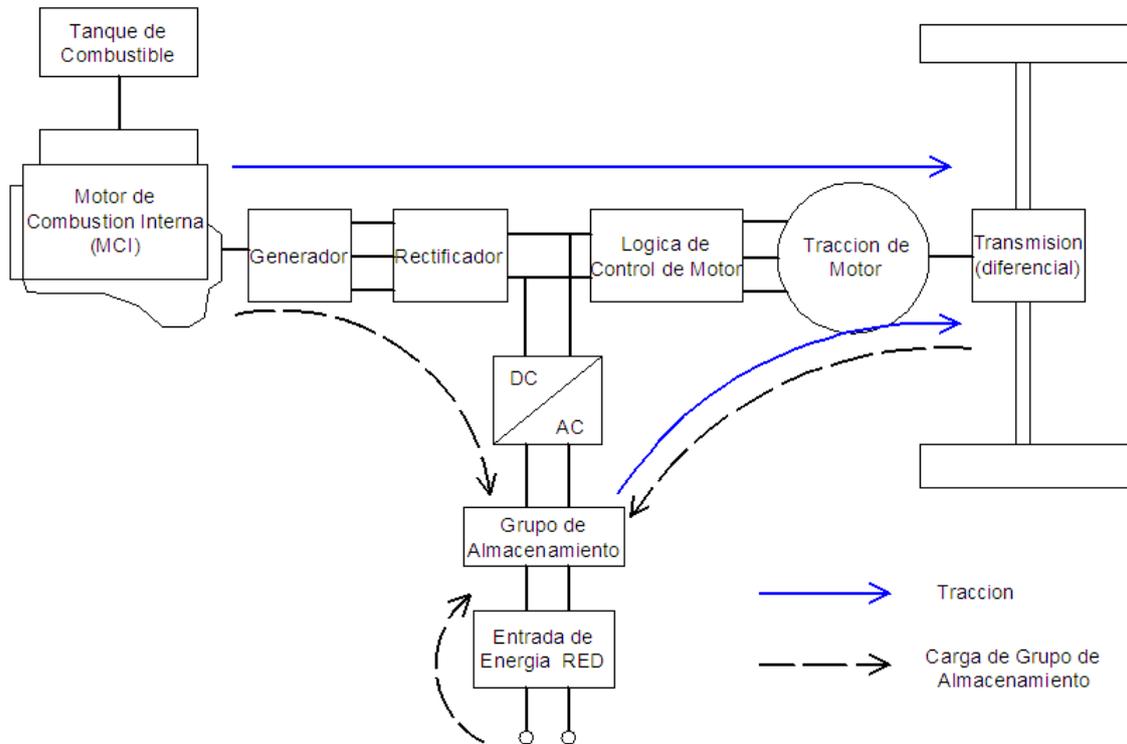


Figura 1-1

### ARQUITECTURA

La arquitectura Híbrida Serie puede ser interpretada como un solo flujo de potencia (eléctrica), el cual parte de la fuente primaria o secundaria, transitando de manera escalonada por las diferentes etapas para finalmente alimentar la unidad de tracción.

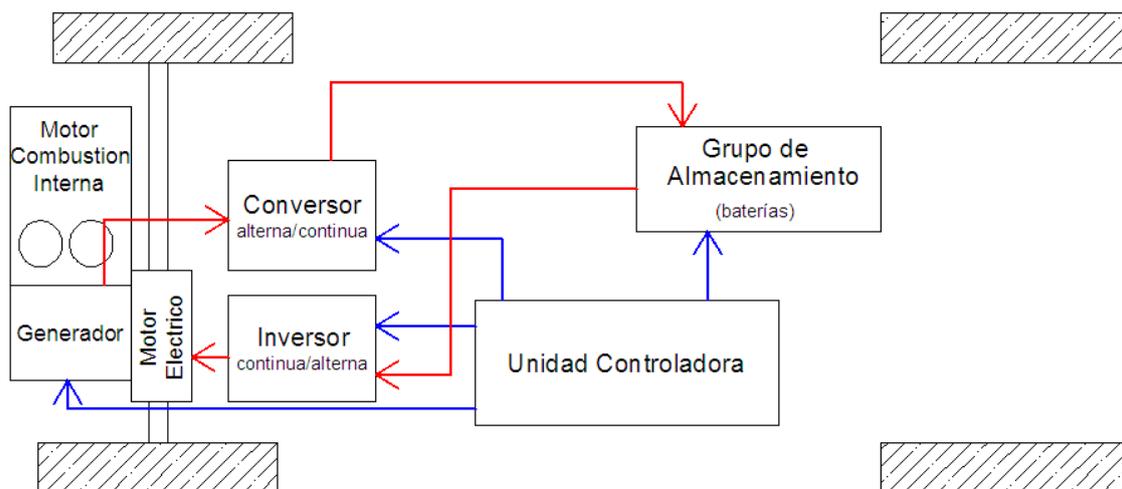


Figura 1-2

Un Sistema Híbrido tipo Serie es únicamente propulsado por el ME de potencia, mientras que el MCI es utilizado exclusivamente para producir electricidad



mediante un generador eléctrico; ésta electricidad se utiliza tanto para alimentar el motor eléctrico, así como también para almacenar energía en un banco de baterías o Grupo de Almacenamiento.

La Figura 1-2 muestra un esquema sintetizado de una arquitectura Híbrida Serie, que indica la secuencia de funcionamiento, la cual consiste en:

1. Motor de Combustión Interna (MCI)

Encargado de entregar al Generador eléctrico un numero constante de revoluciones. Se busca que el MCI trabaje al punto de máximo rendimiento, optimizando el consumo y reduciendo la emisión de gases contaminantes.

2. Generador eléctrico

Encargado de la generación eléctrica.

3. Conversor alterna/continua

Encargado de convertir y filtrar la señal entregada por el Generador eléctrico a niveles adecuados para el almacenamiento de la misma.

4. Grupo de almacenamiento (Banco de baterías)

Encargado de almacenar la energía eléctrica generada.

5. Inversor continua/alterna

Encargado de convertir la energía almacenada a los requerimientos del Motor Eléctrico de Potencia.

6. Motor Eléctrico de Potencia (transmisión).

Encargado de impulsar el vehículo.

La Unidad Controladora es la responsable de controlar los seis bloques anteriormente nombrados. Como acciones básicas podemos nombrar:

- Analizar los niveles de carga del Grupo de Almacenamiento y ejecutar la orden de encendido o apagado del MCI si fuera necesario
- Controlar que los niveles de carga sean los adecuados para no dañar el Grupo de Almacenamiento
- Responder a las exigencias de aceleración por medio de la unidad Inversora.
- Verificar el correcto funcionamiento del Motor Eléctrico.

Dependiendo del tipo de vehículo, puede poseer diferentes configuraciones, como las siguientes:



❖ *Tracción trasera con un solo ME y uso de diferencial mecánico en el eje.*

Consiste en un ME el cual es acoplado a un eje diferencial que transmite la potencia a cada una de las ruedas traseras. Los puntos a tener en cuenta son las pérdidas mecánicas de acoplamiento y transmisión, y el tamaño del motor eléctrico, debido a que en cada rueda tendrá una potencia menor a la mitad de la potencia del ME instalado.

❖ *Tracción trasera con dos ME y eje partido sin diferencial.*

En comparación al sistema anterior, es una mejora en el sentido de minimización de pérdidas mecánicas debido a que cada eje o rueda posee incorporada la unidad de potencia y dicha potencia es aproximadamente la del ME instalado. La desventaja es el costo en la cantidad de ME debido a que son dos unidades, sin embargo, estos ME son de menor tamaño que el caso anterior.

❖ *Tracción integral con un ME en cada eje.*

La configuración de Tracción Integral es una condición extrema, porque cada rueda posee un ME los cuales entregan potencia nominal al mismo tiempo. Dicho configuración no se aplica en el caso de estudio que aplicaremos más adelante.

Independientemente del sistema de tracción que se requiera, el mismo es gobernado por una Unidad de Control, que es la encargada de reproducir las intenciones del conductor del vehículo en las diversas situaciones de marcha.

**Modos de funcionamiento:**

A continuación resumiremos los diferentes modos de funcionamiento de dicha arquitectura, siempre considerando el mayor rendimiento y la menor emisión de gases contaminantes a la atmosfera Tabla 1-1.



<b>Modo</b>	<b>Características</b>
<b>Electrico Puro</b>	* Motor de Combustion Interna (MCI) - <b>Apagado</b>
	* Grupo de Almacenamiento - <b>Activo</b>
	* Modo de Frenado Regenerativo - <b>Activo</b>
<b>Directo</b> (sin Grupo de Almacenamiento)	* Motor de Combustion Interna (MCI) - <b>Activo</b>
	* Grupo de Almacenamiento - <b>Desactivado</b> ( queda en modo carga)
	* Modo de Frenado Regenerativo - <b>Activo</b>
<b>Híbrido</b>	* Motor de Combustion Interna (MCI) - <b>Activo</b>
	* Grupo de Almacenamiento - <b>Activo</b>
	* Modo de Frenado Regenerativo - <b>Activo</b>

**Tabla 1-1**

**Ventajas de la Transmisión Híbrida Serie:**

- el Motor de Combustión Interna (MCI) se desacopla de las ruedas motrices, por lo tanto: [4]
- se puede operar en cualquier punto de su curva característica de velocidad-par de torsión.
- usados en el punto de mayor rendimiento, la eficiencia y las emisiones de gases se pueden mejorar aún más.
- ahorro de combustible fósil.
- uso de motores de menor potencia.
- mayor vida útil de dichos motores.

Debido a que los motores eléctricos tienen características casi ideales par-velocidad, que no necesitan transmisiones engranajes múltiples [5][6]. Por lo tanto, la construcción se simplifica en gran medida y el costo se reduce.



### **Desventajas de la Transmisión Eléctrica Híbrida Serie: [7]**

La energía del motor se convierte dos veces: mecánica a eléctrica en el Generador eléctrico y eléctrica a mecánica en el ME de tracción. Las ineficiencias del Generador eléctrico y el ME de tracción se suman y las pérdidas pueden ser significativas.

El generador aumenta el peso y el costo adicional.

El motor de tracción debe ser de un tamaño acorde a la máxima exigencia, ya que es el único motor que propulsa el vehículo.

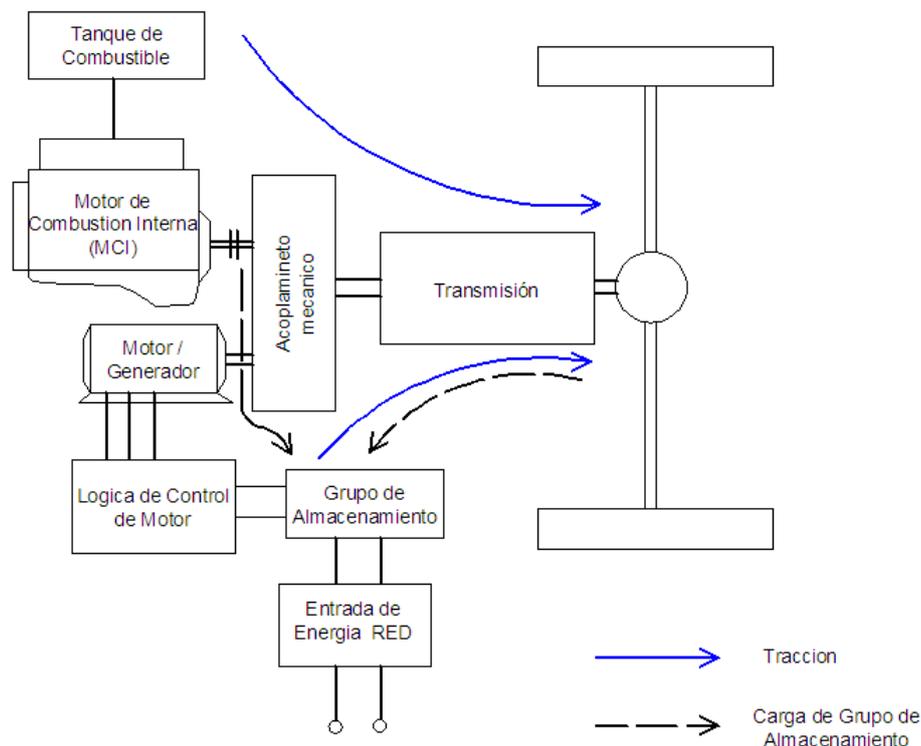
### **Sistema Híbrido Paralelo [3] [9]**

Un tren de *Transmisión Híbrido Paralelo* es un sistema en el cual dos Flujos de Potencia diferentes (mecánico ó eléctrico) pueden impulsar el vehículo.

Para el caso en que utilice un Flujo de Potencia Mecánico, el vehículo será impulsado mediante el MCI, como es en la actualidad, con la variante que el Motor-Generador Eléctrico (M/GE) acoplado en el sistema de transmisión será el encargado generar la energía eléctrica suficiente para asegurar una carga segura al Grupo de Almacenamiento

En cambio, si el vehículo es impulsado con Flujo de Potencia Eléctrico, el M/GE trabajará como motor de tracción, abastecido por el Grupo de Alimentación. El MCI se encontrará apagado y por lo tanto no generará emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

Ambos Flujos de Potencia se encuentran vinculados mecánicamente según se puede apreciar en el esquema de la Figura 1-3.



**Figura 1-3**

### **Arquitectura**

- ✓ Grupo de almacenamiento (baterías)

El principio de funcionamiento de un Sistema Híbrido Paralelo es algo más complejo que un Sistema Híbrido Serie, debido que tanto el MCI como el Motor/Generador (M/GE) pueden transmitir a las ruedas potencia mecánica. Dentro de las diversas variantes que existen y que luego serán explicadas, nos centraremos en desarrollo del caso más general del funcionamiento de dicho Sistema.

Sobre la base de la Figura 1-3, se determinan dos flujos de potencia, el primero de Potencia Mecánica, el cual es proporcionado por el MCI, como un vehículo convencional. Aquí el MCI trabaja en zonas variadas, las cuales se encuentran lejos de la condición óptima (menor consumo y emisiones de gases tóxicos). Dentro de esta configuración, el M/GE trabaja como Generador, por lo tanto la energía generada pasa por el Conversor alterna/continua para que pueda ser almacenada en el Grupo de Almacenamiento.

El segundo, Flujo de Potencia Eléctrico, el cual tiene su inicio en el Grupo de Almacenamiento. Aquí, el funcionamiento es netamente eléctrico y a diferencia del Sistema Serie, el MCI es apagado y tanto la emisión de gases como el consumo de combustible es nulo. El M/GE ahora trabaja como motor, impulsando el vehículo, la Unidad de Almacenamiento es la encargada de entregar la potencia



eléctrica necesaria indicada por el conjunto Unidad Controladora – Inversor continua/alterna, según las exigencias del operador del vehículo.

Cabe aclarar que la carga de las baterías de del Grupo de Almacenamiento puede ser realizada mediante el Flujo Primario (Potencia Mecánica) como ya fue explicado o por el suministro de la red eléctrica como un sistema de carga especialmente diseñado.

La Figura 1-4 muestra un esquema sintetizado de una arquitectura Híbrida Paralelo, donde indica la secuencia de funcionamiento la cual consiste en:

1. Motor de Combustión Interna (MCI)

Encargado de entregar al Generador eléctrico un numero constante de revoluciones. Se busca que el MCI trabaje al punto de máximo rendimiento, optimizando el consumo y reduciendo la emisión de gases contaminantes.

2. Motor / Generado Eléctrico de Potencia M/GE (transmisión).

Encargado de generar energía eléctrica para la carga del Grupo de Almacenamiento o impulsar el vehículo, dependiendo el modo de utilización.

3. Conversor alterna/continua

Encargado de convertir y filtrar la señal entregada por el M/GE a niveles adecuados para el almacenamiento de la misma.

4. Inversor continua/alterna

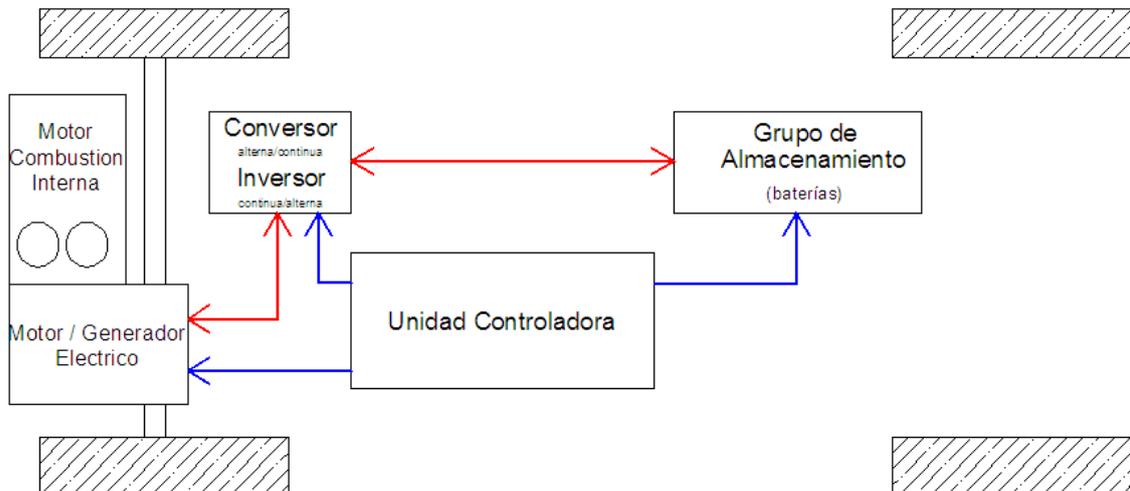
Encargado de convertir la energía almacenada a los requerimientos del M/GE de Potencia.

5. Grupo de almacenamiento (Banco de baterías)

Encargado de almacenar la energía eléctrica generada.

La Unidad Controladora es la responsable de controlar los cinco bloques anteriormente nombrados. Como acciones básicas podemos nombrar:

- Analizar los niveles de carga del Grupo de Almacenamiento y optar por el tipo de Potencia a utilizar (mecánica ó Eléctrica)
- Controlar que los niveles de carga sean los adecuados para no dañar el Grupo de Almacenamiento
- Responder a las exigencias de aceleración por medio de la unidad Inversora.
- Verificar el correcto funcionamiento del Motor Eléctrico.
- Identificar el modo de funcionamiento el cual optimice mayor rendimiento y menor emisiones de gases contaminantes.



**Figura 1-4**

En sistemas híbridos en paralelo es útil definir una variable llamada “grado de hibridación”, de acuerdo con lo siguiente: [8] [3].

$$DOH = \frac{P_{motor\ electrico}}{P_{motor\ electrico} + P_{motor\ combustion}}$$

Donde:

$DOH$  :Grado de Hibridación

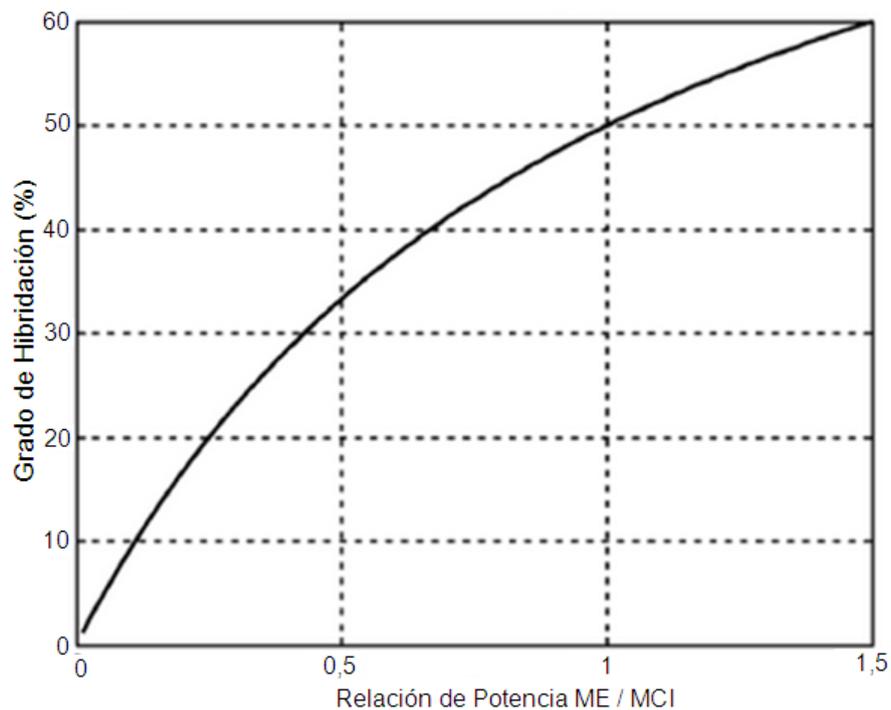
$P_{motor\ electrico}$  :Potencia M / GE

$P_{motor\ combustion}$  : Potencia MCI

Entidades como la Junta de Recursos del Aire de California (California Air Resources Board (CARB)), consideran éste indicador de utilidad a la hora de comparar entre diferentes modelos de vehículos con el mismo tipo de hibridación.

Siendo  $DOH=0$  un vehículo convencional a combustión interna y  $DOH=1$  un vehículo totalmente eléctrico.

Para un vehículo híbrido (HEV) el grado de hibridación se encuentra comprendido entre valores superiores a cero e inferiores a la unidad ( $0 < DOH < 1$ ), en la Figura 1-5 se muestra la curva típica de grados de hibridación para vehículos híbridos (HEV) en función a la relación de potencias motor eléctrico/combustión interna.



**Figura 1-5**

Por lo tanto, mayor grado de hibridación (50-60%), se traduce en un MCI de menor potencia, lo cual reduce las emisiones de gases contaminantes y facilita su operación cerca de su óptimo rendimiento durante una mayor proporción del tiempo de trabajo y esto sólo puede llegar a ser posible si hay suficiente almacenamiento de energía eléctrica para sostener la demanda eléctrica máxima durante la aceleración del vehículo.

Es decir, la cantidad de energía eléctrica que debe ser procesada con el fin de cumplir los objetivos de aceleración del vehículo depende de la potencia M/GE y la capacidad del sistema de Almacenamiento de Energía para suministrar la energía necesaria.

### **Sistema de Transmisión en HEV Paralelo**

La arquitectura Híbrida Paralelo posee una ventaja importante frente al Híbrido Serie y es su gran versatilidad en la adaptación en chasis existentes con poca inversión, lo que ha llamado la atención de grandes constructores de la industria automotriz y ha generado un desarrollo importante en dicha tecnología.

Dos puntos importantes a destacar son: el *Tipo de Acople* entre ambos Flujos de Potencia y el *Tipo de sistema de Caja de Velocidad*.



### Tipo de Acoplamiento entre Flujos de Potencia [3]

Existen dos configuraciones de acoplamiento de ambos Flujos de Potencia, los cuales pueden ser por Acoplamiento de Par o por Acoplamiento de Velocidad.

Debido a que el trabajo se encuentra centrado a Vehículos Híbridos de gran porte para transporte de pasajeros los cuales la velocidad de trabajo son reducidas y no supera los 60 km/h, no se analizará el Acoplamiento de Velocidad

### Acoplamiento de Par

La Figura 1-6 muestra conceptualmente un acoplador de par mecánico, donde las entradas al sistema son los pares de torsión del *Motor de Combustión Interna* y el *Motor/ Generador Eléctrico*, la salida dependerá de la configuración de dicho acoplamiento regidas por las variables  $k_1$  y  $k_2$ .



**Figura 1-6**

Si las pérdidas se ignoran, el par o torque y la velocidad de salida se pueden expresar como:

$$T_{Salida} = k_1 \cdot T_{MCI} + k_2 \cdot T_{M/GE}$$

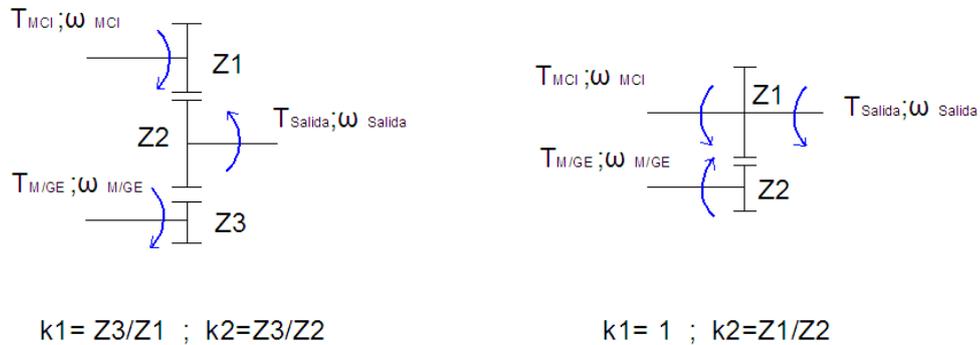
$$\omega_{Salida} = \omega_{MCI} = \omega_{M/GE}$$

donde:

$k_1$  y  $k_2$  son constantes determinadas por parametros intrinsecos del acoplamiento mecanico.

Los acoplamientos mecánicos comunmente utilizados en la industria son por medio de Engranajes ó Correas. En las Figura 1-7 y Figura 1-8 se muestra de manera general valores estimados de constantes  $k_1$  y  $k_2$ .

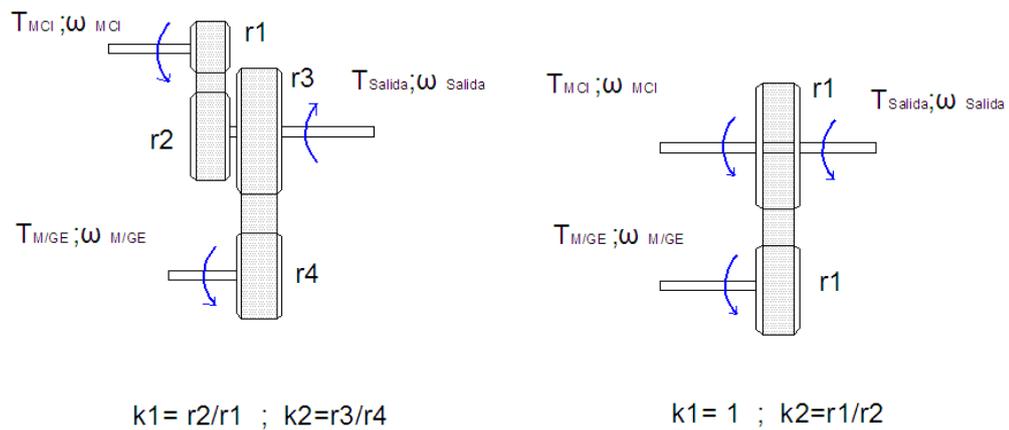
- Caja de engranajes



$Z_1, Z_2$  y  $Z_3$  : N° de dientes de los engranajes.

**Figura 1-7**

- Correa dentada



$r_1, r_2, r_3$  y  $r_4$  : Radio de la polea.

**Figura 1-8**

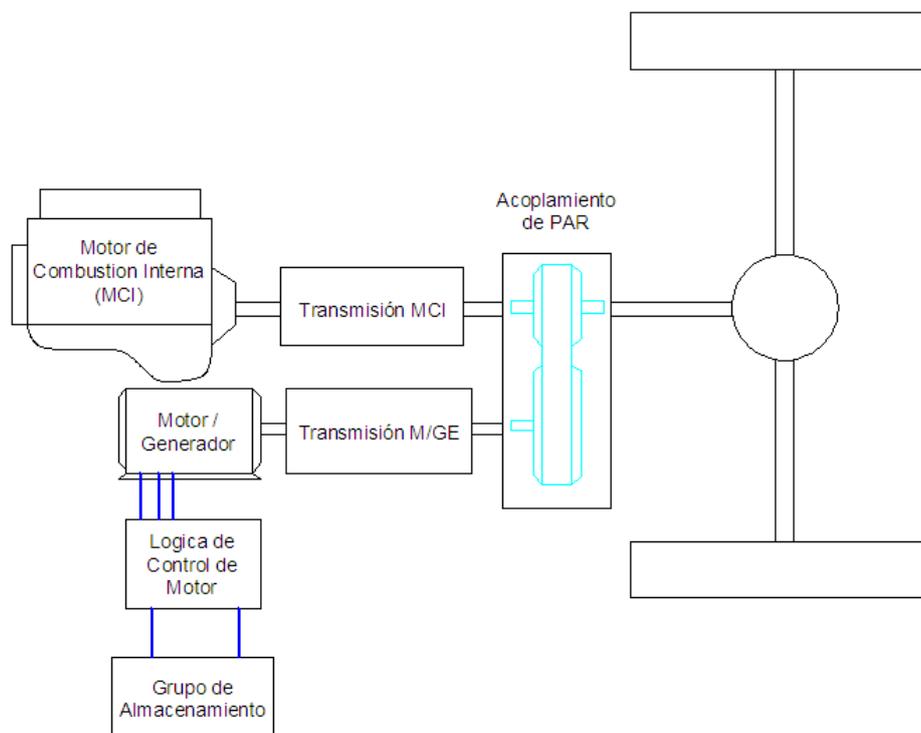
### Acople sistema de Caja de Velocidades

De manera conceptual a continuación se presentan los esquemas de acople más difundidos en la construcción de Vehículos Híbridos Paralelo.

#### Con Caja de Velocidad ubicada antes del acoplamiento de Par

En la Figura 1-9 se expone un diseño en el que se utilizan dos Cajas de Velocidades; las cuales se encuentran previas al acoplamiento de Par y después de cada motor (MCI y M/GE).

Ambas Cajas de Velocidades pueden estar conformadas con un único o varios engranajes.



**Figura 1-9**

Esta configuración permite cuatro combinaciones diferentes de Cajas de Velocidades las cuales son:

- Dos Cajas de Velocidades de multiengranajes

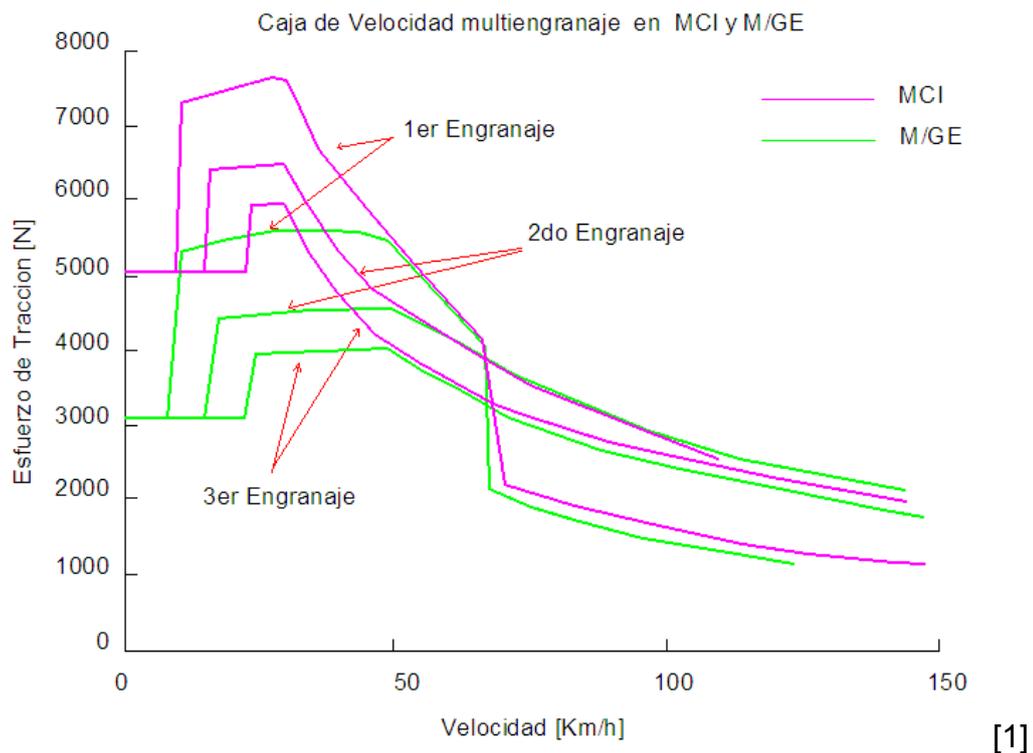
Para el diseño con dos Cajas de Velocidades con multiengranaje, resultan perfiles de Par-velocidad de tracción interesantes. El rendimiento y la eficiencia general de la transmisión es ciertamente superior a cualquiera de los otros diseños,

debido a que dos transmisiones multiengranajes proporcionan más oportunidades para el sistema de tracción tanto el MCI y M/GE, para operar en su región óptima

Este diseño también proporciona una gran flexibilidad en el diseño del MCI y de las características del M/GE.

Sin embargo, dos transmisiones multiengranaje complicarán significativamente la transmisión.

Perfiles de esfuerzo-velocidad de tracción Figura 1-10.



**Figura 1-10**

- Con Cajas de Velocidad mixta

Con Caja de Velocidad multiengranajes para el MCI y de un engranaje para M/GE, tiene la ventaja de la alta característica de par de la máquina eléctrica a bajas velocidades. La Caja de Velocidad multiengranaje se utiliza para superar las desventajas de las características de par-velocidad del MCI. La transmisión multiengranaje también tiende a mejorar la eficiencia del motor y reduce el rango de velocidad del vehículo.

En contraste con el diseño anterior, con Caja de Velocidad de un engranaje para el MCI y multiengranaje para el M/GE. Esta configuración se considera que es un diseño desfavorable, debido a que no utiliza las ventajas de ambas fuentes de energía



Perfiles de esfuerzo-velocidad de tracción Figura 1-11 y Figura 1-12.

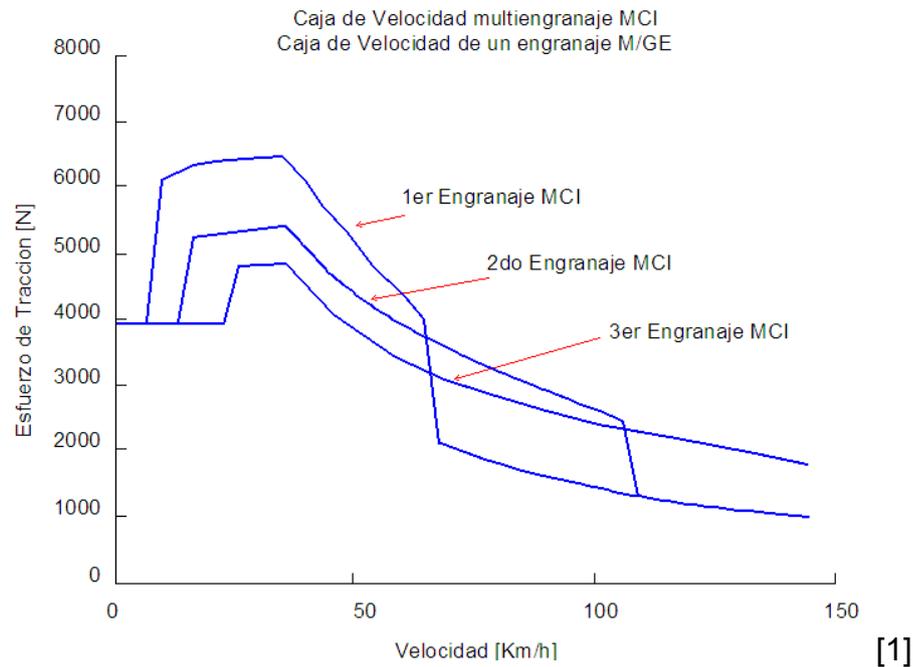


Figura 1-11

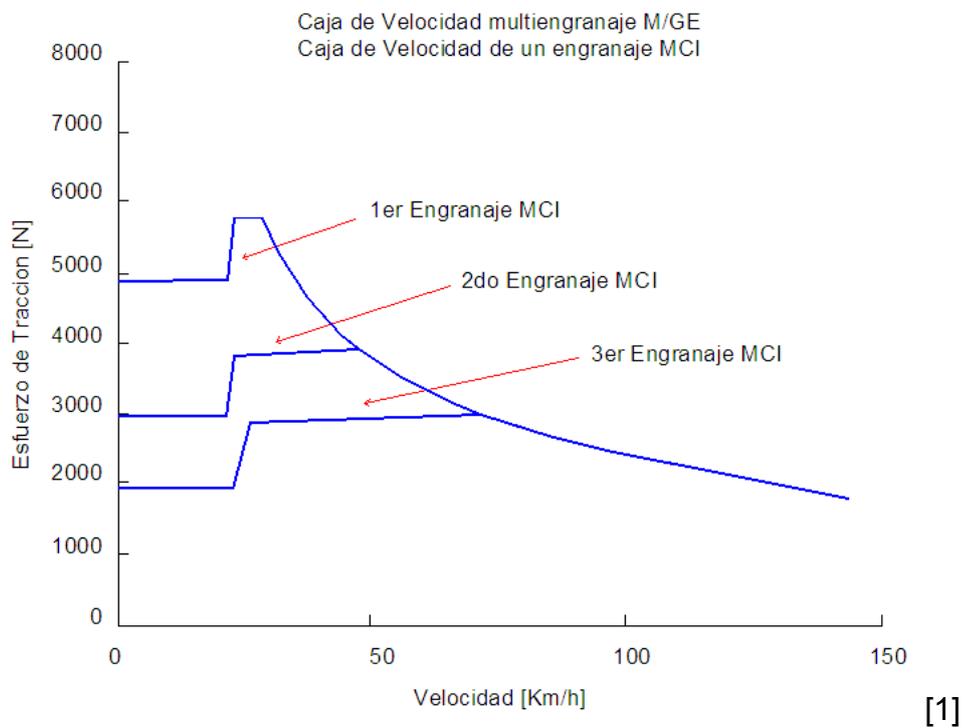


Figura 1-12

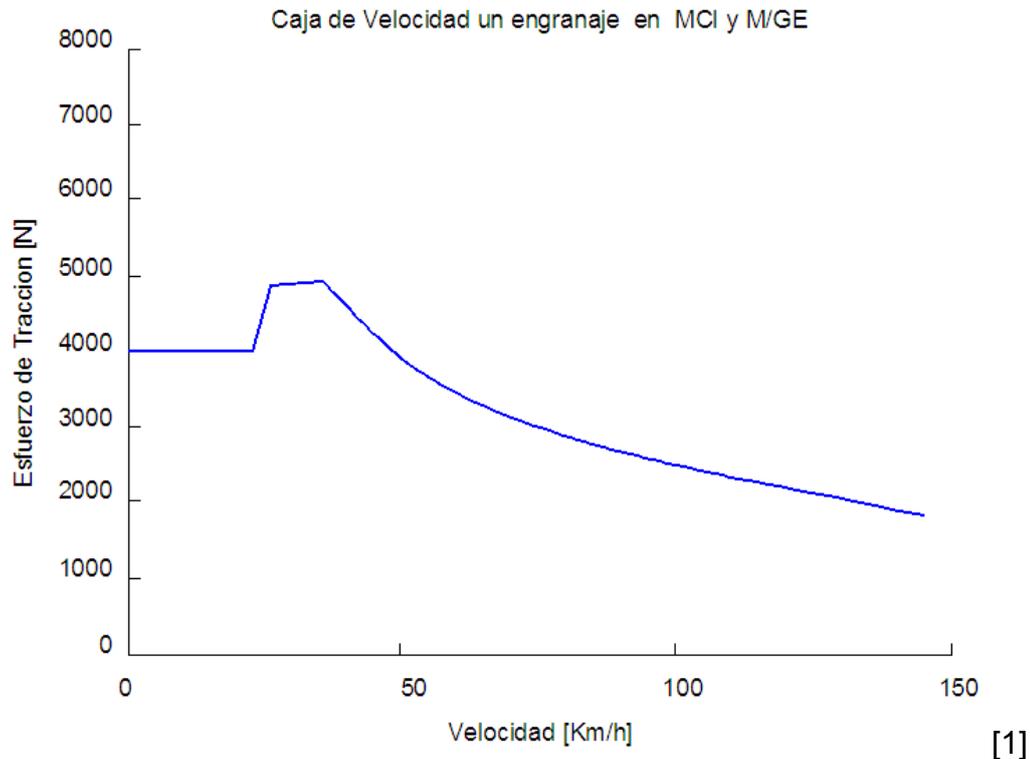
- Dos Cajas de Velocidades de un solo engranaje



Esta disposición se traduce en una configuración simple y de control.

La limitación a la aplicación de éste tren de transmisión es **el requisito par máximo**.

Perfil de esfuerzo-velocidad de tracción Figura 1-13.

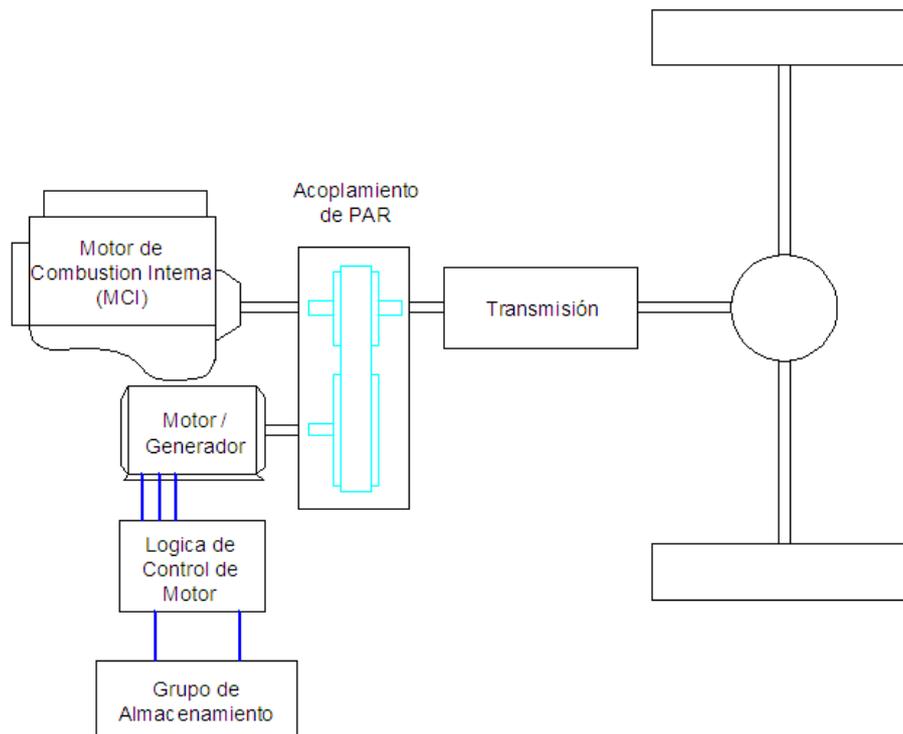


**Figura 1-13**

### **Con Caja de Velocidad ubicada luego del acoplamiento de Par**

Otra configuración de la cadena de tracción híbrida en paralelo se muestra en la Figura 1-9, en la que la transmisión se encuentra entre el acoplador de Par y el eje diferencial. La función de la Caja de Velocidad es aumentar el par tanto del MCI como del M/GE con la misma escala. El diseño de la constante K1 y K2 en el acoplamiento de par permite que el motor eléctrico tenga un rango de velocidad diferente que el motor MCI, por lo tanto, un motor eléctrico de alta velocidad podría ser utilizado.

Esta configuración sería adecuada cuando se desea reducir la potencia (tamaño) del MCI y aumentar la del motor eléctrico, donde se necesita una transmisión multiengranaje para mejorar el esfuerzo de tracción a velocidades bajas.



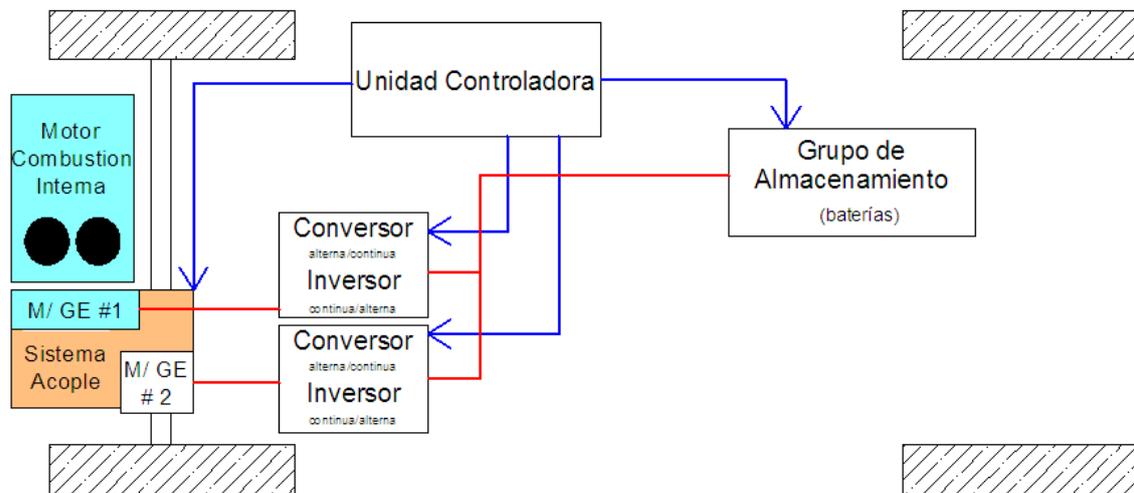
**Figura 1-14**

### **Sistema Híbrido Serie-Paralelo** [1] [3] [10]

La arquitectura Serie- Paralelo, como así lo indica el nombre, es una fusión de ambas tecnologías. Debido al gran interés que se tiene por el cuidado del medio ambiente y en vista de lograr un mayor rendimiento, diversos fabricantes de vehículos híbridos han desarrollado múltiples sistemas de acople entre estas tecnologías.

Por esta razón, debido a la vasta información presente, es oportuno tomar el sistema de acople más general para explicar la esencia de esta arquitectura.

En la Figura 1-15 se muestra un esquema generalizado de una arquitectura Híbrida Serie-Paralelo, la cual consiste en ocho bloques fundamentales.



**Figura 1-15**

Los cuales son:

- ✓ Motor de Combustión Interna (MCI)
- ✓ Generador/ Motor 1 (CA)
- ✓ Generador/ Motor 2 de tracción eléctrica (CA)
- ✓ Acople engranaje epicicloide
- ✓ Conversor/Inversor M/GE #1
- ✓ Conversor/Inversor M/GE #2
- ✓ Unidad Controladora
- ✓ Grupo de almacenamiento (baterías)

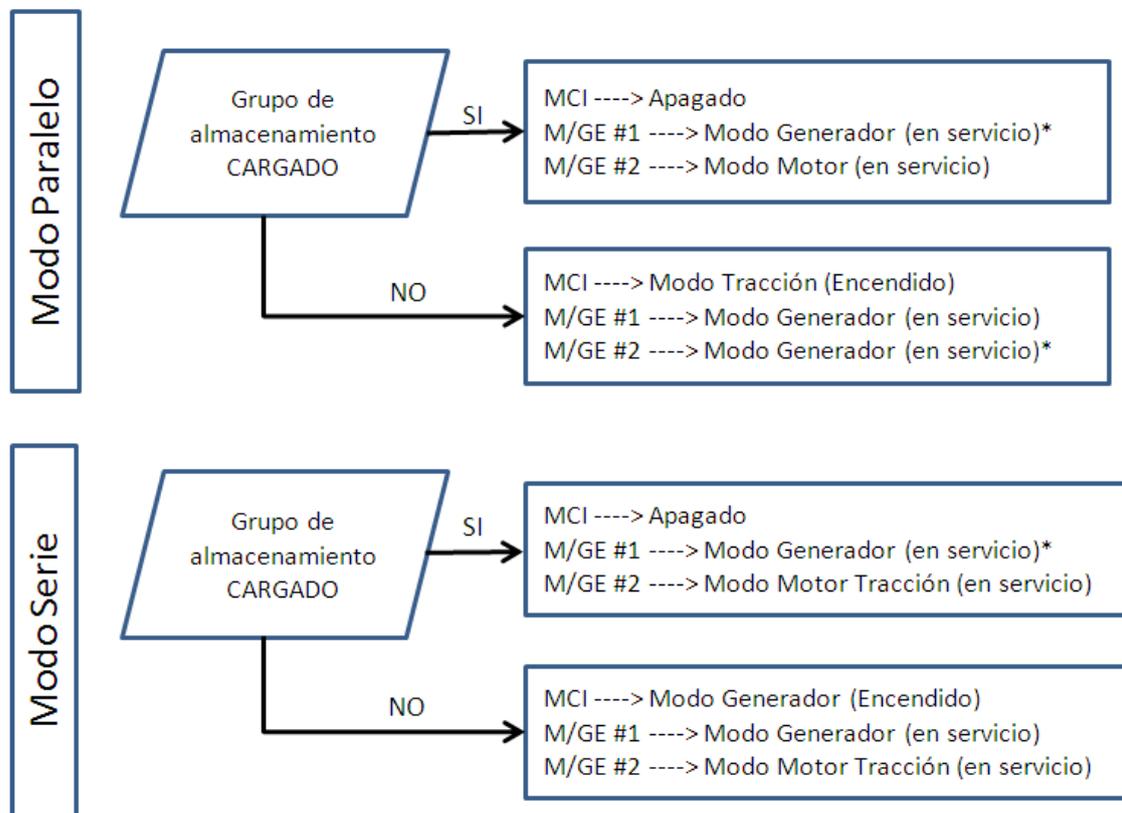
Por lo tanto, los modos de manejo de éste vehículo son más complejos que los presentados anteriormente.

Si el vehículo transita en modo Paralelo, la configuración de Tracción puede ser llevada a cabo ya sea mediante Potencia Mecánica o Eléctrica, en éste sentido estarían funcionando el MCI o el M/GE#2 respectivamente.

En el caso que transite en modo Serie, la configuración de Tracción es puramente Eléctrica gobernada por el M/GE #2.

A modo de resumen se presenta la Figura 1-16

### Sistema Híbrido Serie-Paralelo



**Figura 1-16**

#### Sistemas de acoples entre MCI, M/GE #1 y M/GE #2.

A modo general presentaremos las configuraciones de acoples existente entre diferentes tecnologías (Serie y Paralelo), como así también entre el Motor de Combustión Interna y el Motor/Generador correspondiente. Por lo tanto:

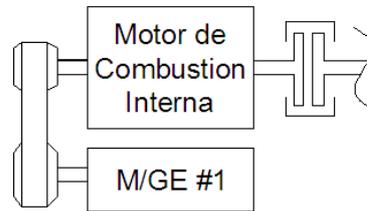
##### **1. Acople entre MCI y M/GE #1 [10]**

Como se indica, tanto el MCI y el M/GE1 funcionan en conjunto, entregando al sistema híbrido una Potencia Eléctrica acorde para la carga del Grupo de Almacenamiento y a su vez Potencia Mecánica al tren de transmisión. En éste caso, el vehículo híbrido está trabajando como un vehículo convencional a explosión, pero la diferencia está que en vez de tener acoplado un alternador para cargar la batería convencional, se adapta el M/GE #1 de tamaño acorde a la potencia eléctrica requerida para suministrar carga al Grupo de Almacenamiento.

- por correa

En este sistema de acople mediante correa Figura 1-17, en la mayoría de los casos se adapta la polea del alternador original al nuevo sistema para el M/GE #1.

En estos casos se debe considerar que M/GE #1 cumpla los requerimientos de Potencia entregados por le Alternador original.



**Figura 1-17**

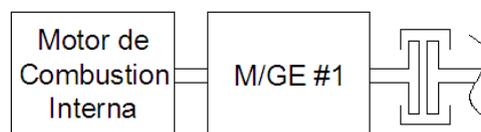
Haciendo un balance de potencia mecánica en forma general, debemos asegurar que la Potencia Mecánica entregada del MCI sea mayor que la suma de la potencia necesaria para mover el vehículo y la potencia para que el M/GE #1 cumpla con su función. Por lo tanto, se debe cumplir que:

$$\text{Potencia Mecánica MCI} = \text{Potencia Mecánica Requerida M/G \#1} + \text{Máxima Potencia Mecánica Requerida TRACCIÓN} + \text{Pérdidas}$$

Las pérdidas, deben ser minimizadas al máximo para lograr una reducción en el tamaño del MCI o aumentar la potencia de tracción manteniendo el tamaño del MCI.

- de eje común [10]

En este tipo de acople, el eje del M/GE #1 se encuentra solidario al eje de salida (cigüeñal) del el MCI, Figura 1-18. Como resultado, se minimizan las pérdidas mecánicas en relación al sistema de acople anterior, pero en desventaja, los trabajos de adecuación a un eje solidario, dan como resultado una inversión inicial mucho mayor.



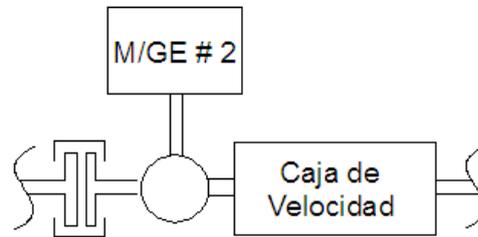
**Figura 1-18**

## 2. Acople entre Grupo MCI-M/GE#1 y M/GE#2 [10]

Otro de los problemas que trae aparejado el sistema híbrido serie-paralelo es el acople entre dichas tecnologías.

- Acople previo a Caja de Velocidad [1]

Dicho acople se realiza previo a la entrada de potencia mecánica a la Caja de Velocidad Figura 1-19.



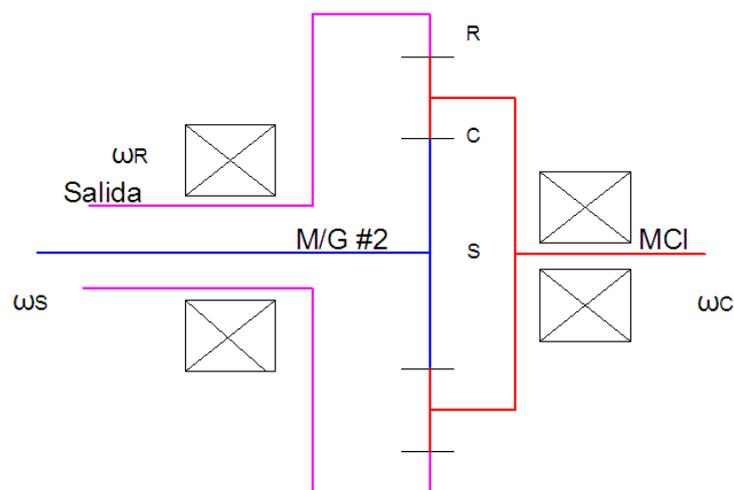
**Figura 1-19**

El eje del M/GE #2 junto con el eje de salida del Grupo MCI-M/GE#1, se vinculan mecánicamente mediante un tren de engranajes epicicloide, el cual facilita el ingreso de potencia mecánica a la Caja de Velocidad.

En este dispositivo de engranajes de dos entradas y una salida se puede explicar de la siguiente manera: un engranaje central "S" solidario al eje de salida de M/GE #2 (entrada 1) transmite el movimiento rotativo a cuatro piñones satélites que giran en sentido contrario a "S", unidos a un engranaje portador "C", los cuales son solidarios a la salida del eje de MCI (entrada 2).

Por último, los piñones unidos al portador están diseñados para engranar con el engranaje exterior "R" (engranaje interior), representando la salida del sistema de engranaje el cual se transmite a las ruedas del vehículo.

En la Figura 1-20, se muestra el tren de engranaje epicicloide.



**Figura 1-20**

Por lo tanto, el ingreso de cualquiera de las dos máquinas es totalmente automático mediante una lógica de control pre- establecida, entonces el vehículo puede trabajar en el Modo Eléctrico Puro o Convencional Puro.

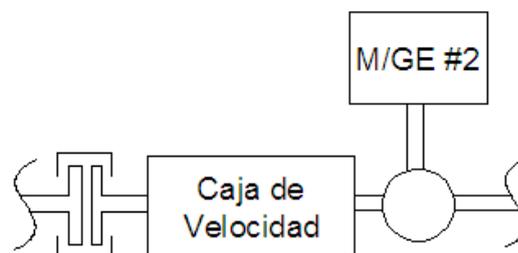
Con respecto modo de conducción, este sistema no varía con que máquina trabaje, ambas deben poseer la misma característica de régimen de revoluciones/potencia mecánica, ya que comparten la caja de velocidades.

Cabe aclarar que, si el vehículo funciona en Modo Eléctrico, la generación de energía no es posible, salvo en la situación de un sistema de acople MCI-M/GE #1 de eje común, *con la modificación de embriague automático entre MCI-M/G1*, donde el M/GE #1 queda independiente del MCI y toma la Potencia Mecánica de M/GE#2 por la relación de transmisión que hubiese.

**Aquí como desventaja existe que la Potencia Mecánica entregada a la transmisión se ve disminuida.**

- Acople posterior a Caja de Velocidad [1]

El eje del M/GE #2 junto con el eje de salida de la Caja de Velocidad Figura 1-21, se encuentran vinculados mediante un tren de engranajes epicicloide (ver punto anterior), el cual facilita el ingreso de potencia mecánica



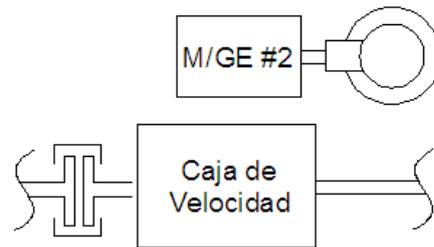
**Figura 1-21**

Este sistema es interesante debido que los modos de funcionamiento pueden llegar a ser más diversos que el sistema de Acople previo a Caja de Velocidad, dado que, si se decide que trabaje en modo Eléctrico Puro, la forma de desacople con el MCI es colocando en punto Neutro la Caja de Velocidad.

Un punto a favor, es que es posible que el MCI, siga en funcionamiento, en el régimen de máximo rendimiento (como la configuración Serie), lo cual posibilita la carga al Grupo de Almacenamiento y el vehículo funcionando eléctricamente entregando la máxima Potencia Mecánica.

- Acople independiente (4 WD) [11]

En cuanto a esta configuración, el modulo de M/GE #2 de tracción se independiza totalmente del tren MCI-M/GE #1, ubicándose con un sistema de propulsión independiente Figura 1-22.



**Figura 1-22**

Por lo cual, ésta configuración puede ser implementada por un sistema Híbrido Paralelo en los ejes Traseros y un sistema Híbrido Serie en el delantero o viceversa, dependiendo la necesidad de trabajo.



### **Grupo de Almacenamiento de Energía**

El Grupo de Almacenamiento de Energía es sin duda uno de los componentes más importantes dentro del esquema de funcionamiento de un Vehículo Híbrido.

Las desventajas que poseen los Grupos de Almacenamiento actuales son el peso excesivo con respecto al peso total de la unidad, elevado volumen ocioso, alto costo y ciclo de vida útil reducido. Estas desventajas se ven reflejadas en el costo final de la unidad híbrida lo cual hacen que los HEV dejen de ser competitivos en el mercado actual.

En la actualidad, no existe una tecnología en sistemas almacenamiento eficiente que acompañe el gran avance de la mecánica de los HEVs, por ello países como Alemania y Estados Unidos se encuentran en desarrollo nuevas tecnologías que maximicen la autonomía en el modo eléctrico.

### **Características de Grupos de Almacenamiento**

Para aplicaciones de HEV de transporte, es necesario que el Grupo de Almacenamiento sea capaz de almacenar gran cantidad de energía por unidad de masa y también de poder entregar ésta energía en muy poco tiempo, en particular durante la aceleración del vehículo.

A continuación se muestra una breve descripción de estas características [12]

**Energía específica [Wh / km]:** es un factor importante en la determinación de la autonomía del vehículo, debido que es la cantidad total de energía en Watt-hora (Wh) que la batería puede almacenar por kilogramo de la masa para un régimen específico de descarga.

**Densidad de energía [Wh / litro]:** es la cantidad total de energía (en Wh) que una batería puede almacenar por litro de su volumen a un régimen determinado de carga.

**Potencia específica o densidad de potencia [W/Kg]:** es un factor importante para determinar la aceleración, debido a que es el número máximo de Watt por kilogramo que una batería suministra a un régimen específico de descarga. La Potencia específica se mide generalmente en el 80% de descarga.

**Amper Hora [Ah]:** indica la cantidad máxima cantidad de corriente que pueden ser entregada por una batería en el lapso de una hora en un ciclo de carga.

**Ciclo de Vida:** El ciclo de vida es la medida del número total de veces que una batería puede descargarse y cargarse durante su vida. Cuando la batería ya no puede mantener una carga superior al 80%, su ciclo de vida se considera terminado.

**Costo de la batería.** El costo se expresa en unidades monetarias, por kilowatt-hora (kWh).



**La relación Potencia/ Energía (P/E):** La relación P/E indica la Potencia por unidad de Energía que es requerida para la aplicación determinada. [13] [14]

Los parámetros de potencia se encuentran definidos por la cinética de las reacciones electroquímicas, el espesor y superficie de los electrodos, la resistencia interna de las celdas y el tamaño y arquitectura interna de las baterías. Sin embargo, está claro que para ser capaces de recorrer largas distancias y para que los vehículos puedan ser capaces de acelerar con rapidez, las baterías deben ser tan poderosas y livianas como sea posible.

### **Requerimientos eléctricos de Vehículos Híbridos y Eléctricos**

A continuación se analizarán las características principales de ambas tecnologías de cara a los requerimientos energéticos. Así permitirá identificar cuál es el tipo de Grupo de Almacenamiento más aconsejable para un Vehículo Híbrido.

Entonces:

- Los Vehículos Eléctricos puros están limitados por las distancias que pueden recorrer antes que las baterías se descarguen y necesiten ser recargadas (ciclos profundos de descarga). Dicha distancia está determinada por la Energía Específica del Grupo de Almacenamiento.

En la Tabla 1-2 muestra que la energía específica de GdA varía entre 30 Wh/kg para Plomo-Ácido a 150Wh/kg para Litio.

La baterías de Plomo-Acido son relativamente más baratas y poseen una construcción más robusta, y son utilizadas para recorridos de distancias reducidas (ya que dichas baterías son pesadas, mucha de la energía es usada para el transporte de masa de batería).

La relación Potencia/ Energía (P/E) para Vehículos Eléctricos es del orden de 2. En tanto la capacidad de la GdA es aproximadamente de 40 kWh [13][14].

- Los Vehículos Híbridos (HEV), combinan el Grupo de Almacenamiento y el motor de combustión interna, lo cual resulta un sistema interesante en el sentido que posee un sistema de auto-abastecimiento. La energía producida a través del frenado regenerativo también puede ser usada para la carga de las baterías.

A diferencia de los Vehículos Eléctricos puros, en los cuales las baterías son descargadas completamente y causan un impacto totalmente negativo en el ciclo de vida de la misma, las baterías de los HEV se encuentran sujetas a ciclos de cargas y descargas poco profundos durante su operación,



permitiendo de este modo una gran cantidad de ciclos y una prolongada vida útil de las mismas. Debido a las características de estos ciclos, las GdA de HVE necesitan más Potencia que Energía, resultando un valor de P/E elevado que varía de 15 a 20. La capacidad del GdA es relativamente pequeña, aproximadamente 1 a 2 kWh [14]

En la Tabla 1-2 se listan Grupos de Almacenamiento de Energía actuales para aplicaciones de transporte para vehículos Híbridos (HEV) y Eléctricos (EV). [17].

Grupo de Almacenamiento	Energía Específica [Wh/kg]	Densidad de Energía [Wh/litro]	Potencia Específica [W/kg]	Densidad de Potencia [W/litro]	Numero de ciclos
<b>Plomo-Acido</b>					
EV	35-50	90-125	150-400	400-1000	500-1000
HEV	27	74	350	900	----
<b>Níquel-Cadmium - NiCad</b>					
EV	60	115	225	400	2500
<b>Níquel-hidruro metálico NiMH</b>					
EV	68	165	150	430	600-1200
HEV	50	125	750	>1600	----
<b>Ion Litio</b>					
EV/ HEV	93	114	350	429	800
<b>Polimero de Litio</b>					
EV/ HEV	155	220	315	447	600

**Tabla 1-2**

### Tipos de Grupos de Almacenamiento de Energía

Como se ha mencionado en párrafos anteriores, los Grupos de Almacenamiento de Energía (GdA) que se utilizan en la actualidad son los listados en la Tabla 1-2, a continuación haremos un breve detalle de cada uno de ellos [18]:

#### **Plomo – Acido**

A pesar de su densidad de energía relativamente baja, el GdA de Plomo - Acido han encontrado una amplia aplicación en numerosos dispositivos de transporte, como se ha señalado anteriormente, en donde la autonomía del vehículo no es una consideración primordial. Las desventajas que poseen para aplicaciones de transporte de cara a las nuevas tecnologías alternativas son su relativamente baja de Energía y Potencia Específica durante el almacenamiento a largo plazo si se mantiene en un estado de descarga.

La mayor ventaja que poseen los Grupos de Almacenamiento de Plomo-Acido sobre las tecnologías de la competencia es el costo, que son hasta diez veces más económicas que avanzada Níquel- hidruro metálico, Ion de Litio y de



Polímero de Litio que se están desarrollando para los vehículos de alto rendimiento [17]

### **Níquel-hidruro metálico y Níquel-cadmium**

Los GdA de Níquel-hidruro metálico (NiMH) se desarrollaron durante el último cuarto del Siglo XX como una alternativa ambientalmente aceptable a las células de níquel-cadmio (NiCad), el cadmio tóxico (negativo) del electrodo fue reemplazado con un electrodo de hidruro de metal.

Las baterías de NiMH han hecho una contribución significativa a la mejora de la autonomía de vehículos eléctricos puros y el consumo de combustible de HEV.

A pesar de los importantes progresos que se han hecho, el futuro de las baterías de NiMH es incierto, en la que han perdido cuota de mercado significativa contra los GdA de Ion de Litio, que ofrecen una tensión significativamente mayor y una energía específica superior, Tabla 1-2 [12][17][19]

### **Ion de Litio**

En la actualidad el Grupo de Almacenamiento de Ion de Litio es la tecnología más adecuada para vehículos híbridos o eléctricos, ya que entregan mayor energía y potencia por unidad de masa, permitiendo reducir tamaño y peso frente a otros Grupos de Almacenamiento.

Otras ventajas del GdA de Ion de Litio en comparación con los de plomo-ácido y níquel hidruro metálico son: la eficiencia de alta energía, no posee efectos de memoria y posee un ciclo de vida relativamente mayor, Figura 1-23.

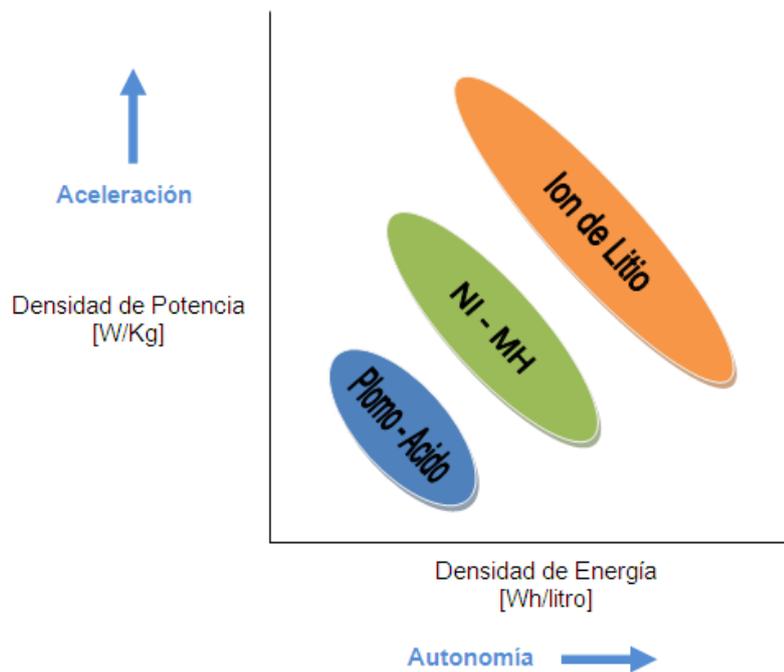


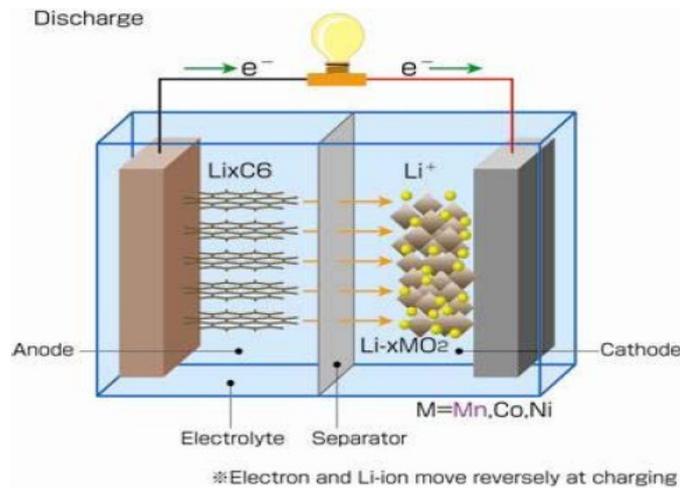
Figura 1-23

### Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de las baterías de Ion de Litio básicamente consiste en iones de litio los cuales se mueven entre el ánodo y cátodo, creando un flujo de corriente eléctrica útil para aplicaciones eléctricas.

En el ciclo de descarga, el litio en el ánodo (material de carbono) se ioniza y se emite al electrolito. Los iones de litio se mueven a través de un separador de plástico poroso y se insertan en agujeros de tamaño atómico en el cátodo (óxido de metal de litio).

Al mismo tiempo, los electrones son liberados desde el ánodo. Esto se convierte en corriente eléctrica que viaja a un circuito eléctrico exterior. Durante la carga, los iones de litio pasan desde el cátodo al ánodo a través del separador Figura 1-24. Dado que esta es una reacción química reversible, la batería puede ser cargada nuevamente.



Source: (Automotive Energy Supply Corporation, 2007)

**Figura 1-24**

Una batería de Ion de Litio contiene 4 partes principales: cátodo, ánodo, electrolito y separador Tabla 1-3.

Componentes	Funciones	Material
Cátodo	Emitir iones de litio al ánodo durante la carga	Polvo de óxido de metal de litio
	Recibir iones de litio durante la descarga	
Ánodo	Recibir iones de litio desde el ánodo durante la carga	Polvo de grafito
	Emitir iones de litio al ánodo durante la descarga	
Electrolito	Transmisión de iones de litio entre el cátodo y el ánodo	Sal de litio
Separador	Evitar cortocircuitos entre el cátodo y el ánodo	Membranas microporosas
	Transmisión de iones de litio a través de poros en el separador	

**Tabla 1-3**

Rendimiento de la batería actual de los Grupos de Almacenamiento de Ion de Litio no es suficiente para ser ampliamente utilizado tanto para vehículos Híbridos como Eléctricos puros.

Además de los aumentos necesarios de energía y densidad de potencia, se requieren otras mejoras como ser en la durabilidad, seguridad y costo [13].

### **Polímero de Litio**

El Grupo de Almacenamiento de Polímero de Litio es una variante del de Ion de Litio, la diferencia se encuentra en el electrolito, ya que éste en vez de ser una *sal de litio* es un compuesto formado por óxido de polietileno disuelto en sales de litio. A temperatura ambiente, la conductividad resultante de éste es baja, por lo tanto este material no puede ser considerado como un electrolito sólido, pero a



aproximadamente entre 80 y 100 °C la conductividad iónica es todavía baja en comparación con los electrolitos de baterías convencionales, pero esto es compensado reduciendo el espesor del electrolito en forma de una película suficientemente delgada.

En la actualidad existen grandes grupos de almacenamiento industriales que utilizan este tipo de tecnología, pero éste tipo de baterías utilizadas en un vehículo Híbrido o Eléctrico sería extremadamente riesgoso para transeúntes y pasajeros transportados, ya que las mismas operan a una temperatura de aproximadamente 100°C.

Empresas privadas de Estados Unidos y Canadá han producido un prototipo basado en electrodos negativos de papel de aluminio de litio, que tienen una capacidad de 119 Ah, una salida de 20 V, una energía específica de hasta 155 Wh/kg, y una vida útil de más de 600 ciclos [12][17][19].



## Bibliografía Capítulo 1

- [1] **Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives**, Edited by ALI EMADI. **Part 2 Hybrid Electric Vehicles** –by John M. Miller - J-N-J Miller Design Services, Cedar, Michigan
- [2] **Modeling and Design of Hybrid Control System for Dual Hybrid Electric Vehicle Drivetrains** Doh-Hyoung Kim, Youngjin Park; Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress - June 12-15, 2000, Seoul.
- [3] **Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives**, Edited by ALI EMADI **Part 3 Hybrid Drivetrains** by M. Ehsani and Yimin Gao Texas A&M University, College Station, Texas
- [4] **Urban Transportation Showcase Program** – Case Studies in Sustainable Transportation- Case Study 71 Based on: *Selected Resources*
  1. Analysis of Electric Drive Technologies for Transit Applications, Battery-electric, Hybrid-electric and Fuel Cells, Northeast Advanced Vehicle Consortium, Boston, MA August 2005:  
[http://www.navc.org/Electric Drive Bus Analysis.pdf](http://www.navc.org/Electric_Drive_Bus_Analysis.pdf)
  2. New York City Transit Hybrid and CNG Transit Buses: Final Evaluation Results, Barnitt, R. and Chandler, K., National Renewable Energy Laboratory, Report Number TP-540-40125, November 2006:  
<http://www.nrel.gov/docs/fy07osti/40125.pdf>
- [5] **“Application of Electrically Peaking Hybrid (ELPH) Propulsion System to a Full-Size Passenger Car with Simulated Design Verification”** Mehrdad Ehsani, Yimin Gao and Karen L. Butler - IEEE Transactions on vehicular technology, vol 48, n° 6, november 1999  
<http://psalserver.tamu.edu/main/papers/008%20Ehsani%20Gao%20Butler.pdf>
- [6] **“Design Optimization of the Electrically Peaking Hybrid (ELPH) Vehicle”** Mehrdad Ehsani, Yimin Gao and Karen L. Butler – Texas Transport Institute.  
<http://ntl.bts.gov/lib/21000/21600/21631/PB99129645.pdf>
- [7] **Hybrid Electric Vehicles “An overview of current tech and its application in developing and transitional countries”** United Nations Environmentology Programme (UNEP) P.O. Box 30552, Nairobi - KENYA. Telephone: +254-20-7624184, Fax: +254-20-7624249 - Email:  
[clean.transport@unep.org](mailto:clean.transport@unep.org)
- [8] **Descripción de las Tecnologías de transporte basadas en el uso de energía eléctrica- Vehículos eléctricos Híbridos (HEV)** Pontificia Universidad Católica de Chile – Facultad de Ingeniería  
[http://web.ing.puc.cl/~power/mercados/transporteelec/pagina\\_web\\_transporte\\_electrico\\_014.htm](http://web.ing.puc.cl/~power/mercados/transporteelec/pagina_web_transporte_electrico_014.htm)



- [9] **Energy Management Strategy for a Parallel Hybrid Electric Truck**  
Chan-Chiao Lin<sup>1</sup>, Jun-Mo Kang<sup>2</sup>, J.W. Grizzle<sup>2</sup>, and Hwei Peng<sup>1</sup>  
  
1 Dept. of Mechanical Engineering, University of Michigan, MI 48109-2125  
[chancl@umich.edu](mailto:chancl@umich.edu) , [hpeng@umich.edu](mailto:hpeng@umich.edu)  
  
2 Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, University of Michigan, MI 48109-2122 [junmo@eecs.umich.edu](mailto:junmo@eecs.umich.edu) , [grizzle@umich.edu](mailto:grizzle@umich.edu)
- [10] **Design of Series-parallel Hybrid Electric Propulsion Systems and Application in City Transit Bus** by WEI-WEI XIONG, CHENG-LIANG YIN  
- Institute of Automotive Engineering Shanghai Jiao Tong University 800 Dongchuan Road, Shanghai 200240 PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA -  
[wexiong@gmail.com](mailto:wexiong@gmail.com) [clyin1965@sjtu.edu.cn](mailto:clyin1965@sjtu.edu.cn)
- [11] **Toward a framework for the hybrid control of a multi-mode hybrid-electric driveline**” K. Koprubasi, J.M. Morbitzer, E.R. Westervelt, G. Rizzoni,. In Proceedings of the 2006 American Control Conference, Minneapolis, USA, June 2006, pp.3296-3301. Extraído de referencia [10].
- [12] **Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives**, Edited by ALI EMADI. **Part 4 Electric Vehicles**- by Ramesh C. Bansal - Birla Institute of Technology and Science, Pilani, India
- [13] **Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles: THE U.S. VALUE CHAIN**  
Marcy Autores: Lowe, Saori Tokuoka, Tali Trigg and Gary Gereffi,  
[marcy.lowe@duke.edu](mailto:marcy.lowe@duke.edu). <http://www.edf.org/home.cfm>
- [14] DOE. (2007). **Plug in Hybrid Electric Vehicle R&D Plan**. Retrieved August 17, 2010, from [http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/program/phev\\_rd\\_plan\\_02-28-07.pdf](http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/program/phev_rd_plan_02-28-07.pdf) .
- [15] **Vehicle Powertrain Systems: Integration and Optimization**- by Autor:David Crolla,Behrooz Mashadi -
- [16] **Batteries and Ultracapacitors for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles Simulations**- By Andrew F. Burke Proceedings of the IEEE | Vol. 95, No. 4, April 2007
- [17] **Batteries, Transportation Applications** – by MICHAEL M. THACKERAY Argonne National Laboratory Argonne, Illinois, United States - Encyclopedia of Energy, Volume 1. r 2004 Elsevier Inc. All rights reserved his article was created under Contract No. W-31-109-ENG-38
- [18] **Sistemas BRT en América Latina: el caso de Transmilenio de Bogotá**  
Sebastián Lema Tesis para la obtención del título Master of Science in Environmental Management and Policy Lund, Suecia, Septiembre 2012
- [19] **BATTERY STORAGE** – by CÉSAR A.C. SEQUEIRA<sup>1</sup>, MÁRIO R. PEDRO<sup>2</sup>



---

1.-ICEMS-DEQB, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa (TU Lisbon), Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal. [cesarsequeira@ist.utl.pt](mailto:cesarsequeira@ist.utl.pt)

2.-A.A. Silva - Autosil, Estrada de Paço de Arcos, 48, 2770-129 Paço de Arcos, Portugal. [mario.s.pedro@gmail.com](mailto:mario.s.pedro@gmail.com)

**[20] Lead-Acid vs. Lithium for the Smart-Grid:-** Balancing the Illinois Battery Research Facility Efforts by Kurtis Kelley Firefly International Energy Co. 2012 © 2012 Firefly International Energy Company



## CAPÍTULO 2: Calidad del aire, controles y normativas

Según la Organización Mundial de la Salud, el aire puro está compuesto de Nitrógeno (78%), Oxígeno (21 %) y otros gases menos comunes, de los cuales el Argón es el más abundante. La concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en un 0,03% y es menor que la del argón que posee 0,93%. El vapor de agua también está presente, con una participación de hasta el 4% del volumen.

La atmósfera contiene varios gases que, en concentraciones mayores que las normales, son nocivos para los seres humanos, animales y para las plantas. Estos incluyen el O<sub>3</sub> (Ozono), el SO<sub>2</sub> (Dióxido de azufre), el NO<sub>2</sub> (Dióxido de nitrógeno), el CO (Monóxido de carbono) y una amplia gama de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV). Algunos de estos gases son carcinógenos como el benceno y el butadieno.

*Todos estos gases potencialmente tóxicos se denominan contaminantes del aire.*

Además de los gases mencionados, la atmósfera contiene una gran variedad de partículas, sólidas y líquidas, cuyo tamaño varía desde unos cuantos nanómetros hasta 0,5 milímetros. Las partículas pequeñas (menor 2,5 µm de diámetro) permanecen en el aire por períodos largos y forman un aerosol discretamente estable. Las partículas más grandes se pierden más rápidamente debido a que su peso hace que se depositen con una velocidad mayor.

La amenaza relativa para la salud que representan los diferentes gases y partículas contaminantes depende de su concentración en el tiempo y distancia respecto al nivel del suelo.

En consecuencia, se requiere un monitoreo cuidadoso de las concentraciones de gases contaminantes, así como de la distribución de tamaños, niveles de concentración y composición química de las partículas. ***La situación se complica aún más debido a que algunas combinaciones de contaminantes actúan de manera aditiva y otras quizá de manera sinérgica. [3]***

### **Factores que afectan las concentraciones de los contaminantes del aire.** [4][5]

La concentración local de los contaminantes del aire depende de la magnitud de las fuentes y de la eficiencia de la dispersión.

Las concentraciones en gran parte son afectadas por las condiciones meteorológicas que por los cambios en la magnitud en la emisión de las fuentes.

Algunos de los factores condicionantes son:

- *El viento* es un elemento clave en la dispersión de los contaminantes del aire.



- *La turbulencia* también es importante: un espacio desigual como el que presenta un conglomerado de edificios, por ejemplo, tiende a aumentar la turbulencia y la dispersión de los contaminantes.
- *Las inversiones de temperatura* son esenciales para controlar el espesor de la capa de aire adyacente a la superficie donde se mezclan los contaminantes. A medida que una masa de aire se eleva, se expone a presiones atmosféricas decrecientes y, por lo tanto, se expande disminuyendo su temperatura.

No obstante, si su temperatura es más alta que la del aire circundante, retendrá flotabilidad y continuará elevándose. En cambio, si la temperatura real disminuye más lentamente que la de la masa de aire, se volverá más pesado que el aire circundante y no podrá elevarse. Por ejemplo, en la noche, con bajas velocidades de vientos y cielo despejado, el enfriamiento rápido del suelo y el aire adyacente hacen que el aire sea más frío cerca del suelo y, por lo tanto, el aire contaminado no se elevará, lo que da lugar al aumento de la concentración de los contaminantes en esa capa, dando como resultado una franja de aire contaminado cerca del suelo.[3]

### **Fuentes de contaminación**

Los contaminantes presentes en la atmósfera provienen de dos tipos de fuentes emisoras: ***las naturales*** y ***las antropogénicas***. Las emisiones originadas por las fuentes naturales provienen fundamentalmente de los volcanes, incendios forestales, descomposición de la materia orgánica en el suelo, erosión eólica. Por su parte, las principales fuentes antropogénicas de emisiones se clasifican en fijas o móviles [3].

### **Contaminantes criterio**

Los contaminantes más comunes relacionados con la calidad del aire y la salud humana son descritos como "Contaminantes Criterio", llamados así porque fueron objetos de estudios de evaluación, y publicados por diversos investigadores como "Criterios de Calidad del Aire".

Prácticamente desde su creación, en 1970, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA, por sus siglas en inglés), identificó y reguló seis contaminantes principales que interfieren con la salud o el bienestar de las personas, o bien que ocasionan efectos negativos sobre el medio ambiente. [6]

Los "Contaminantes Criterio" son:

- 1.- **Ozono (O<sub>3</sub>).**
- 2.- **Material particulado (MP's).**
- 3.- **Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**
- 4.- **Monóxido de Carbono (CO).**
- 5.- **Dióxido de Sulfuro (SO<sub>2</sub>).**
- 6.- **Plomo (Pb).**



Se establecen para los seis contaminantes dos tipos de regulaciones.

**"límite primario"** que tiene el objetivo de proteger la salud humana

**"límite secundario"** cuyo fin es proteger daños medio ambientales y daños a propiedades.

Estas regulaciones se han ido ajustando de acuerdo a resultados de nuevas investigaciones.

De los seis Contaminantes Criterios nombrados anteriormente, el **NO<sub>2</sub>**, **O<sub>3</sub>**, **CO**, y **MP** son directamente producidos por la combustión de combustibles fósiles. A continuación haremos una breve descripción de cada uno de ellos.

#### ❖ Ozono (O<sub>3</sub>)

El Ozono es un compuesto gaseoso natural de la atmósfera que se produce en presencia de luz solar. Oxida diversos materiales no inmediatamente por el oxígeno gaseoso formado principalmente por reacciones atmosféricas de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno bajo la influencia de la luz solar.

Existen dos tipos de "Ozono",

- el "estratosférico" en un 90%, el cual forma una capa situada entre los 25 y 35 Km. de altura cuya función es filtrar la luz ultravioleta que llega a la tierra, por lo que esta función resulta beneficiosa al ser humano y a la naturaleza en general.
- el "troposférico" con el 10% restante, situado aproximadamente desde los 0 hasta los 10 km. de altura con respecto a la tierra y resulta perjudicial para la salud poblacional y el medio ambiente.

Para que se lleve a cabo la formación del Ozono (O<sub>3</sub>), el NO<sub>2</sub> absorbe radiación solar y se produce su fotodisociación en NO (monóxido de nitrógeno) y O (oxígeno). La molécula de oxígeno de la reacción se combina con una molécula de O<sub>2</sub> y forma O<sub>3</sub>.

En ausencia de Compuestos Orgánicos Volátiles<sup>1</sup> (COVs), el O<sub>3</sub> de la reacción actúa con el NO regenerando compuestos iniciales de NO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>. Pero cuando están presentes COVs, su oxidación da origen a radicales libres RO<sub>2</sub> que reaccionan con el NO para producir NO<sub>2</sub> sin el consumo de O<sub>3</sub>, lo que propicia su acumulación.

#### ❖ Partículas Suspendidas (MP's)

---

<sup>1</sup> COV, Compuestos orgánicos volátiles, se utiliza para describir materia orgánica en fase vapor, exceptuando el metano, Este componente es importante en la química atmosférica por la formación del "smog" fotoquímico. [5]



Son una mezcla de partículas sólidas y líquidas (vapor) que se encuentran en el aire emitidas directamente desde la fuente (formación directa) o bien son formadas por la condensación de contaminantes gaseosos (formación indirecta).

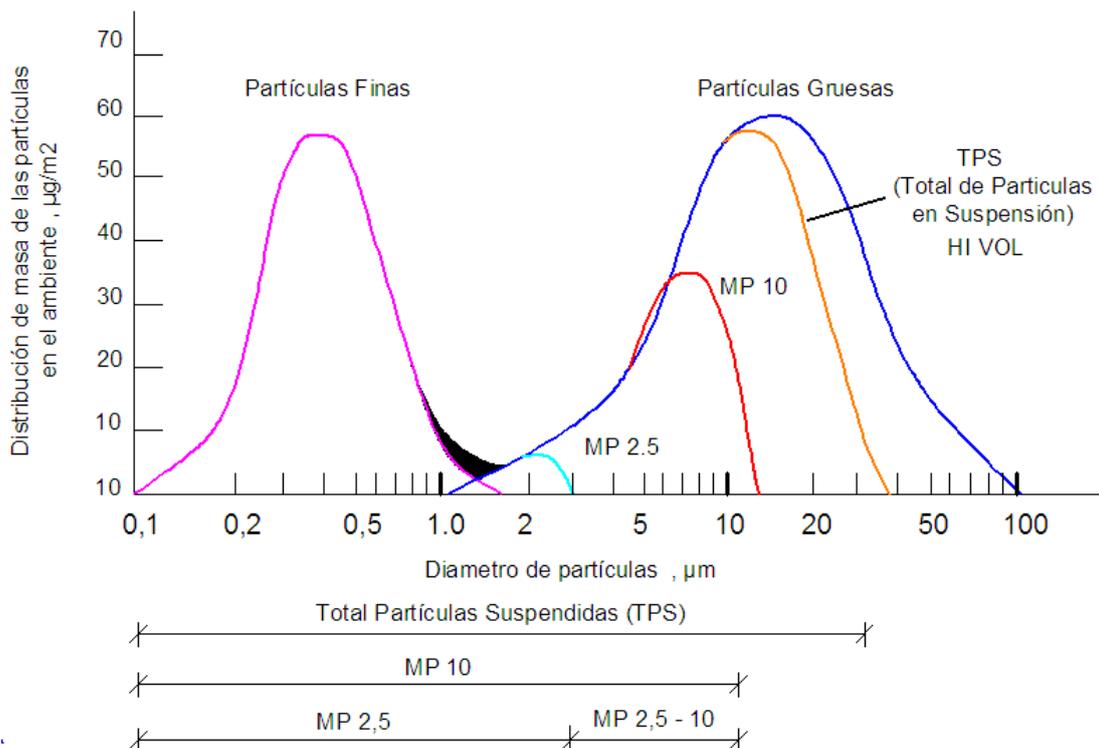
Forman una compleja mezcla de partículas sólidas y vapores con sustancias orgánicas e inorgánicas en suspensión, incluyendo frecuentemente sustancias ácidas como sulfatos y nitratos. Todos estos compuestos en el aire tienen la capacidad de ser absorbidos vía nariz/boca y pasar por el tracto respiratorio, por lo que afectan a más personas que cualquier otro contaminante.

Además es conocido que el potencial de daños a la salud a causa de las partículas suspendidas está directamente relacionado con el tamaño de éstas. Entre más pequeño sea su diámetro aerodinámico, más perjudiciales están consideradas, ya que penetran con mayor facilidad por el tracto respiratorio llegando a los pulmones, donde permanecen depositadas en los alvéolos pulmonares. [3][6]

Existen estudios que demuestran la relación entre el incremento de muertes o visitas recurrentes al médico por problemas de tipo respiratorio y cardiovascular cuando los niveles de partículas suspendidas son altos. Además, la contaminación por estas partículas es asociada con reducción de visibilidad [6].

### **Clasificación de las partículas en suspensión:**

En primera instancia, las partículas suspendidas son reconocidas en función de su diámetro aerodinámico. La Figura 2-1 muestra gráficamente las características de las partículas de acuerdo a sus diámetros.





**Figura 2-1**

- **Humo (diámetro < 10 -15  $\mu\text{m}$ ):** Partículas sólidas evaluadas en término de su negrura o refractancia cuando se recogen sobre un filtro, en oposición a su masa. Este es el método histórico de medida de la contaminación en el Reino Unido. [5]
- **TPS (diámetro >20  $\mu\text{m}$ ):** Total de Partículas en Suspensión, las concentraciones de masa determinadas pasando un filtro (muestreador HI-Vol).[5]
- **MP10 (diámetro < 10  $\mu\text{m}$ ):** Partículas gruesas. Permanecen cerca de la fuente de emisión debido a su peso, por lo que no viajan lejos de la misma.[3]
- **MP2.5 y Partículas Finas (diámetro < 2.5  $\mu\text{m}$ ):** Ayudadas por componentes de aire, pueden desplazarse grandes distancias y alejarse de la fuente de emisión y, también por su diámetro tan pequeño, tienen mayor facilidad permanecer suspendidas por tiempos mucho más largos que las partículas gruesas y mayor probabilidad de ser absorbidas por el ser humano durante la respiración.[3]

❖ Dióxido de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ )

Los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) generados por el hombre se producen por la oxidación de nitrógeno atmosférico presente en los procesos de combustión a altas temperaturas. El contaminante generado en forma primaria es el monóxido de nitrógeno ( $\text{NO}$ ), parte del cual rápidamente se oxida y se convierte a dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ). Ambos óxidos, liberados a la atmósfera, participan activamente en un conjunto de reacciones fotoquímicas que en presencia de hidrocarburos reactivos, generan ozono ( $\text{O}_3$ ). Además, en su proceso de transformación, este contaminante forma nitratos, es decir, sales que pueden ser transportadas en el material particulado respirable y que en presencia de humedad, forman ácidos.

Estos ácidos son una parte importante del material particulado  $\text{MP}_{2.5}$ , que tiene efectos nocivos en la salud, como se verá más adelante.

Es imprescindible el control de esta sustancia gaseosa, contribuye tanto a la formación de ozono como a la de material particulado fino. La principal fuente antropogénica de óxidos de nitrógeno, conocidos como  $\text{NO}_x$  que incluye óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) y dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), es el transporte automotor y cualquier otro tipo de combustión de hidrocarburos.

❖ Monóxido de carbono ( $\text{CO}$ )

El monóxido de carbono es un gas inodoro, incoloro, inflamable y altamente tóxico. Es un producto de combustión incompleta y ocurre cuando el carbono en el combustible se oxida parcialmente más que los óxidos del dióxido del carbono ( $\text{CO}_2$ ). Su aspiración reduce el flujo del oxígeno en el torrente sanguíneo y es particularmente peligroso para las personas con problemas de salud del corazón y vías respiratorias.



**Efectos a la exposición a corto y largo plazo en Contaminantes Criterios**

[3]

Contaminantes	Efectos de la exposición a Corto Plazo	Efectos de la exposición a LargoPlazo
<b>Dióxido de Nitrógeno</b>	Exposición de seres humanos normales y sanos, por menos de dos horas a concentraciones mayores a 4700ug/m3 (2,5 ppm), se experimentan disminuciones en la función PULMONAR. Concentraciones menores a 1888 ug/m3 (1,0ppm), no afectan a pacientes normales. Algunos estudios (no todos) muestran una mayor respuesta a los broncostritores en niveles de NO2 tan bajos como 376-565 ug/m3 (de 0,2 a 0,3 ppm).	Los estudios con animales han relevado después de varias semanas o meses de exposición a concentraciones de NO2 menores a 1888ug/m3 (1ppm), se producen una serie de efectos en órganos tales PULMON, BAZO, HIGADO Y SANGRE. Los niveles de NO2 de aproximadamente 940 ug/m3 (0,5ppm) también aumentan la sensibilidad a la infección bacteriana y vírica del pulmón. NO SE POSEEN ESTUDIOS EPIDEMIOLOGICOS PARA DEFINIR UNA CINCENTRACION MINAMA QUE NO GENERE GRIESGOS A LA SALUD HUMANA. Se estima que los niños cuyas edades entre los 5 y 12 años tienen un 20% mas riesgo con respecto a síntomas y enfermedades respiratorias oír cada aumento de 28 ug/m3 de NO2, para una concentración de 128 ug/m3
<b>Monóxido de Carbono</b>	El CO se difunde rápidamente entre las membranas alveolares, capilares y placentarias. Durante la exposición a una concentración fija de CO, la concentración de COHb aumenta rápidamente al inicio de la exposición, después de 3 horas comienza a reducirse y alcanza un estado aceptable después de 6-8 horas de exposición. La unión que forma al COHb, hace que se reduzca la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, como así también efectos del orden neuroconductual ya sean falta de coordinación, localización y capacidad motriz. ESTAS SON LAS PRINCIPALES CAUSAS DE LA HIPOXIA TISULAR producida por CO a niveles de exposición bajos. En concentraciones mayores, el resto de CO absorbido se une con otras hemoproteínas como la moiglobina, la citocromo oxidasa y el citocromo P-450. Los efectos se hacen evidentes primero en órganos y tejidos que consumen altas cantidades de oxígeno , como cerebro y corazón y el musculo esquelético. También arritmias ventriculares puede que aumenten significativamente conforme aumente el tiempo de exposición.	
<b>Material Particulado</b>	Los efectos de MPS en seres humanos dependen del TAMAÑO y CONCENTRACION de las partículas. Los efectos agudos son aumento de la mortalidad diaria y incremento en las consultas hospitalarias, luego le sigue la exacerbación de enfermedades respiratorias frecuencia de uso de broncodilatadores y tos. Si bien los efectos a largo pazo son Mortalidad y Morbilidad respiratoria, no existen estudios epidemiológicos que permitan definir un umbral debajo el cual no se produzcan efectos. Estudios determinado que exposiciones a largo plazo de MP con concentraciones de 10ug/m3 de partículas finas, reducen la esperanza de vida.	
<b>Dióxido de Azufre</b>	Exposición menor de 24 horas. Luego de varios experimentos, se determino que los efectos incluyen reducciones del volumen medio respiratorio forzado durante un segundo, el aumento de la resistencia de las vías respiratorias y síntomas como sibilido y respiración entrecortada. Según la Organización Mundial de la Salud, no se ha podido fijar un umbral, lo que si señala que las personas con asma son el grupo mas sensible frente a la exposición de este contaminante.	Se estima el nivel mínimo de efecto adverso observable de SO2, el cual es de 100 ug/m3 , en presencia de MPs. Los efectos a largo plazo no solo pueden esta afectados a condiciones actuales, sino que es acumulativo en el tiempo. La OMS determina : * Tiempo de exposición de 10 minutos , a concentraciones de 1000ug/m3, produce cambios en la función pulmonar de los asmáticos. *Tiempo de exposición 24 horas con con concentraciones de 250 ug/m3 ó 1 año con 100 ug/m3, produce Exacerbación de los síntomas respiratorios en individuos sensibles.

**Tabla 2-1**



## **Marco Normativo**

La preocupación de los temas ambientales y su impacto en la salud humana ha manifestado un crecimiento sostenido en nuestro país y en el mundo entero.

La contaminación del aire es una amenaza aguda, acumulativa y crónica para la salud humana y el ambiente. La población está expuesta a elementos contaminantes que se encuentran en el aire, tanto en recintos cerrados como en exteriores, especialmente en los ámbitos urbanos. Esta exposición puede generar o agravar afecciones respiratorias, cardíacas, intoxicaciones y otras condiciones, y puede ser especialmente riesgosa para personas con enfermedades pulmonares o cardíacas crónicas, embarazadas, ancianos, niños y para la población que trabaja en las calles y/o que vive en condiciones de precariedad.

Por lo tanto, desde hace 45 años aproximadamente que tanto en Estados Unidos como en Europa, se inició la ardua tarea de generar normas que impusieran límites a las emisiones contaminantes y en éste caso en particular de vehículos con motores a combustión.

La generación de una norma de este tipo, necesariamente está vinculada también a una metodología de determinación. Los distintos países han ido adoptando diferentes procedimientos y estableciendo los máximos admisibles para cada categoría de vehículos.

Cuando se analizan los contaminantes expulsados a la atmósfera por los vehículos, la determinación de los mismos debe no solo ser cualitativa sino también cuantitativa. Si bien la composición de la emisión instantánea que produce un vehículo brinda mucha información, a los efectos de normar para fijar límites, resulta necesario adoptar procedimientos que permitan también establecer comparaciones. Las normas establecen límites en general para CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y Material Particulado.

En particular, la Unión Europea, con el objeto de alcanzar los valores de reducción de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), fijados en la Tercera Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, realizada en Kioto en diciembre de 1997, genera una serie de acciones tendientes a incentivar el uso eficiente de la energía y la reducción del CO<sub>2</sub> que se emite en los distintos países miembros.

Los distintos países del mundo, los cuales se encuentran comprometidos con esta problemática, han adoptando normativas que responden parcial o totalmente a los siguientes grandes grupos:

- CARB California Air Resources Board.
- EPA Environment Protection Agency.
- Normativa del Japón.
- Normativa UE Unión Europea.



Debido al alcance de este trabajo, nos limitaremos a presentar las normativas que rigen en la República Argentina y la normativa UE Unión Europea debido a su condescendencia.

### **Normativa UE Unión Europea.** [9]

Con el fin de limitar la contaminación producida por los vehículos impulsados por motores a combustión, el Reglamento (CE) N° 715/2007 del Parlamento Europeo introduce exigencias comunes relativas a las emisiones de gases (normas Euro 5 y Euro 6).

### **Vehículos afectados**

El reglamento se refiere a los vehículos de las categorías M1, M2<sup>2</sup>, N1y N2. Esto incluye, entre otras cosas, los automóviles particulares, camionetas y vehículos comerciales destinados tanto al transporte de pasajeros o mercancías, así como que estos vehículos estén equipados con motores de encendido por chispa (motores nafta, de gas natural o de gas licuado del petróleo –GLP-) o de encendido por compresión (motores diesel).

Con el fin de limitar al máximo el impacto negativo de los vehículos sobre el medio ambiente y la salud, el reglamento contempla una amplia gama de emisiones contaminantes: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no metanos e hidrocarburos totales, óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas (PM). Entre dichas emisiones se incluyen: de escape, de evaporación y del cárter del motor.

### **Límites de emisión**

En el anexo I del reglamento se recogen los valores límite de las emisiones para cada categoría de emisiones contaminantes y para los distintos tipos de vehículos mencionados anteriormente.

### **Norma Euro V**

Emisiones procedentes de los automóviles diésel:

- monóxido de carbono: 500 mg/km;

---

<sup>2</sup>Categoría M1: Vehículos para transporte de pasajeros con menos de ocho asientos además del asiento del conductor, y que no excedan el peso máximo de 5 ton. [10]

Categoría M2: Vehículos para transporte de pasajeros con más de ocho asientos además del asiento del conductor, y que no excedan el peso máximo de 5 ton.[10]

Categoría N1: Vehículos para transporte de carga, y que no excedan el peso máximo de 3,5 ton.

Categoría N2: Vehículos para transporte de carga, y que no excedan el peso máximo de 12 ton.



- partículas: 5mg/km (o una reducción del 80% de las emisiones respecto de la norma Euro IV);
- óxidos de nitrógeno (NOx): 180mg/km (o una reducción del 20 % de las emisiones respecto de la norma Euro IV);
- emisiones combinadas de hidrocarburos y óxidos nitrógeno: 230mg/km.

Emisiones procedentes de los automóviles que funcionan a nafta, gas natural o GLP:

- monóxido de carbono: 1000 mg/km;
- hidrocarburos no metanos: 68mg/km;
- hidrocarburos totales: 100 mg/km;
- óxidos de nitrógeno (NOx): 60 mg/km (o una reducción del 25 % de las emisiones respecto de la norma Euro IV);
- partículas (únicamente para los automóviles de gasolina de inyección directa que funcionan con combustión pobre): 5mg/km (introducción de un límite que no existía en la norma Euro IV).

### **Norma Euro VI**

*Todos los vehículos equipados de un motor diésel tendrán la obligación de reducir considerablemente sus emisiones de óxidos de nitrógeno a partir de la entrada en vigor de la norma Euro VI. Por ejemplo, las emisiones procedentes de los automóviles, autobuses y otros vehículos destinados al transporte se limitarán a 80mg/km (lo que representa una reducción suplementaria de más del 50% respecto de la norma Euro V).*

Se reducirán, asimismo, las emisiones combinadas de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno procedentes de los vehículos diésel (coches y otros vehículos destinados al transporte) para limitarlas, por ejemplo, a 170mg/km. [9]

### **Aplicación de las normas**

La norma Euro V es aplicable desde el 1<sup>ro</sup> de septiembre de 2009 en lo que respecta a la homologación y será aplicable a partir del 1<sup>ro</sup> de enero de 2011 en lo que se refiere a la matriculación y venta de las nuevas clases de vehículos (en la Unión Europea).

La norma Euro VI es aplicable a partir del 1<sup>ro</sup> de septiembre de 2014 en lo que respecta a la homologación, y del 1<sup>ro</sup> de septiembre de 2015 en lo que se refiere a la matriculación y venta de las nuevas clases de vehículos (en la Unión Europea).

### **Síntesis Normas Euro [8]**

En resumen, la legislación aplicable a estas categorías de vehículos fue originalmente introducida por la [Directiva 88/77/CE](#), seguida por un gran número de modificaciones. En el año 2005 la legislación fue modificada de manera importante por la [Directiva 2005/55/CE](#).



Los siguientes son algunos de los cambios de mayor importancia dados en lo que a legislación de vehículos pesados se refiere:

- EURO I: esta normativa fue introducida en el año 1992 por la [Directiva 91/542/CE](#).
- EURO II: esta normativa fue introducida en el año 1996 por la misma Directiva que la EURO I, es decir, la [Directiva 91/542/CE](#). Ambas normativas (EURO I y EURO II) eran aplicables tanto a motores de camión como a autobuses urbanos, sin embargo, la aplicación a los autobuses era voluntaria en la UE.
- EURO III: En 1999 la Unión Europea adoptó la [Directiva 1999/96/CE](#).
- EURO V (2008). Esta norma también fijó límites voluntarios más estrictos para los vehículos de muy bajas emisiones conocidos como vehículos amigables con el medio ambiente.
- EURO IV y EURO V: La [Directiva 2005/55/CE](#) fue adoptada por el Parlamento Europeo e introdujo requerimientos de durabilidad y el uso de sistemas de diagnosis a bordo así como nuevos límites de emisión para la EURO IV y EURO V, límites que por otra parte fueron fijados por la [Directiva 1999/96/CE](#).

Las emisiones medidas de CO, HC, NOx y PM se expresan en g/kWh (en función de la potencia del motor- para vehículos pesados). Estas regulaciones definen las concentraciones máximas permitidas en términos de la masa por unidad de volumen del aire. Los motores deben ser operados de forma que estas emisiones no sean infringidas.

A modo de resumen la Tabla 2-2 expresa los estándares de emisiones UE para motores diesel, en vehículos pesados.

Norma	Año	CO [g/k Wh]	HC hidrocarburos Combinados [g/k Wh]	Nox [g/k Wh]	PM [g/k Wh]	Humo [m-1]
Euro I	1992 < 85 Kw	4,5	1,1	8	0,612	---
	1992 > 85 Kw	4,5	1,1	8	0,36	---
Euro II	Oct-96	4	1,1	7	0,25	---
	Oct-98	4	1,1	7	0,15	---
Euro III	Oct-00	2,1	0,66	5	*0,13	0,8
Euro IV	Oct-05	1,5	0,46	3,5	0,02	0,5
Euro V	Oct-08	1,5	0,46	2	0,02	0,5

\* para motores de menos de 0,75 dm<sup>3</sup> por cilindro y revoluciones mayores a 3000 min<sup>-1</sup>,

**Tabla 2-2**



## Normativa en la República Argentina

### Legislación Actual [4]

La República Argentina es un país federal integrado por la ciudad de Buenos Aires (Capital Federal) y 23 provincias, con autonomía plena para configurar sus estados provinciales y dictar sus propias leyes dentro del marco de referencia nacional. El nivel subsiguiente, los Municipios, tienen la misma facultad de promulgar sus ordenanzas, normas y reglamentaciones.

### Nivel Nacional

**Ley No. 20.284** de “Salud Pública-Normas para la preservación de los recursos del aire”, sancionada y promulgada el 16 de abril de 1973. El **Anexo II** establece normas de calidad de aire, con niveles de alerta y alarma (VerTabla 2-3)

Las provincias se adhieren a la misma o fijan sus propios niveles máximos de emisión de acuerdo a tipos de fuentes fijas.

Algunos municipios de las grandes ciudades han reglamentado localmente aspectos de las fuentes fijas y móviles con vistas a mejorar la calidad del aire [12].

Contaminante (unidad)		Norma calidad de aire	Alerta	Alarma	Emergencia
CO (ppm)	8 horas	10	15	30	50
	1 hora	50	100	120	150
NOx (ppm)	1 hora	0,45	0,6	1,2	0,4
	24 horas	--	0,15	0,3	--
SO2	Promedio mensual	0,03 (70ug/m3)	--	--	--
	1 hora	--	1	5	10
	8 horas	--	0,3	--	--
O3 y oxidantes en general (ppm)	1 hora	0,1	0,15	0,25	0,4
Partículas en Suspension (ug/m3)	Promedio mensual	150	No Aplicable	No Aplicable	No Aplicable
Partículas sedimentables (mg/cm2 - 30 días)	en 30 días	1	No Aplicable	No Aplicable	No Aplicable

Tabla 2-3

**LA LEY N° 24.449 DE TRANSITO Y SEGURIDAD VIAL, se desprende el decreto 779\_95 \_ Anexo 1 ARTÍCULO 33.- OTROS REQUERIMIENTOS.- [1] [11]**

Dicho decreto establece en uno de sus apartados los límites de emisión de gases, partículas visibles y material particulado por el escape, de emisión de gases de



cárter y durabilidad de dispositivos anticontaminantes que para todo vehículo pesado equipado con motor de ciclo diesel.

### **Emisiones de gases de escape.**

A partir de la fecha de entrada en vigencia de la presente Reglamentación para todo ómnibus urbano, y a partir del 1<sup>ro</sup> de enero de 1996 para todo vehículo pesado equipado con motor de ciclo diesel, la emisión de gases de escape no deberá exceder los valores de la siguiente tabla:

<b>CONTAMINANTE</b>	<b>VALOR LIMITE</b>
CO - Monoxido de Carbono	4,90 g/kWh
HC - Hidrocarburos	1,23 g/kWh
Nox - Oxido de Nitrogeno	9,00 g/kWh

**Tabla 2-4**

A partir del 1<sup>ro</sup> de enero de 1998 para todo ómnibus urbano, y a partir del 1<sup>ro</sup> de enero del año 2000 para todo vehículo pesado equipado de ciclo diesel, la emisión de gases de escape no deberá exceder los valores de la siguiente tabla:

<b>CONTAMINANTE</b>	<b>VALOR LIMITE</b>
CO - Monoxido de Carbono	4,00 g/kWh
HC - Hidrocarburos	1,10 g/kWh
Nox - Oxido de Nitrogeno	7,00 g/kWh

**Tabla 2-5**

**Procedimiento de ensayo y medición:** tanto la especificación del combustible, los procedimientos de ensayo, los sistemas de toma de muestras y análisis para la determinación de emisiones de gases contaminantes por el caño de escape de los motores ciclo diesel, deberán estar de acuerdo con la [Directiva 88/77/CEE](#) (3 de diciembre de 1987) por la [Directiva 91/542/CEE](#) (1<sup>ro</sup> de octubre de 1990) del Consejo de Comunidades Europeas (ciclo de ensayo en 13 estados de carga y regímenes de funcionamiento del motor).

### **Emisiones de gases de cárter.**

A partir de la fecha de entrada en vigencia de la presente Reglamentación, la emisión de gases de cárter de todos los vehículos pesados equipados con motores de ciclo diesel, deberá ser nula en cualquier régimen de trabajo del motor y garantizada por dispositivos de recirculación de estos gases, a excepción de los motores turboalimentados, en cuyos casos, para cuantificar la emisión de gases de cárter se sumará a la de hidrocarburos por el escape.



**Emisiones de partículas visibles por el escape.**

A partir de la fecha de entrada en vigencia de la presente Reglamentación, la emisión de partículas visibles (humos) por el tubo de escape en el ensayo bajo carga de los motores de ciclo Diesel y de los vehículos pesados con ellos equipados, no deberá exceder los valores de la siguiente tabla:

Flujo nominal G (litros/segundo)	Coefficiente de absorcion (Km-1)	Flujo nominal G (litros/segundo)	Coefficiente de absorcion (Km-1)
<42	2,26	120	1,37
45	2,19	125	1,345
50	2,08	130	1,32
55	1,98	135	1,3
60	1,9	140	1,27
65	1,84	145	1,25
70	1,77	150	1,225
75	1,72	155	1,205
80	1,66	160	1,19
85	1,62	165	1,17
90	1,575	170	1,155
95	1,535	175	1,14
100	1,495	180	1,125
105	1,465	185	1,11
110	1,425	190	1,095
115	1,395	195	1,08
		> 200	1,065

**Tabla 2-6**

En todo proceso de certificación se deberá determinar la emisión de partículas visibles por el caño de escape (humo) en aceleración libre.

**Procedimiento de ensayo y medición:** La especificación del combustible, los procedimientos de ensayo, los sistemas de toma de muestras y medición para la determinación de partículas visibles (humo), así como la conformidad de la producción, deberán estar de acuerdo con el Reglamento N° 24 de las Naciones Unidas revisión 2 incluida la serie 03 de enmiendas del 20 de abril de 1986 (ensayo en regímenes estabilizados sobre la curva de plena carga), según se detalla en el Anexo Ñ que forma parte de la presente reglamentación.

**Emisiones de material particulado por el escape.**

A partir del 1<sup>ro</sup> de enero de 1996, la emisión de material particulado por el tubo de escape de los motores ciclo Diesel y de los vehículos pesados con ellos equipados, no deberá exceder los valores de la siguiente tabla:

CONTAMINANTE	VALOR LIMITE
MP - Material Particulado	0,40 g/kWh

**Tabla 2-7**



\*En el caso de motores con una potencia de 85 kW o menos, el valor límite se multiplica por un coeficiente UNO CON SIETE DECIMAS (1,7).

A partir del 1<sup>ro</sup> de enero del año 2000, la emisión de material particulado por el tubo de escape de los motores ciclo Diesel y de los vehículos pesados con ellos equipados, no deberá exceder los valores de la siguiente tabla:

CONTAMINANTE	VALOR LIMITE
MP - Material Particulado	0,15 g/kWh

**Tabla 2-8**

\*En el caso de motores con una potencia de 85 kW o menos, el valor límite se multiplica por un coeficiente UNO CON SIETE DECIMAS (1,7).

### **Actualización**

Estos niveles de concentraciones de contaminantes se encuentran sujetos en el tiempo, un ejemplo claro es la Unión Europea la cual lleva adelante un plan para la reducción de los mismos a través de las Normas Euro de aplicación progresiva.

En nuestro país, la **SECRETARIA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE de la JEFATURA DE GABINETE DE MINISTROS** es el ente encargado de ratificar o rectificar los valores límites de las tablas precedentes, y las fechas de aplicación, que se establecen como metas a ser cumplidas en función de la disponibilidad de tecnologías apropiadas para el control de las emisiones.

La finalidad de dichas actualizaciones es de equiparar el sistema normativo ambiental sobre emisiones de gases de combustión vigente en la Republica Argentina con respecto a las europeas denominadas Normas EURO.

### **Resolución N° 1315/2013 - Bs. As., 5/11/2013 [15]**

*...“ARTICULO 6°: Establecer el **1ro de enero de 2015** como fecha de entrada en vigencia para la certificación de los límites de emisiones contaminantes gaseosas de nuevos modelos de vehículos livianos y pesados,..... y **Directiva Europea 2005/55 (Euro IV – V) para motores pesados**.”...” A partir del **1ro de enero de 2017** ese requerimiento se extenderá para todo vehículo pesado y/o motor que equipe al mismo, que se fabrique o importe con destino a su comercialización en el mercado interno argentino”....*

*...“ARTICULO 3° - **Hasta el 30 de junio de 2014** los nuevos modelos de los vehículos pesados, los vehículos armados en etapas y los motores que equipan los mismos podrán ser homologados y/o certificados como **EURO III**. **Hasta el 31 de diciembre de 2014** los vehículos pesados, los vehículos armados en etapas y los motores que equipan los mismos que se encuentren homologados y/o certificados como **EURO IV y/o EURO V** podrán ser importados, fabricados y comercializados como **EURO III**, admitiéndose los cambios que hacen al cumplimiento de las distintas normas de emisión.*



## Bibliografía Capítulo 2

- [1] **Decreto 779\_95 - Anexo 1 -Reglamentación General de la Ley N° 24.449 de Tránsito y Seguridad Vial** - Artículo 33.- Otros requerimientos.- (Decreto\_779\_95\_anex01)  
[http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/normativa/File/Decreto\\_779\\_95\\_a\\_nex01.pdf](http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/normativa/File/Decreto_779_95_a_nex01.pdf)
- [2] **La Huella de Carbono - Versión 1.0** (4 de junio de 2008) -Dirección de Cambio Climático – SAYDS - [cambioclimatico@ambiente.gov.ar](mailto:cambioclimatico@ambiente.gov.ar)  
DOCUMENTO DE REFERENCIA - LA HUELLA DE CARBONO DEL ARGENTINO PROMEDIO – Secretaria de ambiente y desarrollo sustentable
- [3] **Aplicación de Redes Neuronales Artificiales para la Predicción de MP10 y O3** – Lic José Manuel Campos – Colección Tesis Sobresalientes Editorial de la Provincia de Córdoba ISBN-978-987-28891-0-4 (escanear)
- [4] **Situación del monitoreo de la Calidad del Aire en la Republica Argentina** Por Lic. TATIANA PETCHENESHKY – Programa Nacional de la calidad del aire y salud – Departamento de salud ambiental -Buenos Aires, 1996.
- [5] **El Medio Ambiente- Introducción a la química medioambiental y a la contaminación-** Editor R.M.Harrison – Editorial ACRIBIA S.A. ISBN- 84-200-0966-0(escanear)
- [6] ●**EPA United State Environmental Protection Agency**  
<http://www.epa.gov/air/urbanair/>  
●**Particular Matter - Basics about particle pollution EPA United State Environmental Protection Agency**  
<http://www.epa.gov/airquality/particlepollution/>  
●**Ground Level Ozone \* Basic Information**  
<http://www.epa.gov/airquality/ozonepollution/basic.html>  
●**USEPA, 2007; [www.epa.gov/visibility](http://www.epa.gov/visibility)**
- [7] **Una solución tecnológicamente viable para la reducción de las emisiones en vehículos de inyección electrónica secuencial, propulsados a gas natural** – por Eduardo A. Quiroga Ramos Facultad Regional La Plata Universidad Tecnológica Nacional – U.T.N. Argentina Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe  
[http://www.edutecne.utn.edu.ar/tesis/tesis\\_GNC\\_EQ.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/tesis/tesis_GNC_EQ.pdf)



- 
- [8] **Transporte - Vehículos pesados**  
[http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/transportes\\_pesados.aspx](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/transportes_pesados.aspx)
- [9] **Reglamento (CE) nº [715/2007](#) del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de junio de 2007 sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones**  
[http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/air\\_pollution/l28186\\_es.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/l28186_es.htm)
- [10] **Categorías de vehículos - MERCOSUR/GMC/RES Nº 35/94 - ANEXO: Reglamento Armonizado Clasificación de Vehículos.**  
<http://www.sice.oas.org/trade/mrcsrs/resolutions/an3594.asp>
- [11] **Publicación: Leyes y Decretos de la Seguridad Vial en Argentina**  
<http://www.seguridadvial.gov.ar/Media/Default/Campanas/Impresos/libro-leyes-transito-2%C2%BA-edicion-2011.pdf>
- [12] **LEY 20.284 Calidad del Aire**  
<http://www2.medioambiente.gov.ar/mlegal/aire/ley20284.htm>
- [13] **Capitulo 1 Normativas para la Regulación y Emisión de Gases de Escape**  
<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1133/6/CAPITULO%20I.pdf>
- [14] **COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS - Propuesta de DIRECTIVA DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO**  
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52003PC0522&qid=1414376964505&from=EN>
- [15] **Actualización de Normativa Vigente - Resolución Nº 1315/2013 JEFATURA DE GABINETE DE MINISTROS -SECRETARIA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE e. 12/11/2013 Nº 90692/13 v. 12/11/2013.**  
<http://infoleg.mecon.gov.ar/infolegInternet/anexos/220000-224999/222044/norma.htm>



## **CAPÍTULO 3: Implementación de Autobuses Híbridos en la ciudad de Mar del Plata**

En este capítulo se analizarán las distintas alternativas que existen hoy día con respecto a la oferta de vehículos híbridos en el mercado Latinoamericano, luego se optará por el vehículo híbrido más conveniente, analizando sus ventajas y desventajas y costos del vehículo y flete puesto en la ciudad de Mar del Plata.

Luego, se analizarán entre el vehículo híbrido seleccionado y uno convencional a combustión interna los costos de adquisición, consumo, emisiones de gases tóxicos y externalidades hospitalarias respecto a la salud humana.

Por último se analizará la viabilidad económica respecto al reemplazo de la flota existente por una de colectivos híbridos en función de la desafectación de flota existente próxima a caducar siendo la antigüedad máxima de flota unos 8 años.

### **Buses híbridos en el mercado actual**

En la actualidad existen en el mundo una cantidad aceptable de fabricantes de buses Híbridos. Marcas reconocidas como Volvo, Scania, EvoBus GmbH (fusión Mercedes Benz y Setra) [5] y Man, han estado a la vanguardia y desarrollo de buses que combinan confort y autonomía reduciendo los niveles de emisiones de gases a valores extremadamente bajos [1].

Debido que dicho Trabajo Final se encuentra focalizado en un Análisis Técnico, Económico y Ambiental de la Implementación de Buses Híbridos en la ciudad de Mar del Plata, hay que considerar un factor importante que es el costo de flete de dichas unidades desde fábrica a dicha ciudad.

Para minimizar un costo “a priori” elevado de flete desde fábrica a lugar de destino, se limitó dicha la búsqueda a constructores de Buses Híbridos Nacionales o de países limítrofes.

Como países constructores de buses híbridos en Sudamérica se pueden nombrar: Brasil, con tres empresas de punta en las cuales utilizan tecnología europea y Argentina con una empresa la cual utilizar tecnología americana.

Las empresas son:

- **TAT SA –EATON** en Argentina la cual se encuentra desarrollando buses híbridos desde al año 2005 [2],
- **Marcopolo** en Brasil consolidada desde el año 1971 en la construcción de colectivos convencionales, en 2013 presentó al mercado su colectivo híbrido [3],
- **Volvo Latinoamérica** en la ciudad de Curitiba Brasil, a partir de mediados de 2012 comenzó la fabricación de su línea híbrida [4].



- **Electra Tecnología Eléctrica de Tracción**, en Brasil, cuenta con 12 modelos diferentes de buses híbridos y 5 modelos de buses asistidos eléctricamente (Trolebús) [6].

### Descripción de Buses Híbridos

Basado en la información proveniente de catálogos y consultas realizadas a los responsables técnicos de dichas fabricas, se pudo efectuar una comparación entre los buses híbridos disponibles en el mercado actual (Ver Tabla 3-1).



Fabricante	Modelo	Longitud	Motorización		Capacidad de		Ahorro de combustible	Emisiones EURO	Reduccion de contaminantes	Configuración Híbrida	Costo en fabrica	Costo Flete y aduana
			MCI	Sistema Híbrido	Sentados	Totales						
TAT SA EATON	PUMA D 12H	12 m	CUMMINS 162 Kw (220 HP) @ 2500 rpm	EATON	26	87	30%	EURO III-IV-V	30%	Paralelo + Frenado regenerativo	250.000u\$s [13]	N/A
Volvo	Volvo 7700 híbrido	12 m	Volvo D5E 210hp/800Nm	Volvo I-SAM / 160ho/800Nm	30	95	30%	Euro 5 y EEV	40 - 50%	Paralelo + Frenado regenerativo	275.000u\$s	Aprox. 30 a 45% del valor de la unidad [30].
Volvo	Volvo 7900 híbrido	12 m	Volvo D5F215 (161 kW/800Nm)	120 kW/800 Nm	30	102	39%	Euro 5 y EEV	40 - 50%	Paralelo + Frenado regenerativo	275.000u\$s	Aprox. 30 a 45% del valor de la unidad [30].
Marcopolo	Viale BRS	13,4 m	Volvo B5RLH	160cv	41	91	35%	Euro 5	90%	Paralelo + Frenado regenerativo		
Marcopolo	Viale BRS Articulado	21 m	Volvo B5RLH	160 cv	---	145	35%	Euro 5	90%	Paralelo + Frenado regenerativo	---	
Electra	Low Entry - Metra (12)	12 m	Mercedes-Benz - OM 904 LA	60 kw @ 1.800 rpm	37	77	---	EURO 2	---	---	---	
Electra	Piso Alto - SP Trans	12 m	International HS 2,8 L103 cv (77 kw) @ 2.200 rpm	60 kw @ 1.800 rpm	37	77	---	EURO 3	---	---	---	
Electra	HíbridoBR - 13,2 Metros	13,2 m	Mercedes-Benz - Modelo: OM 924 LA 136 kw @ 2.200 rpm	80 kw @ 1.350 rpm	27	81	---	Euro 5	---	---	---	

\* Los catalogos de dichos vehiculos se encuentran en el anexo

Tabla 3-1



### Selección del bus híbrido

Para llevar a cabo un análisis técnico, económico y ambiental entre un bus híbrido y uno convencional, debemos analizar cuál de los buses híbridos disponibles en el mercado, según los presentados en la Tabla 3-1, es la opción más conveniente.

Para ello, se plantearon diferentes criterios para la selección del mejor autobús híbrido, tales como:

- Costo de la unidad y flete desde Fabrica a ciudad de destino (Mar del Plata).
- Consumo litros por kilometro recorrido.
- Cantidad máxima de asientos y personas transportadas.
- Cantidad de contaminantes emitidos a la atmosfera.

### Selección de Buses Híbridos y comparativa con Buses convencionales

De acuerdo a los autobuses híbridos disponibles y basados en los criterios de selección propuestos en párrafos anteriores, se decidió realizar un análisis en conjunto tomando el autobús Híbrido Nacional de **TAT-SA PUMA D 12H** y el de industria brasilera **Volvo 7900 híbrido**.

Así mismo, para el caso del bus convencional, debido la diversidad de modelos existentes en plaza, se optó por realizar un modelo “*real de consumo de combustible*” basado en valores aportados por el **UTE “El Libertador”**, en condiciones de trabajo normales.

### Costo real de combustible para el año 2013

Partiendo de la información brindada a través de entrevistas en la oficina del **UTE “El Libertador”** con el Sr Gerente Juan Bilbao y Srta Sandra Ciacelli [7], se obtuvo que:

El Partido de General Pueyrredón cuenta con una flota estimada en 408 buses convencionales alimentado a combustible tipo Gas Oil. La cantidad promedio de kilómetros anuales recorridos son de aproximadamente 34.935.532km/año<sup>3</sup> y el consumo de combustible de cada unidad es de aproximadamente 0,4 litros/Km.

Para el cálculo del costo anual de combustible, primero se deberá estimar un costo mensual considerando las variaciones del precio del litro de Gas Oil en surtidor.

---

<sup>3</sup> Los kilómetros anuales fueron modificados luego de cotejar con información del Ministerio del Interior y Transporte [9].



En la Tabla 3-2 se muestra la variación de precios en surtidor para el combustible **Gasoil – EURO Diesel** de la petrolera **YPF** [8].

<b>Petrolera : YPF</b> <b>Combustible : EURO Diesel .</b>	
<b>Mes</b>	<b>Precio de Combustible 2013</b>
Enero	6,794
Febrero	6,894
Marzo	6,994
Abril	7,090
Mayo	7,299
Junio	7,499
Julio	7,999
Agosto	8,299
Septiembre	8,499
Octubre	9,390
Noviembre	9,699
Diciembre	10,599

**Tabla 3-2**

Para la obtención de los kilómetros reales recorridos por empresa, se debió cruzar información brindada tanto del:

- Ministerio del Interior y Transporte; Secretaria de Transporte – Tabla *Verificación de cumplimiento de requisitos Res. ST N° 337-04*, donde discrimina cada línea de transporte por líneas y kilómetros recorridos anuales [9].
- Secretaría de Transporte y Transito Municipalidad General Pueyrredón - Estadística de kilómetros recorridos mensuales discriminados por mes Tabla 3-3 [10],



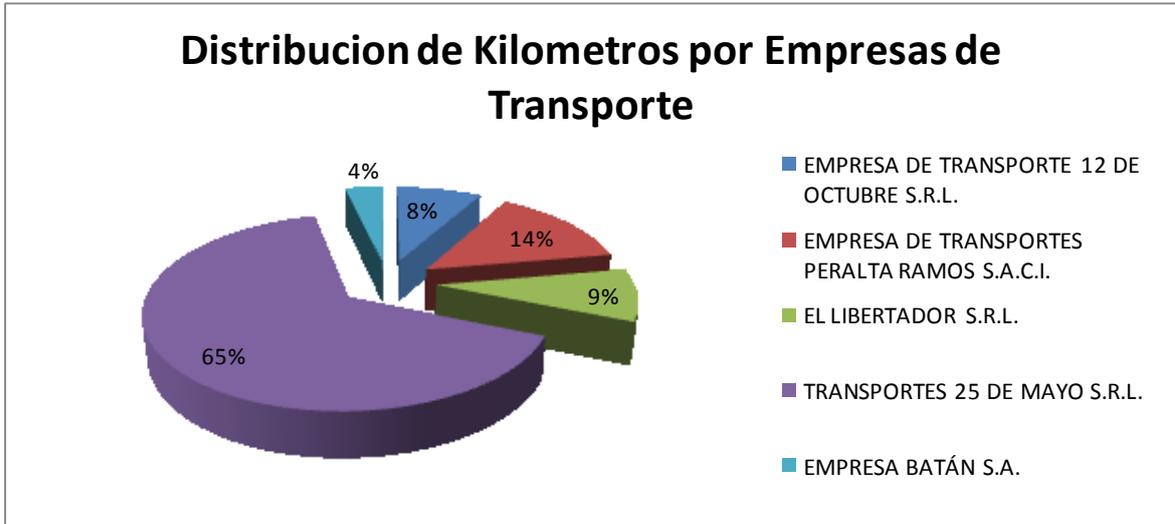
Mes	Cantidad de KM					
	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Enero	3.164.491	3.122.278	3.088.241	3.066.115	3.091.541	3.288.617
Febrero	2.857.941	2.910.796	2.811.881	2.776.992	2.835.029	2.902.417
Marzo	2.979.064	2.850.767	2.936.709	2.903.042	2.864.141	2.934.930
Abril	2.749.045	2.822.593	2.792.310	2.783.811	2.811.571	2.724.202
Mayo	2.791.622	2.932.972	2.850.037	2.806.364	2.760.485	2.828.314
Junio	2.717.829	2.620.712	2.833.931	2.755.768	2.770.940	2.859.460
Julio	2.713.384	2.741.736	2.507.016	2.806.005	2.706.562	2.849.880
Agosto	2.822.054	2.702.207	2.778.532	2.848.762	2.807.126	2.796.508
Septiembre	2.726.650	2.970.470	2.769.491	2.825.984	2.841.223	2.988.621
Octubre	2.840.220	2.998.056	2.865.156	2.814.534	2.851.569	2.942.362
Noviembre	2.828.023	2.914.699	2.814.450	2.835.379	2.809.419	2.911.531
Diciembre	2.853.711	2.935.695	2.842.267	2.834.589	2.831.571	2.908.690
TOTAL Km	34.044.034	34.522.981	33.890.021	34.057.345	33.981.177	34.935.532

**Tabla 3-3**

Para discriminar los kilómetros recorridos por Empresa en forma mensual, se debió realizar un cálculo de porcentaje de participación de las diferentes Empresas a partir de la información brindada por el Ministerio del Interior y Transporte [9], por lo tanto obtenemos la Tabla 3-4 y Figura 3-1:

Empresa	Líneas	km/año	km/año	% incidencia
EMPRESA DE TRANSPORTE 12 DE OCTUBRE S.R.L.	531	1.202.443		8
	532	1.243.998		
	533	306.511	2.752.952	
EMPRESA DE TRANSPORTES PERALTA RAMOS S.A.C.I.	511	2.262.096		14
	512A	470.688		
	512B	886.210		
	717	1.160.810	4.779.804	
EL LIBERTADOR S.R.L.	562	1.743.876		9
	563	1.298.901	3.042.777	
TRANSPORTES 25 DE MAYO S.R.L.	501	287.370		65
	521	1.132.463		
	522	1.406.147		
	523	1.693.666		
	525	360.392		
	541	1.130.678		
	542	1.195.828		
	543	1.257.008		
	551	1.650.006		
	552	1.869.585		
	553	1.676.872		
	554	1.117.276		
	555	1.013.415		
	571	2.038.479		
	573	1.548.712		
581	507.148			
591	1.037.910			
593	1.180.071	22.103.026		
EMPRESA BATÁN S.A.	715	584.518		4
	720	627.907	1.212.425	
Total de Kilómetros anuales		33.890.984		

**Tabla 3-4**



**Figura 3-1**

En base a los porcentajes de participación por Empresa de Transporte, se obtuvieron los kilómetros recorridos por dichas Empresa de forma mensual a partir de la Tabla 3-3 columna Año 2013 [10]. Cabe aclarar que este cálculo fue realizado debido a la gran diferencia de kilómetros anuales registrados para el año 2013 entre los listados publicados por el Ministerio del Interior y Transporte y los entregados por la Dirección de Transporte y Transito de MGP.

Dicha información se resume en la Tabla 3-5

Descripción	Razon Social					Total
	EMPRESA DE TRANSPORTE 12 DE OCTUBRE S.R.L.	EMPRESA DE TRANSPORTES PERALTA RAMOS S.A.C.I.	EL LIBERTADOR S.R.L.	TRANSPORTES 25 DE MAYO S.R.L.	EMPRESA BATÁN S.A.	
Enero Km recorridos	267.133	463.809	295.256	2.144.771	117.648	3.288.617
Febrero Km recorridos	235.762	409.341	260.583	1.892.899	103.832	2.902.417
Marzo Km recorridos	238.403	413.927	263.502	1.914.103	104.995	2.934.930
Abril Km recorridos	221.286	384.207	244.582	1.776.670	97.456	2.724.202
Mayo Km recorridos	229.743	398.890	253.930	1.844.570	101.181	2.828.314
Junio Km recorridos	232.273	403.283	256.726	1.864.883	102.295	2.859.460
Julio Km recorridos	231.495	401.932	255.866	1.858.635	101.952	2.849.880
Agosto Km recorridos	227.159	394.405	251.074	1.823.827	100.043	2.796.508
Septiembre Km recorridos	242.765	421.499	268.322	1.949.119	106.916	2.988.621
Octubre Km recorridos	239.007	414.975	264.169	1.918.950	105.261	2.942.362
Noviembre Km recorridos	236.503	410.627	261.401	1.898.843	104.158	2.911.531
Diciembre Km recorridos	236.272	410.226	261.146	1.896.990	104.056	2.908.690
Total KM						34.935.532

**Tabla 3-5**



### Costo anual por consumo de combustible

Para el cálculo del costo por consumo de combustible se hará siguiendo la ecuación [3-1], se adopta como parámetro fijo-real  $CCP= 0,4$  [7].

Por lo tanto:

$$Costo\ anual = \sum_{mes=1}^{\hat{n}} \sum_{i=1}^{\hat{m}} \dots \dots \dots [3-1]$$

Siendo :

*KmR* :Kilómetros Recorridos por empresa por mes.

*CCP* : Consumo de Combustible Promedio.

*CC* : Costo de Combustible en surtidor por mes. \*

\* Tabla de precios de combustible año 2013

En la Tabla 3-6, se identifica el cálculo desarrollado.



Mes	Descripción	Razon Social					Total
		EMPRESA DE TRANSPORTE 12 DE OCTUBRE S.R.L.	EMPRESA DE TRANSPORTES PERALTA RAMOS S.A.C.I.	EL LIBERTADOR S.R.L.	TRANSPORTES 25 DE MAYO S.R.L.	EMPRESA BATÁN S.A.	
Enero	Km recorridos	267.133	463.809	295.256	2.144.771	117.648	3.288.617
	Cantidad de litros/mes	120.210	208.714	132.865	965.147	52.942	1.479.878
Febrero	Combustible : 6,794 [\$/litros]	816.706	1.418.003	902.687	6.557.207	359.685	10.054.289
	Km recorridos	235.762	409.341	260.583	1.892.899	103.832	2.902.417
Marzo	Cantidad de litros/mes	106.093	184.204	117.262	851.804	46.724	1.306.088
	Combustible : 6,994 [\$/litros]	731.405	1.269.900	808.406	5.872.340	322.117	9.004.168
Abril	Km recorridos	238.403	413.927	263.502	1.914.103	104.995	2.934.930
	Cantidad de litros/mes	107.281	186.267	118.576	861.346	47.248	1.320.719
Mayo	Combustible : 6,994 [\$/litros]	750.327	1.302.752	829.319	6.024.256	330.451	9.237.105
	Km recorridos	221.286	384.207	244.582	1.776.670	97.456	2.724.202
Junio	Cantidad de litros/mes	99.579	172.893	110.062	799.502	43.855	1.225.891
	Combustible : 7,090 [\$/litros]	706.013	1.225.812	780.340	5.668.467	310.934	8.691.566
Julio	Km recorridos	229.743	398.890	253.930	1.844.570	101.181	2.828.314
	Cantidad de litros/mes	103.384	179.501	114.268	830.057	45.531	1.272.741
Agosto	Combustible : 7,299 [\$/litros]	754.602	1.310.175	834.045	6.058.583	332.334	9.289.739
	Km recorridos	232.273	403.283	256.726	1.864.883	102.295	2.859.460
Septiembre	Cantidad de litros/mes	104.523	181.477	115.527	839.197	46.033	1.286.757
	Combustible : 7,499 [\$/litros]	783.816	1.360.899	866.335	6.293.141	345.200	9.649.391
Octubre	Km recorridos	231.495	401.932	255.866	1.858.635	101.952	2.849.880
	Cantidad de litros/mes	104.173	180.869	115.140	836.386	45.879	1.282.446
Noviembre	Combustible : 7,999 [\$/litros]	833.277	1.446.774	921.002	6.690.250	366.983	10.258.286
	Km recorridos	227.159	394.405	251.074	1.823.827	100.043	2.796.508
Diciembre	Cantidad de litros/mes	102.222	177.482	112.983	820.722	45.019	1.258.429
	Combustible : 8,299 [\$/litros]	848.338	1.472.924	937.649	6.811.173	373.616	10.443.699
Total KM	Km recorridos	242.765	421.499	268.322	1.949.119	106.916	2.988.621
	Cantidad de litros/mes	109.244	189.675	120.745	877.104	48.112	1.344.879
Total	Combustible : 8,499 [\$/litros]	928.465	1.612.045	1.026.212	7.454.504	408.905	11.430.130
	Km recorridos	239.007	414.975	264.169	1.918.950	105.261	2.942.362
Total	Cantidad de litros/mes	107.553	186.739	118.876	863.528	47.367	1.324.063
	Combustible : 9,390 [\$/litros]	1.009.924	1.753.477	1.116.247	8.108.523	444.780	12.432.951
Total	Km recorridos	236.503	410.627	261.401	1.898.843	104.158	2.911.531
	Cantidad de litros/mes	106.426	184.782	117.630	854.479	46.871	1.310.189
Total	Combustible : 9,699 [\$/litros]	723.059	1.255.409	799.181	5.805.332	318.442	8.901.424
	Km recorridos	236.272	410.226	261.146	1.896.990	104.056	2.908.690
Total	Cantidad de litros/mes	106.322	184.602	117.516	853.645	46.825	1.308.911
	Combustible : 10,599 [\$/litros]	722.354	1.254.184	798.402	5.799.667	318.131	8.892.738
Total	Km recorridos						34.935.532
	Cantidad de litros/mes						15.720.989
Costo por Combustible [\$/litros]							118.285.485

Tabla 3-6

De la Tabla 3-6 se obtiene un costo anual por combustible sin afectación de subsidio de aproximadamente Pesos \$ 127.071.988,00.



### Cálculo de subsidio anual entregado por el Estado Nacional

Del Costo anual previamente calculado una parte es absorbida por el Estado Argentino según **Decreto 652/2002 Convenio de Estabilidad de Suministro del Gasoil suscripto entre el Estado Nacional y las empresas productoras y refinadoras de hidrocarburos.**

Según la entrevista con el Gerente SISTAU<sup>4</sup> dependiente de la Secretaria de Transporte (Ministerio del Interior y Transporte), los subsidios en concepto de combustible que son entregados por el estado nacional a las empresas son por medio de “Precio diferencial del Gas Oil” en una cantidad limitada en metros cúbicos según factores particulares de cada empresa.

El costo de Gas Oil a precio diferencial para el año 2013 fue de 3\$ /litro.[11] por lo tanto el costo absorbido por el Estado Nacional es la diferencia entre el Costo en surtidor y Precio Diferencial Subsidiado.

En la Tabla 3-7 se detallan los subsidios entregados a las empresas a lo largo del año 2013 [11] [12].

Mes	Descripcion	EMPRESA DE TRANSPORTE 12 DE OCTUBRE S.R.L.	EMPRESA DE TRANSPORTES PERALTA RAMOS S.A.C.I.	EL LIBERTADOR S.R.L.	TRANSPORTES 25 DE MAYO S.R.L.	EMPRESA BATÁN S.A.	Litros totales subsidiados
Enero	Cant. Litros subsidiados	73.900	172.700	106.000	710.300	38.600	1.101.500
Febrero	Cant. Litros subsidiados	82.900	172.700	95.600	677.200	37.700	1.066.100
Marzo	Cant. Litros subsidiados	78.500	155.400	96.800	641.700	33.900	1.006.300
Abril	Cant. Litros subsidiados	73.900	172.700	106.000	710.300	38.600	1.101.500
Mayo	Cant. Litros subsidiados	78.500	155.400	94.300	629.000	33.900	991.100
Junio	Cant. Litros subsidiados	78.400	155.400	96.800	646.800	33.900	1.011.300
Julio	Cant. Litros subsidiados	76.500	154.700	96.700	646.800	33.900	1.008.600
Agosto	Cant. Litros subsidiados	78.400	154.700	96.700	646.800	33.900	1.010.500
Septiembre	Cant. Litros subsidiados	78.400	154.700	96.700	646.800	33.900	1.010.500
Octubre	Cant. Litros subsidiados	73.900	172.700	106.000	710.300	38.600	1.101.500
Noviembre	Cant. Litros subsidiados	73.900	172.700	106.000	710.300	38.600	1.101.500
Diciembre	Cant. Litros subsidiados	73.900	172.700	106.000	710.300	38.600	1.101.500
Subsidio Total [litros]							12.611.900

**Tabla 3-7**

Por lo tanto, el Estado Nacional subsidia aproximadamente 12.611.900 litros de Gas Oil por año.

En base a la Tabla 3-7, se pudo determinar para cada línea de colectivos el Costo absorbido por el Estado Nacional en forma de Subsidio y el Gasto Total Privado, para el ejercicio del año 2013. Dichos valores se encuentran representados en la Tabla 3-8.

<sup>4</sup> SISTAU- Sistema Integrado de Transporte Automotor – ente regulatorio de Subsidios al Transporte Público de Pasajeros.



Es de destacar que el subsidio se encuentra sujeto a la compra de combustible en la petrolera que el estado nacional determine y crea conveniente [12]. Debido que el 96,8% de los metros cúbicos asignados por el Estado Nacional en el año 2013 fueron de la petrolera YPF, el cálculo de costos se realizó en base al precio en surtidor de dicha petrolera Tabla 3-2.

Mes	Descripcion	EMPRESA DE TRANSPORTE 12 DE OCTUBRE S.R.L.	EMPRESA DE TRANSPORTES PERALTA RAMOS S.A.C.I.	EL LIBERTADOR S.R.L.	TRANSPORTES 25 DE MAYO S.R.L.	EMPRESA BATÁN S.A.	Costos parciales [Pesos Arg]	
Enero	Gasto de Combustible 3[ \$/litro] (Empresa)	221.700	518.100	318.000	2.130.900	115.800	3.304.500	
	Gasto de Combustible : 6,794 [\$/litros] **	314.630	244.680	182.523	1.731.429	97.436	2.570.698	
	Costo absorbido por el Estado Nacional	280.377	655.224	402.164	2.694.878	146.448	4.179.091	
Febrero	Gasto de Combustible 3[ \$/litro] (Empresa)	248.700	518.100	286.800	2.031.600	113.100	3.198.300	
	Gasto de Combustible : 6,894 [\$/litros] **	159.893	79.306	149.340	1.203.723	62.214	1.654.475	
	Costo absorbido por el Estado Nacional	322.813	672.494	372.266	2.637.017	146.804	4.151.393	
Marzo	Gasto de Combustible 3[ \$/litro] (Empresa)	235.500	466.200	290.400	1.925.100	101.700	3.018.900	
	Gasto de Combustible : 6,994 [\$/litros] **	201.298	215.885	152.300	1.536.207	93.354	2.199.043	
	Costo absorbido por el Estado Nacional	313.529	620.668	386.619	2.562.950	135.397	4.019.162	
Abril	Gasto de Combustible 3[ \$/litro] (Empresa)	221.700	518.100	318.000	2.130.900	115.800	3.304.500	
	Gasto de Combustible : 7,09 [\$/litros] **	182.062	1.369	28.800	632.440	37.260	881.931	
	Costo absorbido por el Estado Nacional	302.251	706.343	433.540	2.905.127	157.874	4.505.135	
Mayo	Gasto de Combustible 3[ \$/litro] (Empresa)	235.500	466.200	282.900	1.887.000	101.700	2.973.300	
	Gasto de Combustible : 7,299 [\$/litros] **	181.631	175.911	145.749	1.467.512	84.897	2.055.700	
	Costo absorbido por el Estado Nacional	337.472	668.065	405.396	2.704.071	145.736	4.260.739	
Junio	Gasto de Combustible 3[ \$/litro] (Empresa)	235.200	466.200	290.400	1.940.400	101.700	3.033.900	
	Gasto de Combustible : 7,499 [\$/litros] **	195.895	195.554	140.432	1.442.788	90.984	2.065.652	
	Costo absorbido por el Estado Nacional	352.722	699.145	435.503	2.909.953	152.516	4.549.839	
Julio	Gasto de Combustible 3[ \$/litro] (Empresa)	229.500	464.100	290.100	1.940.400	101.700	3.025.800	
	Gasto de Combustible : 7,999 [\$/litros] **	221.353	209.329	147.499	1.516.497	95.817	2.190.494	
	Costo absorbido por el Estado Nacional	382.424	773.345	483.403	3.233.353	169.466	5.041.991	
Agosto	Gasto de Combustible 3[ \$/litro] (Empresa)	235.200	464.100	290.100	1.940.400	101.700	3.031.500	
	Gasto de Combustible : 8,299 [\$/litros] **	197.696	189.068	135.136	1.443.380	92.280	2.057.559	
	Costo absorbido por el Estado Nacional	415.442	819.755	512.413	3.427.393	179.636	5.354.640	
Septiembre	Gasto de Combustible 3[ \$/litro] (Empresa)	235.200	464.100	290.100	1.940.400	101.700	3.031.500	
	Gasto de Combustible : 8,499 [\$/litros] **	262.144	297.249	204.359	1.957.351	120.788	2.841.891	
	Costo absorbido por el Estado Nacional	431.122	850.695	531.753	3.556.753	186.416	5.556.740	
Octubre	Gasto de Combustible 3[ \$/litro] (Empresa)	221.700	518.100	318.000	2.130.900	115.800	3.304.500	
	Gasto de Combustible : 9,39 [\$/litros] **	316.003	131.824	120.907	1.438.806	82.326	2.089.866	
	Costo absorbido por el Estado Nacional	472.221	1.103.553	677.340	4.538.817	246.654	7.038.585	
Noviembre	Gasto de Combustible 3[ \$/litro] (Empresa)	221.700	518.100	318.000	2.130.900	115.800	3.304.500	
	Gasto de Combustible : 9,699 [\$/litros] **	315.471	117.184	112.804	1.398.394	80.221	2.024.074	
	Costo absorbido por el Estado Nacional	495.056	1.156.917	710.094	4.758.300	258.581	7.378.949	
Diciembre	Gasto de Combustible 3[ \$/litro] (Empresa)	221.700	518.100	318.000	2.130.900	115.800	3.304.500	
	Gasto de Combustible : 10,599 [\$/litros] **	343.644	126.147	122.055	1.519.318	87.180	2.198.344	
	Costo absorbido por el Estado Nacional	561.566	1.312.347	805.494	5.397.570	293.321	8.370.299	
Gasto Total	Sector Privado							62.665.427
	Sector Publico ( SUBSIDIOS)							64.406.562

Gasto de Combustible 3[ \$/litro] (Empresa) = Cantidad de Litros subsidiados (Tabla 3-7) \* 3 [\$/litro]

Gasto de Combustible : xxx [\$/litros] \*\* = {Cantidad de Litros/ mes (Tabla 3-6) - Cantidad de Litros subsidiados (Tabla 3-7)}\* Costo del Gas oil (Tabla 3-2)

Costo absorbido por el Estado Nacional = {Costo del Gas oil (Tabla 3-2)-3 [\$/ litro]}\* Cantidad de Litros subsidiados(Tabla 3-7)

**Tabla 3-8**

Según lo observado en la Tabla 3-7 y Tabla 3-8, aproximadamente un 80% de consumo mensual del Gas Oil se encuentra con un precio diferencial a 3 \$ moneda argentina por litro. La diferencia restante de litros (20%) es a precio en surtidor. Ver Figura 3-2



### Litros afectados al "Precio Diferenciado al Gas oil"

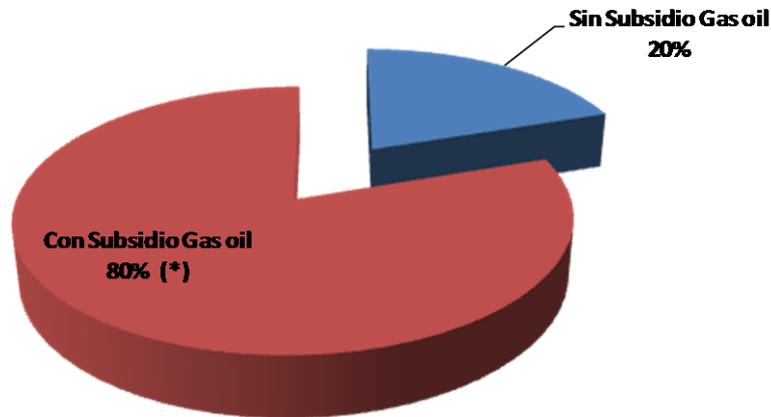


Figura 3-2

#### Ahorro de combustible

Ahora analizaremos el comportamiento de los buses híbridos seleccionados de cara al ahorro de combustible (Tabla 3-1).

- **Bus TAT-SA:**

En la entrevista mantenida con el responsable técnico de la empresa TAT SA, Ing. Juan Sacco, destacó la importancia del combustible utilizado para mantener tanto los ahorros de combustible como la reducción de emisiones. Los ensayos de laboratorio - campo como pruebas en escenarios reales han demostrado un ahorro de combustible de hasta 30% en relación a buses de similares características.[2][13]

$$\text{Ahorro de combustible} = \text{d de litros por año} * 0,3^5$$

Entonces, en el caso que tengamos flota unificada de buses híbridos obtendríamos un ahorro de:

$$\text{Ahorro de combustible} = 189 \left[ \quad \right]$$

$$\text{Ahorro de combustible} = 16,7 \left[ \quad \right]$$

<sup>5</sup> La Cantidad de litros por mes se obtienen de la Tabla 3-6



- **Bus 7900 híbrido**

Debido que no se tuvo oportunidad de entrevistar un Responsable Técnico, el desarrollo se realizó según las hojas técnicas de los fabricantes, los cuales aseguran reducciones de hasta un 39%.

Por lo tanto, en el caso que tengamos flota unificada de buses híbridos obtendríamos un ahorro de:

$$\begin{aligned} \text{Ahorro de combustible} &= 189 \left[ \quad \right] \\ \text{Ahorro de combustible} &= 35,71 \left[ \quad \right] \end{aligned}$$

### **Ahorro de emisiones**

El mercado de los bonos de carbono nació con el protocolo de Kyoto y el compromiso adquirido por diversos países de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (el más importante de ellos es el Dióxido de Carbono).

Este mecanismo permite a una industria o empresa cumplir con el límite impuesto a sus contaminantes comprando o vendiendo “emisiones” a un tercero.

Por lo tanto cada tonelada de Dióxido de Carbono emitido a la atmosfera tiene un precio el cual es regulado de forma internacional y depende de la oferta y demanda mundial.[26][29]

En nuestro caso, de una forma muy general calcularemos las emisiones remanentes de CO2 debido a la incorporación de tecnología (Buses Híbridos), dichas emisiones en el mercado mundial poseen cierto valor el cual se puede tomar como un ahorro y llegado al caso como un ingreso de valores.

Para cuantificar dicha reducción es que se dispuso determinar la masa de CO2 generada anualmente.

Mediante tablas equivalentes las cuales relacionan la cantidad de masa de CO2 por litro de combustible quemado [14], es que se pudo hallar de manera aproximada el ahorro de dichas emisiones.

$$\text{Valor equivalente} : 2,6202 \left[ \quad \right]$$

El ahorro de emisiones de CO2 de toda la flota (408 buses) por año será:

- **Para el modelo Puma D12H - TAT SA**

$$4.716.296,7 \left[ \quad \right] \left[ \quad \right] \approx \left[ \quad \right]$$



El costo de 1 tonelada de CO<sub>2</sub> es aproximadamente de 10 u\$s, al cambio oficial para el año 2013 es: [15][23]

$$10 \left[ \frac{\text{u\$s}}{\text{Ton CO}_2} \right] \cdot \frac{6,1180+}{2} = \left[ \quad \right]$$

$$758.511,94 \left[ \quad \right]$$

- **Para el modelo Volvo 7900 Híbrido**

$$6.131.185,- \left[ \quad \right] \left[ \quad \right] \approx \left[ \quad \right]$$

El costo de 1 tonelada de CO<sub>2</sub> es aproximadamente de 10 u\$s, al cambio oficial para el año 2013 es: [15][23]

$$10 \left[ \frac{\text{u\$s}}{\text{Ton CO}_2} \right] \cdot \frac{6,1180+}{2} = \left[ \quad \right]$$

$$986.065,41 \left[ \quad \right]$$

### **Ahorro de externalidades**

El desarrollo del cálculo del costo de externalidades producidas por las emisiones de gases contaminantes emitidos por los motores de combustión interna (Gas Oil), está basado en los perjuicios generados por altas concentraciones de Material Particulado MP10µm en aire.

Para ello, fue consultado tanto el **Área de Medio Ambiente** municipal con respecto a mediciones de concentraciones de gases en diferentes puntos estratégicos de la ciudad [16], como la **Secretaría de Salud** municipal con respecto a costos estimados o estadísticas relacionadas por consultas hospitalarias relacionadas a enfermedades respiratorias [17].



Luego de las entrevistas mantenidas con responsables de ambos sectores (Medio Ambiente y Salud) [16][17], se determinó que al día de hoy, el partido de Gral. Pueyrredón no cuenta con mediciones de gases y estadísticas de costos hospitalarios para ser relacionados entre sí.

Con lo cual se optó por realizar un cálculo aproximado de la concentración promedio de Material Particulado MP10 $\mu$ m en aire, basándose en concentraciones muestreadas en la ciudad de Bahía Blanca [18]. Si bien, entre la ciudad de Bahía Blanca y Mar del Plata poseen características similares con respecto a condiciones climáticas, la densidad poblacional y extensión territorial no. Por lo tanto, la concentración de MP10 $\mu$ m será afectada por un factor que relacione la *Cantidad de Kilómetros recorridos anualmente* por dichos buses y la *extensión territorial*, obteniendo así una extrapolación muy aproximada.

De la Figura 3-3 obtenemos el valor promedio de MP10 $\mu$ m para la ciudad de Bahía Blanca para el año 2008[18].

Contaminante	Categoría	Años			
		2003	2004	2005	2006
SO <sub>2</sub>	Promedio anual (ppb)	2	< 1	3	5
	Máxima concentración promedio de 1 hora (ppb)	126	34	44	63
	Percentil 95 de las concentraciones promedio de 1 hora (ppb)	5	3	7	9
	Número de días que excede las guías de la OMS (ppb)1	0	0	0	0
	Número de días muestreados	217	129	317	290
NO <sub>2</sub>	Promedio anual (ppb)	5	22	28	15
	Máxima concentración promedio de 1 hora (ppb)	85	578	120	339
	Percentil 95 de las concentraciones promedio de 1 hora (ppb)	10	80	27	42
	Número de días que excede las guías de la OMS (ppb)1	0	42	0	11
	Número de días muestreados	46	311	192	318
CO	Promedio anual (ppm)	0.73	0.43	0.24	0.40
	Máxima concentración promedio de 1 hora (ppm)	6	14.87	3.27	4.98
	Percentil 95 de las concentraciones promedio de 1 hora (ppm)	1.12	0.73	0.52	0.69
	Número de días que excede las guías de la OMS (ppm)1	0	0	0	0
	Número de días muestreados	233	314	306	332
O <sub>3</sub>	Promedio anual (ppb)	s/i	s/i	16	10
	Máxima concentración promedio de 1 hora (ppb)	s/i	s/i	80	38
	Percentil 95 de las concentraciones promedio de 1 hora (ppb)	s/i	s/i	28	22
	Número de días que excede las guías de la OMS (ppb)1	s/i	s/i	0	0
	Número de días muestreados	s/i	s/i	328	329
PM10	Promedio anual (mg/m3)	49.0	40.3	49.6	56.3
	Máxima concentración promedio de 24 horas (mg/m3)	187.7	395.7	393.7	458.3
	Número de días muestreados	211	271	320	318

s/i: Sin información. 1. Guías de la OMS: SO<sub>2</sub> (500 ppb, 1 hora), NO<sub>2</sub> (200 ppb, 1 hora), CO (35 ppm, 1 hora), Ozono (120 ppb, 1 hora)  
Nombre de la estación de muestreo: Estación de Monitoreo Continuo de Aire de Bahía Blanca I, E.M.C.A.B.B. I.  
Zona donde está ubicada la estación de muestreo: Uso Residencial Mixto.  
Fuente: Laboratorio de Análisis Ambientales. Dirección de Medio Ambiente. Subsecretaría de Gestión Ambiental. Gobierno de Bahía Blanca.

Figura 3-3



Se obtiene

$$\text{Concentracion } MP_{10\mu} \text{ en } \dots = \frac{\dots}{m}$$

### Estimación de Factor de Corrección

Como hemos mencionado, dicho factor se realizará en base a dos variables las cuales son la *cantidad de kilómetros* que recorren dichas unidad de transporte público y la *extensión en superficie* de dichas ciudades.

En este análisis no se ha tomado en cuenta agentes externos como emisiones de gases producidos por fabricas, destilerías, petroquímicas y/o camiones de transporte.

Por lo tanto, el Factor de Corrección queda determinado de la siguiente manera:

$$\text{Factor de Correccion} = \left( \dots \right) \left( \dots \right)$$

$$\text{Factor de Correccion} = \left( \dots \right) \left( \dots \right)$$

$$\text{Factor de Correccion} = \dots = \dots$$

Reemplazando, obtenemos **la concentración estimada en la Ciudad de Mar del Plata:**

$$\text{Concentracion } MP_{10\text{MardelPlata}} = \text{racion } MP_{10\text{BahiaBlanca}} * \text{Factor de Correccion}$$

$$\text{Concentracion } MP_{10\text{MardelPlata}} = \frac{\dots}{m} * 1,35$$

$$\text{Concentracion } MP_{10\text{MardelPlata}} = \frac{\dots}{m}$$

Ahora bien, determinada la concentración de MP10µm, se deberá determinar la cantidad de personas las cuales pueden estar afectadas a enfermedades respiratorias y luego estimar el costo de gasto de índole hospitalario, ya sea por consultas ambulatorias como internación.

Para determinar la cantidad de personas afectadas por la concentración de MP10µm, dicho Trabajo Final se basó en el estudio presentado en la publicación del Lic. José Manuel Campos [19], la cual presenta de forma gráfica el cambio porcentual de personas las cuales son afectadas en una determinada variación de concentración de MP10µm. En la bibliografía citada, las gráficas se presentan



tanto para **Internaciones hospitalarias** como a **Efectos en la Salud** atribuidos al Material Particulado, para realizar los cálculos con mayor aproximación dichas graficas fueron transformadas a ecuaciones.

Por lo tanto:

- Para Internaciones hospitalarias atribuidas a concentraciones de MP10

$$\Delta \text{Internaciones Hospitalarias} = \frac{C_{MP10}}{m} \cdot \text{Población} + \dots$$

Se obtiene que el 6,66% de la población total perteneciente a la ciudad de Mar del Plata se encuentra afectada a Internaciones Hospitalarias. Para cuantificar dicho resultado se lo multiplica por la cantidad actual de habitantes en la ciudad.

Según censo 2010 la población existente en el Partido de General Pueyrredón es de 614.350 habitantes [20]

$$\text{Cantidad de Personas internaciones hospitalarias} = \frac{6,66}{100} \cdot 614.350 = 4091,55 \text{ [\$]}$$

- Para Efectos en la salud atribuidas a concentraciones de MP10

$$\Delta \text{Efectos en Salud} = \frac{C_{MP10}}{m} \cdot \text{Población} + \dots$$

Se obtiene que el 25,52% de la población total perteneciente a la ciudad de Mar del Plata se encuentra afectada a Efectos en la Salud. Para cuantificar dicho resultado se lo multiplica por la cantidad actual de habitantes en la ciudad.

Según censo 2010 la población existente en el Partido de General Pueyrredón es de 614.350 habitantes [20]

$$\text{Cantidad de Personas efectos en salud} = \frac{25,52}{100} \cdot 614.350 = 156782,56 \text{ [\$]}$$



### Costos atribuidos a Internaciones Hospitalarias y Efectos en la Salud

Debido que no se pudo cuantificar el gasto de índole hospitalaria de manera focalizado para la ciudad de Mar del Plata, se consideró tomar como opción válida aproximada los datos publicados en “**Indicadores Básicos 2012**” por el *Ministerio de Salud de la Nación* y abalado por la Organización Panamericana de la Salud [21].

- **Gasto público consolidado de salud- Total.2009.** Secretaría de Política Económica- MEcon : **6,21% del PBI** [21].
- **Gasto público consolidado de salud- Atención pública de la salud.** 2009. Secretaría de Política Económica- MEcon : **2.57% del PBI** [21].
- **PBI** para el año 2013 fue : *500 miles de millones de pesos.* [22]

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Gasto Publico Salud}_{Total} &= \text{'BI}(2013) \\ \text{Gasto Publico Salud}_{Total} &= \text{les de millones de pesos} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gasto Publico Salud}_{Atención\ Pública} &= \text{'BI}(2013) \\ \text{Gasto Publico Salud}_{Atención\ Pública} &= \text{les de millones de pesos} \end{aligned}$$

Si consideramos el **Gasto Publico en Salud Total** para el caso más grave el cual sería **Internaciones Hospitalarias** y el **Gasto Publico en Salud Atención Pública** para **Efectos en la Salud** tenemos:

- Costo Internaciones Hospitalarias

Cantidad de personas afectadas anualmente: 40.915

$$\text{Gasto Publico Salud}_{Total(per\ capita)} = \frac{21.05 \text{ miles de millones de pesos}}{15.594.428 \text{ habitantes}} = \text{pesos habitante}$$

$$\text{Costo total} = \text{pesos persona} = \text{pesos año}$$

- Costo efectos en la salud

Cantidad de personas afectadas anualmente: 156.782



$$Gasto\ Publico\ Salud_{Atención\ Pública\ (per\ capita)} = \frac{12.95\ \text{mil millones de pesos}}{15.594.428\ \text{habitantes}} = \text{habitante}$$

$$Costo\ total = \dots \frac{\text{pesos}}{\text{persona}} = \dots \frac{\text{pesos}}{\text{año}}$$

Por lo tanto, el costo total atribuido tanto a Internaciones Hospitalarias como a Efectos en la Salud, es:

$$Costo\ total = \dots \frac{\text{pesos}}{\text{año}} + \dots \frac{\text{pesos}}{\text{año}}$$

$$Costo\ total = .798 \left[ \frac{\$AR}{año} \right]$$

En tanto el ahorro de dicha externalidad se puede considerar de la siguiente manera para cada uno de los vehículos híbridos estudiados:

- Para el modelo Puma D12H- TAT SA

El cual indica un 30% de reducción de emisiones de gases según la Tabla 3-1 ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., tenemos:

$$Ahorro\ de\ Externalidades_{Bus\ TAT-} = \dots \frac{\text{pesos}}{\text{año}} \cdot 100$$

$$Ahorro\ de\ Externalidades_{Bus\ TAT-} \approx 139 \left[ \frac{\$AR}{año} \right]$$

Con ahorros de costo por externalidades de salud de aproximadamente de 62.776.439 Pesos por año, si se tuviera flota híbrida unificada.

- Para el modelo Volvo 7900 híbrido.

El cual indica entre el 40% y 50% de reducción de emisiones de gases según la Tabla 1-1 tenemos:

$$Ahorro\ de\ Externalidades_{Bus\ Volvo\ 7900\ hibrido} = \dots \frac{\text{pesos}}{\text{año}} \cdot 100$$

$$Ahorro\ de\ Externalidades_{Bus\ Volvo\ 7900\ hibrido} \approx 159 \left[ \frac{\$AR}{año} \right]$$

Con ahorros de costo por externalidades de salud de aproximadamente de 94.164.659 Pesos por año, si se tuviera flota híbrida unificada.



### **Ahorro anual con flota unificada**

Si el Partido de Gral. Pueyrredón, para el año 2013 el cual fue desarrollado éste Trabajo, hubiese contado con flota unificada, los ahorros serían los mostrados a continuación para cada uno de los vehículos híbridos estudiados:

- Para el modelo Puma D12H- TAT SA

Ahorro por Combustible*	23.996.121 \$/año
Ahorro por Emisiones	758.512 \$/año
Ahorro por Externalidades	62.776.439 \$/año
Ahorro Total	87.531.072 \$/año

**Tabla 3-9**

\* el precio del litro de combustible el cual el Estado Nacional cubre el Subsidio (diferencia entre Precio surtidor y Precio diferencial de Gas Oil).

- Para el modelo Volvo 7900 híbrido.

Ahorro por Combustible*	31.194.958 \$/año
Ahorro por Emisiones	986.065 \$/año
Ahorro por Externalidades	94.164.659 \$/año
Ahorro Total	126.345.683 \$/año

**Tabla 3-10**

\* el precio del litro de combustible el cual el Estado Nacional cubre el Subsidio (diferencia entre Precio surtidor y Precio diferencial de Gas Oil).

### **Estimación y viabilidad de reemplazo progresivo de flota**

Para realizar dicho calculo, se tomó como hipótesis conservativa que la cantidad de vehículos que se renuevan por año es un octavo del parque actual, por lo tanto:

$$\text{Renovacion anual} = \frac{\text{Vehiculos totales}}{8 \text{ años}} = \frac{408 \text{ Vehiculos}}{8 \text{ años}} = 51 \text{ vehiculos} \text{ / año}$$

de vehiculos

Lo que resulta, 51 vehículos híbridos por año.



Si bien la renovación de flota es real, las empresas optan por Buses convencionales Diesel con tecnología Euro III o IV frente a un Bus Híbrido, simplemente por una razón económica y amparadas en que no existen leyes que obliguen a bajar tanto el consumo de combustible como así también los niveles de emisiones.

La diferencia en costo es significativa entre ambos vehículos hoy en día y todavía los Buses Híbridos se encuentran en fase de prueba. Por lo tanto, este Trabajo Final plantea la participación del Estado Nacional en cubrir dicha diferencia en vías de fomentar la utilización de dicha tecnología.

A modo general se realizó un esquema de inversión, identificando Gastos y Ahorros vistos del punto de vista del Estado Nacional. El modelo de inversión para fomentar el uso de tecnología híbrida se basa en subsidiar las empresas privadas de transporte público de pasajeros en la diferencia monetaria de adquisición que existe entre ambos modelos de buses (Convencional e híbrido).

Según la normativa vigente para el Partido de Gral. Pueyrredón, la flota de buses no puede superar los 8 años de antigüedad y como se mencionó anteriormente, se estima un recambio de flota de 51 vehículos por año. Esto hace que el Estado Nacional invierta 22.159.500 pesos por año (debido que es la diferencia entre el costo de ambos buses, los aumentos de dichos vehículos se encuentran aparejados) [13][24].

Por otro lado, a medida que la flota de vehículos híbridos es mayor, el ahorro en combustible adquiere importancia y es un indicador directo y fácil de percibir, en cambio los que poseen índole ambiental o social, tal es el caso de emisiones y externalidades hospitalarias no son tan fáciles de cuantificar en el corto plazo ya que su inercia es mucho menor.

Dicha ésta aclaración, se plantean dos escenarios:

### **Escenario 1**

Considerando el análisis en que las variables que generan un Costo para el Estado Nacional, tales como: Subsidio de Combustible, Emisiones de Gases de escape y Externalidades Hospitalarias son todas sensibles al cambio conforme la incorporación de flota híbrida y

### **Escenario 2**

Considerando el análisis en que solo la variable Subsidio de Combustible sea sensible al cambio conforme la incorporación de flota híbrida, y que las variables Ambientales y Sociales (Emisiones de Gases de escape y Externalidades Hospitalarias) posean una inercia de cambio a partir de 5 años transcurrido la primera incorporación de vehículos híbridos.



Si bien este análisis debería estar afectado a un interés anual, dado por subas inflacionarias, se estima que en el único caso en que se vería afectado sería en el Subsidio de Combustible, en tanto en las Emisiones dicho precio es fijado internacionalmente y las Externalidades Hospitalarias son estimadas en base al PBI. Si bien, los vehículos tanto convencionales como híbridos se encuentran sujetos a ajustes de precio, ambos son trasladados de igual forma (en el caso de TATSA), por lo tanto dicha diferencia se puede considerar constante en el tiempo.

Los cálculos de inversión fueron realizados para los buses **Puma D12H de TAT-SA** y **Volvo 7900 Híbrido**, por lo tanto tenemos:

- **Escenario 1**
  - Tabla 3-11: Bus Puma D12H de TAT-SA
  - Tabla 3-12: Bus Volvo 7900 Híbrido
  
- **Escenario 2**
  - Tabla 3-13: Bus Puma D12H de TAT-SA
  - Tabla 3-14: Bus Volvo 7900 Híbrido

### Escenario 1

A continuación se detalla el análisis realizado:



Descripción		Estado inicial (año cero)	1er Año [\$/año]	2do Año [\$/año]	3er Año [\$/año]	4to Año [\$/año]	5to Año [\$/año]	6to Año [\$/año]	7mo Año [\$/año]	8vo Año [\$/año]	9no Año [\$/año]	10mo Año [\$/año]
Parque Actual de Vehículos a Combustion Interna		408	357	306	255	204	153	102	51	0	0	0
Parque Actual de Vehículos Híbridos	Acumulado	0	51	102	153	204	255	306	357	408	408	408
	Adquisición anual	0	51	51	51	51	51	51	51	51	0	0
Gasto de combustible anual	Total litros	15.720.989	13.755.866	11.790.742	9.825.618	7.860.495	5.895.371	3.930.247	1.965.124	0	0	0
	Bus Convencional	0	1.375.587	2.751.173	4.126.760	5.502.346	6.877.933	8.253.519	9.629.106	11.004.693	11.004.693	11.004.693
	Bus Híbrido	0	11.987.254	11.397.717	10.808.180	10.218.643	9.629.106	9.039.569	8.450.032	7.860.495	7.860.495	7.860.495
	Sector público [litros/año]	64.248.760	61.386.730	58.367.710	55.348.691	52.329.671	49.310.652	46.291.632	43.272.613	40.253.593	40.253.593	40.253.588
	Sector privado [litros/año]	3.071.881	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.199
	Sector privado [\$/año]	62.585.155	61.495.794	59.727.183	57.958.572	56.189.960	54.421.349	52.652.738	50.884.126	49.115.515	49.115.520	49.115.525
Ahorro Público en combustible		0	2.862.030	5.881.050	8.900.069	11.919.089	14.938.108	17.957.128	20.976.147	23.995.167	23.995.172	23.995.177
Gasto por emisiones [\$/año]		2.528.373	2.433.559	2.338.745	2.243.931	2.149.117	2.054.303	1.959.489	1.864.675	1.769.861	1.769.861	1.769.861
Gasto externalidades hospitalarias [\$/año]		209.254.798	201.407.743	193.560.688	185.713.633	177.866.578	170.019.523	162.172.468	154.325.414	146.478.359	146.478.359	146.478.359
Gasto Público Total		276.031.932	265.228.032	254.267.144	243.306.255	232.345.367	221.384.479	210.423.590	199.462.702	188.501.813	188.501.808	188.501.803
Ahorro público TOTAL (por ingreso de flota híbrida)		0	10.803.899	21.764.788	32.725.676	43.686.565	54.647.453	65.608.342	76.569.230	87.530.118	87.530.124	87.530.129
Costo Bus Híbrido TAT-SA Puma D12H [\$/unidad]		-	78.259.500	78.259.500	78.259.500	78.259.500	78.259.500	78.259.500	78.259.500	78.259.500	78.259.500	78.259.500
Costo Bus Convencional a C.I. [\$/unidad]		-	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000
Gasto Público de Adquisición de unidades Diferencia entre diferentes unidades [\$/unidad]		-	22.159.500	22.159.500	22.159.500	22.159.500	22.159.500	22.159.500	22.159.500	22.159.500	22.159.500	22.159.500
Saldo Caja Pública (diferencia Ahorro-Gasto Público)		-	-11.355.601	-11.750.313	-1.184.136	20.342.928	52.830.881	96.279.723	150.689.453	216.060.071	303.590.195	391.120.323

Tabla 3-11



Descripción	Estado inicial (año cero)	1er Año [\$/año]	2do Año [\$/año]	3er Año [\$/año]	4to Año [\$/año]	5to Año [\$/año]	6to Año [\$/año]	7mo Año [\$/año]	8vo Año [\$/año]	9no Año [\$/año]	10mo Año [\$/año]
Parque Actual de Vehículos a Combustión Interna	408	357	306	255	204	153	102	51	0	0	0
Parque Actual de Vehículos Híbridos	Acumulado	51	102	153	204	255	306	357	408	408	408
	Adquisición anual	0	51	51	51	51	51	51	51	0	0
Gasto de combustible anual	Total litros	15.720.989	11.790.742	9.825.618	7.860.495	5.895.371	3.990.247	1.965.124	0	0	0
	Bus Convencional	0	2.401.381	3.602.072	4.802.762	6.003.453	7.204.143	8.404.834	9.605.525	9.605.525	9.605.525
	Bus Híbrido	12.546.136	11.047.925	10.283.492	9.519.059	8.754.626	7.990.193	7.225.760	6.461.327	6.461.326	6.461.325
	Sector público [litros/año]	64.248.760	60.491.087	56.576.425	48.747.102	44.832.440	40.917.778	37.003.116	33.088.454	33.088.449	33.088.443
	Sector privado [litros/año]	3.071.881	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.199
Sector privado [\$/año]	62.585.155	60.971.106	58.677.807	56.384.508	54.091.208	51.797.909	49.504.610	47.211.310	44.918.011	44.918.016	44.918.021
Ahorro Público en combustible	0	3.757.673	7.672.335	11.586.997	15.501.659	19.416.321	23.330.983	27.245.645	31.160.307	31.160.312	31.160.317
Gasto por emisiones [\$/año]	2.528.373	2.405.431	2.282.489	2.159.547	2.036.605	1.913.663	1.790.720	1.667.778	1.544.836	1.544.836	1.544.836
Gasto externalidades hospitalarias [\$/año]	209.254.798	197.484.216	185.713.633	173.943.051	162.172.468	150.401.886	138.631.304	126.860.721	115.090.139	115.090.139	115.090.139
Gasto Público Total	276.031.932	260.380.734	244.572.548	228.764.361	212.956.175	197.147.988	181.339.802	165.531.615	149.723.429	149.723.424	149.723.418
Ahorro público TOTAL (por ingreso de flota híbrida)	0	15.651.197	31.459.384	47.267.570	63.075.757	78.883.943	94.692.130	110.500.316	126.308.503	126.308.508	126.308.513
Costo Bus Híbrido VOLVO [\$/unidad]	2.447.528	124.823.903	124.823.903	124.823.903	124.823.903	124.823.903	124.823.903	124.823.903	124.823.903	0	0
Costo Bus Convencional a C.I. [\$/unidad]	1.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	0	0
Gasto Público de Adquisición de unidades Diferencia entre diferentes unidades [\$/unidad]	1.347.528	68.723.903	68.723.903	68.723.903	68.723.903	68.723.903	68.723.903	68.723.903	68.723.903	0	0
Saldo Caja Pública (diferencia Ahorro-Gasto Público)	-	-53.072.705	-90.337.224	-111.793.556	-117.441.701	-107.281.660	-81.313.433	-39.537.019	18.047.582	144.356.090	270.664.603

Tabla 3-12



En base la información generada obtenemos el gráfico siguiente

### Escenario 1: Saldos de Caja y Gasto Público para Buses TAT-SA y VOLVO

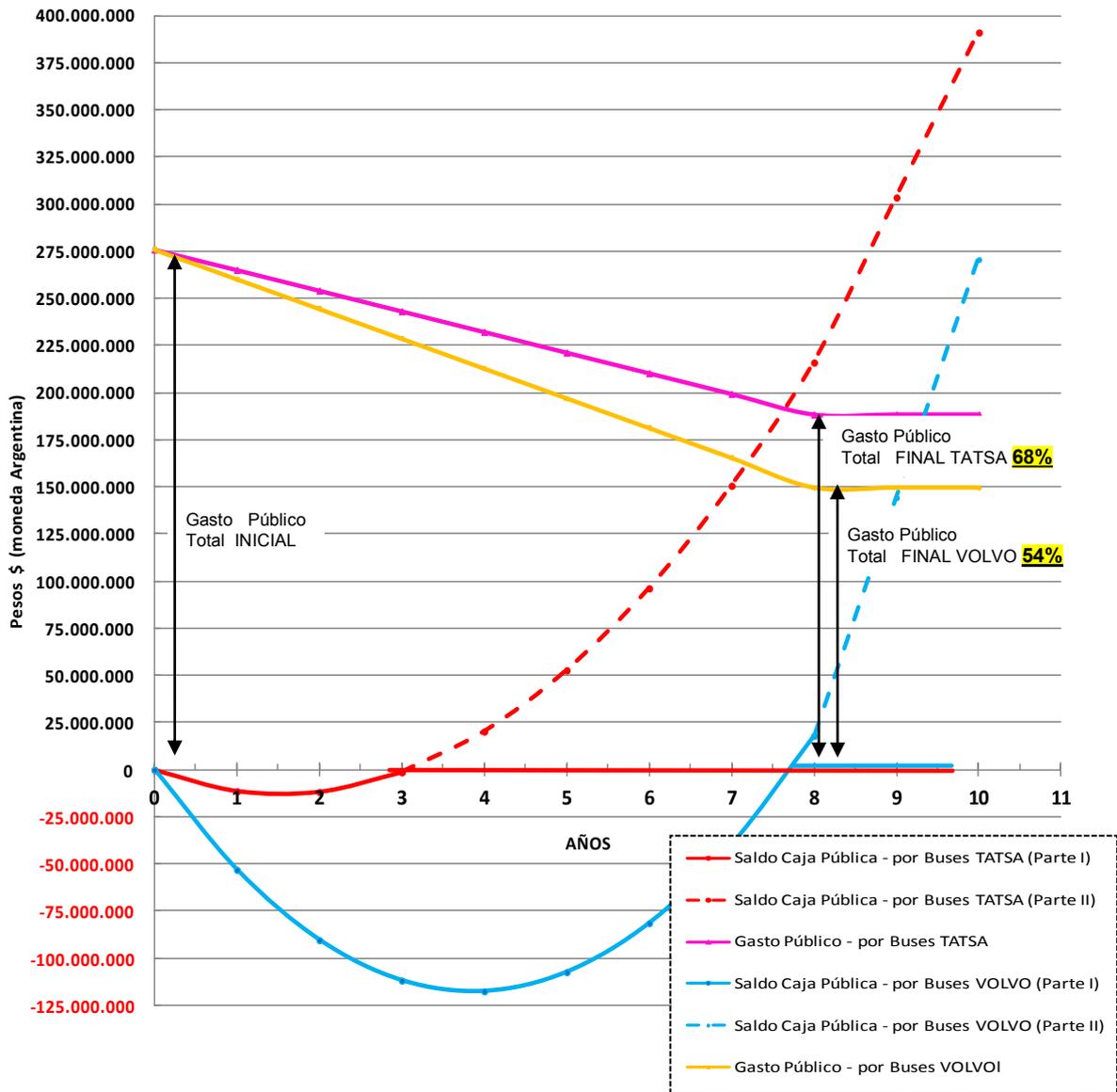


Figura 3-4

Como hemos mencionado, el **Escenario 1** no representa de forma completa la realidad que pudiese llegar a existir en la implementación de Buses híbridos, debido que el ahorro monetario representado por Emisiones de gases y Externalidades Hospitalarias no es inmediato.

Si se observa en detalle la Figura 3-4, y las Tabla 3-11, Tabla 3-9 y Tabla 3-12, claramente los Buses **Puma D12H de TAT-SA** serían los apropiados para una implementación segura ya que con un desembolso adicional del Estado Nacional cercano a los 12 millones de pesos por año en un lapso de 2 años generarían al



---

cabo de 9 años reducciones de hasta el 32% del Gasto Público Total inicial **Ver** Figura 3-6.

En tanto para los Buses **VOLVO 7900 Híbrido** el desembolso adicional del Estado Nacional es cercano a los 72 millones de pesos promedio por año en un lapso de 7 años generarían al cabo de 9 años reducciones de hasta el 46% del Gasto Público Total inicial **Ver** Figura 3-7.

Si bien el Bus Volvo a largo plazo ofrece ahorros importantes, la inversión inicial triplica la propuesta del Bus Nacional **TAT-SA**, con lo cual lo hace inviable en la economía actual.

### Escenario 2

A continuación se detalla el análisis realizado:



Descripción		Estado inicial (año cero)	1er Año [\$/año]	2do Año [\$/año]	3er Año [\$/año]	4to Año [\$/año]	5to Año [\$/año]	6to Año [\$/año]	7mo Año [\$/año]	8vo Año [\$/año]	9no Año [\$/año]	10mo Año [\$/año]	11mo Año [\$/año]	12mo Año [\$/año]	13ro Año [\$/año]	
Parque Actual de Vehículos Híbridos	Parque Actual de Vehículos a Combustion Interna	408	357	306	255	204	153	102	51	0	0	0	0	0	0	0
	Acumulado	0	51	102	153	204	255	306	357	408	408	408	408	408	408	408
Gasto de combustible anual	Adquisición anual	0	51	51	51	51	51	51	51	51	0	0	0	0	0	0
	Bus Convencional	15.720.989	13.755.866	11.790.742	9.825.618	7.860.955	5.895.371	3.930.247	1.965.124	0	0	0	0	0	0	0
	Bus Híbrido	0	1.375.587	2.751.173	4.126.760	5.502.346	6.877.933	8.253.519	9.629.106	9.629.106	11.004.693	11.004.693	11.004.693	11.004.693	11.004.693	11.004.693
	Total litros															
	Sector publico [litros/ año]	12.546.136	11.987.254	11.397.717	10.808.180	10.218.643	9.629.106	9.039.569	8.450.032	7.860.494	7.860.494	7.860.494	7.860.494	7.860.494	7.860.494	7.860.494
	Sector publico [\$/ año]	64.248.760	61.386.730	58.367.710	55.348.691	52.329.671	49.310.652	46.291.632	43.272.613	40.253.593	40.253.593	40.253.593	40.253.593	40.253.593	40.253.593	40.253.593
	Sector privado [litros/ año]	3.071.881	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.199	3.144.200	3.144.201	3.144.202	3.144.203
Sector privado [\$/ año]	62.585.155	61.495.794	59.727.183	57.958.572	56.189.960	54.421.349	52.652.738	50.884.126	49.115.515	49.115.515	49.115.520	49.115.525	49.115.530	49.115.536	49.115.541	
Ahorro Publico en combustible		0	2.862.090	5.881.050	8.900.069	11.919.089	14.938.108	17.957.128	20.976.147	23.995.167	23.995.172	23.995.177	23.995.182	23.995.187	23.995.193	
Gasto por emisiones [\$/ año]		2.528.373	2.528.373	2.528.373	2.528.373	2.528.373	2.433.559	2.338.745	2.243.931	2.149.117	2.054.303	1.959.489	1.864.675	1.769.861	1.769.861	
Gasto externalidades hospitalarias [\$/ año]		209.254.798	209.254.798	209.254.798	209.254.798	209.254.798	201.407.743	193.560.688	185.713.633	177.866.578	170.019.523	162.172.468	154.325.414	146.478.359	146.478.359	
Gasto Publico Total [\$/año]		276.031.932	273.169.901	270.150.882	267.131.862	264.112.843	253.151.954	242.191.066	231.230.177	220.269.289	212.327.415	204.385.541	196.443.667	188.501.798	188.501.788	
Ahorro Publico en Emisiones y Externalidades Hosp.		0	●	↑			7.941.869	15.883.738	23.825.607	31.767.476	39.709.345	47.651.214	55.593.082	63.534.951	63.534.951	
Ahorro publico TOTAL (por ingreso de flota hibrida)		0	2.862.090	5.881.050	8.900.069	11.919.089	14.938.108	17.957.128	20.976.147	23.995.167	23.995.172	23.995.177	23.995.182	23.995.187	23.995.193	
Costo Bus Híbrido TAT-SA Puma D12H [\$/unidad]	1.534.500	-	78.259.500	78.259.500	78.259.500	78.259.500	78.259.500	78.259.500	78.259.500	78.259.500	78.259.500	78.259.500	78.259.500	78.259.500	78.259.500	78.259.500
Costo Bus Convencional a C.I. [\$/unidad]	1.100.000	-	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000
Gasto Publico de Adquisición de unidades Diferencia entre diferentes unidades [\$/unidad]	434.500	-	22.159.500	22.159.500	22.159.500	22.159.500	22.159.500	22.159.500	22.159.500	22.159.500	22.159.500	22.159.500	22.159.500	22.159.500	22.159.500	22.159.500
Saldo Caja Publica (diferencia Ahorro-Gasto Publico)		-	-19.297.470	-35.575.920	-48.835.350	-59.075.761	-68.355.284	-76.673.918	-84.031.664	-91.571.479	-98.275.996	-104.922.387	-111.510.652	-118.040.790	-124.570.934	

Tabla 3-13



Descripción	Estado inicial (año cero)	1er Año (\$/año)	2do Año (\$/año)	3er Año (\$/año)	4to Año (\$/año)	5to Año (\$/año)	6to Año (\$/año)	7mo Año (\$/año)	8vo Año (\$/año)	9no Año (\$/año)	10mo Año (\$/año)	11mo Año (\$/año)	12mo Año (\$/año)	13ro Año (\$/año)
Parque Actual de Vehículos a Combustión Interna	408	357	306	255	204	153	102	51	0	0	0	0	0	0
Parque Actual de Vehículos Híbridos	0	51	102	153	204	255	306	357	408	408	408	408	408	408
Adquisición anual	0	51	51	51	51	51	51	51	51	0	0	0	0	0
Total litros	15.720.989	13.755.866	11.790.742	9.825.618	7.860.495	5.895.371	3.930.247	1.965.124	0	0	0	0	0	0
Bus Convencional														
Bus Híbrido	0	1.200.691	2.401.381	3.602.072	4.802.762	6.003.453	7.204.143	8.404.834	9.605.525	9.605.525	9.605.525	9.605.525	9.605.525	9.605.525
Gasto de combustible anual	12.546.136	11.812.338	11.047.925	10.283.492	9.519.059	8.754.626	7.990.193	7.225.760	6.461.327	6.461.326	6.461.325	6.461.324	6.461.323	6.461.322
Sector público (litros/año)	64.248.760	60.491.087	56.576.425	52.661.764	48.747.102	44.832.440	40.917.778	37.003.116	33.088.454	33.088.449	33.088.443	33.088.438	33.088.433	33.088.428
Sector privado (litros/año)	3.071.881	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.198	3.144.199	3.144.200	3.144.201	3.144.202	3.144.203
Sector privado (\$/año)	62.585.155	60.971.106	58.677.807	56.384.508	54.091.208	51.797.909	49.504.610	47.211.310	44.918.011	44.918.016	44.918.021	44.918.026	44.918.031	44.918.037
Ahorro Público en combustible	0	3.757.673	7.672.335	11.586.997	15.501.659	19.416.321	23.330.983	27.245.645	31.160.307	31.160.312	31.160.317	31.160.322	31.160.327	31.160.332
Gasto por emisiones (\$/año)	2.528.373	2.528.373	2.528.373	2.528.373	2.528.373	2.405.431	2.282.489	2.159.547	2.036.605	1.913.663	1.790.720	1.667.778	1.544.836	1.544.836
Gasto externalidades-hospitalarias (\$/año)	209.254.798	209.254.798	209.254.798	209.254.798	209.254.798	197.484.216	185.713.633	173.943.051	162.172.468	150.401.886	138.631.304	126.860.721	115.090.139	115.090.139
Gasto Público Total (\$/año)	276.031.932	272.274.259	268.359.597	264.444.935	260.530.273	244.722.086	228.913.900	213.105.713	197.297.527	185.403.997	173.510.468	161.616.938	149.723.408	149.723.403
Ahorro Público en Emisiones y Externalidades Hosp.	0	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Ahorro público TOTAL (por ingreso de flota híbrida)	0	3.757.673	7.672.335	11.586.997	15.501.659	19.416.321	23.330.983	27.245.645	31.160.307	31.160.312	31.160.317	31.160.322	31.160.327	31.160.332
Costo Bus Híbrido VOLVO 7900 (\$/unidad)	2.447.528	124.823.903	124.823.903	124.823.903	124.823.903	124.823.903	124.823.903	124.823.903	124.823.903	0	0	0	0	0
Costo Bus Convencional a.C.I. (\$/unidad)	1.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	56.100.000	0	0	0	0	0
Gasto Público de Adquisición de unidades Diferencia entre diferentes unidades (\$/unidad)	1.347.528	68.723.903	68.723.903	68.723.903	68.723.903	68.723.903	68.723.903	68.723.903	68.723.903	0	0	0	0	0
Saldo Caja Pública (diferencia Ahorro-Gasto Público)	-	-64.966.230	-126.017.797	-183.154.703	-236.376.947	-273.791.004	-295.396.874	-301.194.559	-291.184.056	-200.556.122	-98.034.658	16.380.336	142.688.859	268.997.388

Tabla 3-14

En base la información generada obtenemos el gráfico siguiente



### Escenario 2: Saldos de Caja y Gasto Público para Buses TAT-SA y VOLVO

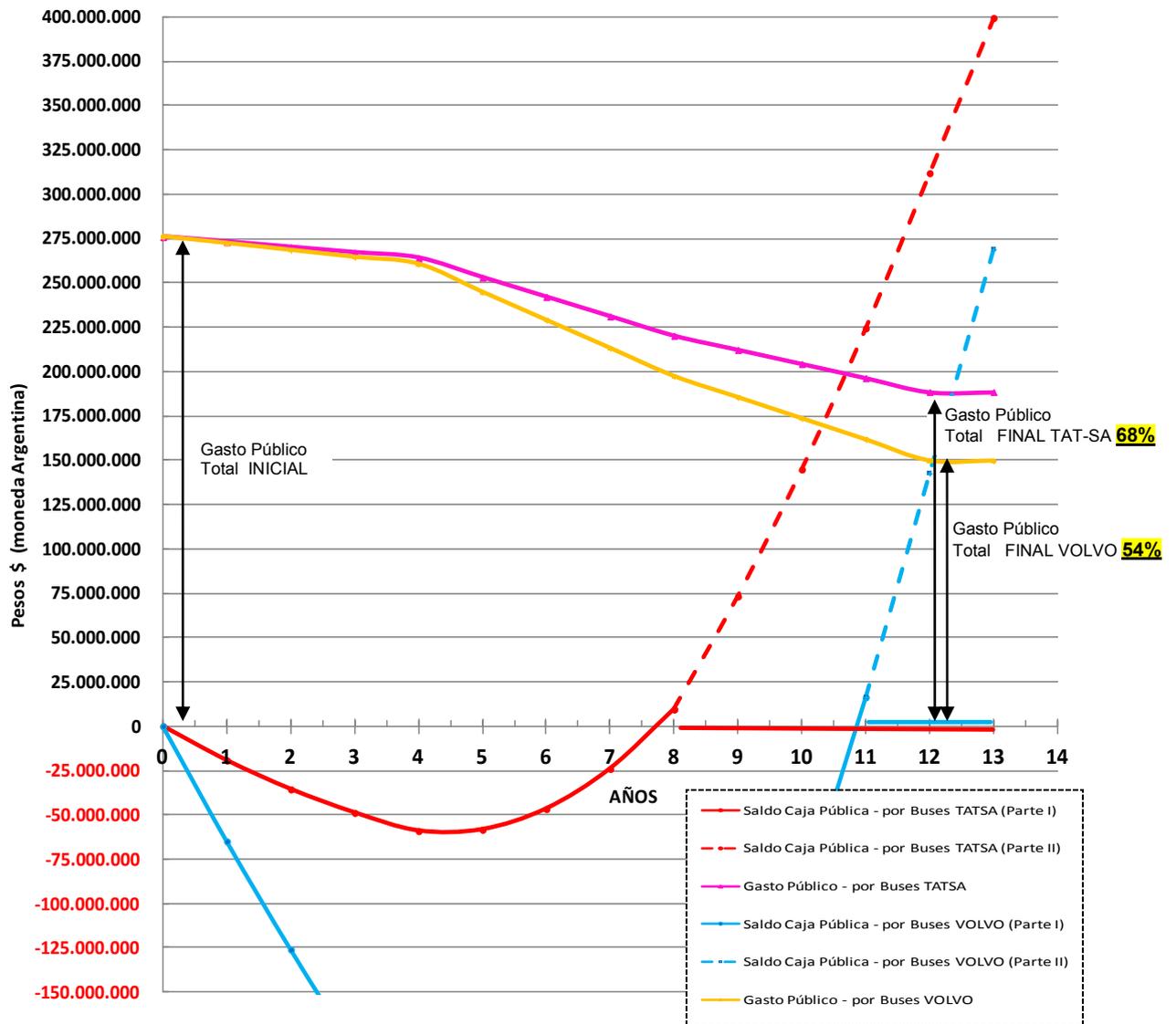


Figura 3-5

El **Escenario 2** es más representativo de la realidad que el **Escenario 1** en la implementación de Buses híbridos, debido que el ahorro monetario representado por Emisiones de gases y Externalidades Hospitalarias posee una inercia tal la cual no genera cambios inmediatos.

Si se observa en detalle la Figura 3-5, y las Tabla 3-13 y Tabla 3-14, claramente los Buses **Puma D12H de TAT-SA** serian los apropiados para una implementación segura ya que con un desembolso adicional del Estado Nacional cercano a los 42 millones de pesos promedio por año en un lapso de 7 años generarían al cabo de 12 años reducciones de hasta el 32% del Gasto Público Total inicial **Ver** Figura 3-6.

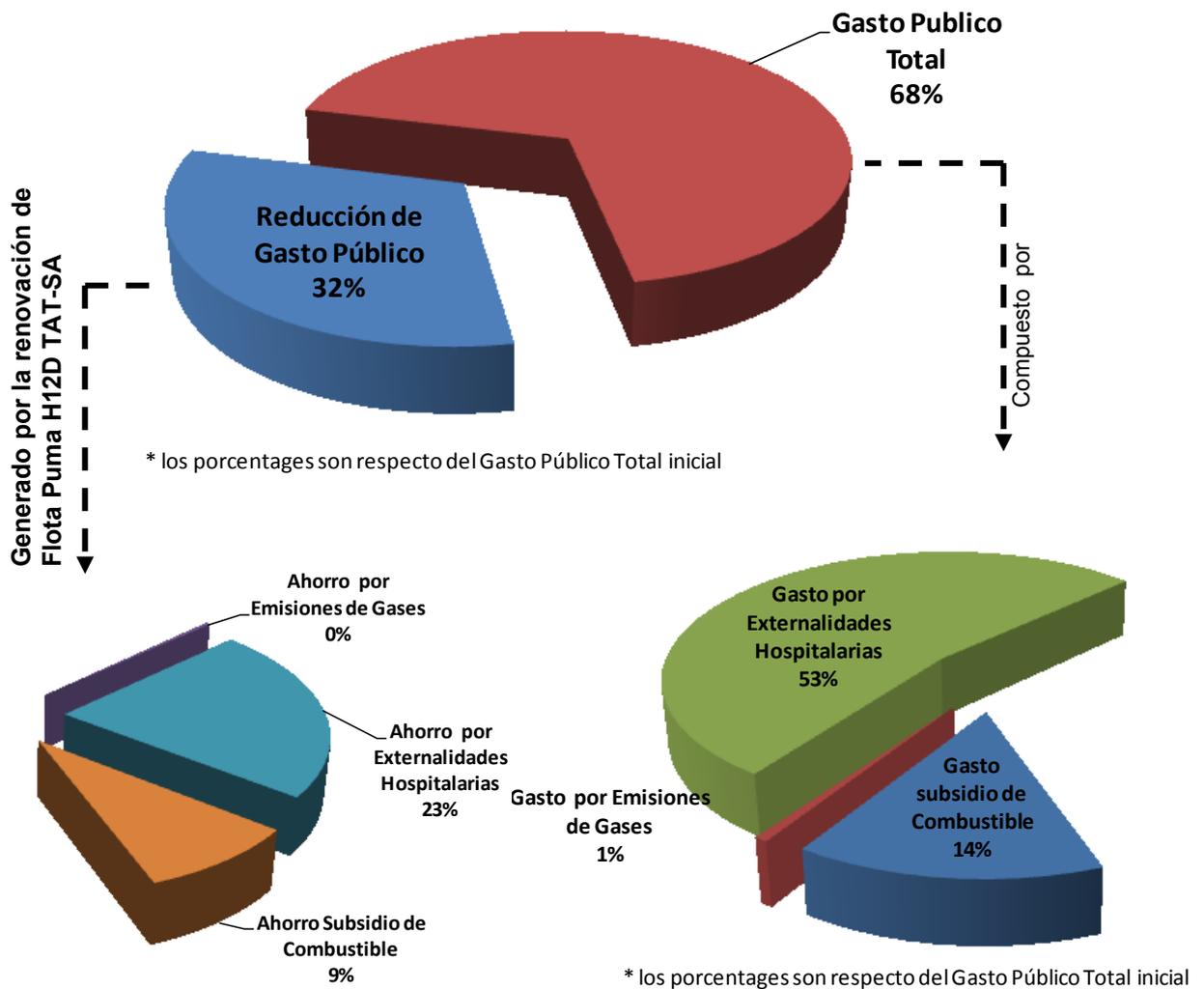
En tanto para los Buses **VOLVO 7900 Híbrido** el desembolso adicional del Estado Nacional es cercano a los 207 millones de pesos promedio por año en un



lapso de 10 años que generarían al cabo de 12 años reducciones de hasta el 46% del Gasto Público Total inicial **Ver Figura 3-7**

Si bien el Bus Volvo a largo plazo ofrece ahorros importantes, la inversión inicial triplica la propuesta por Bus Nacional TAT-SA, con lo cual lo hace inviable en la economía actual.

### Reducción de Gasto Público Total inicial ( Bus TAT-SA)



Inversión de Pesos \$177.276.000,- en 8 años.

Figura 3-6



### Reducción de Gasto Público Total inicial ( Bus VOLVO)

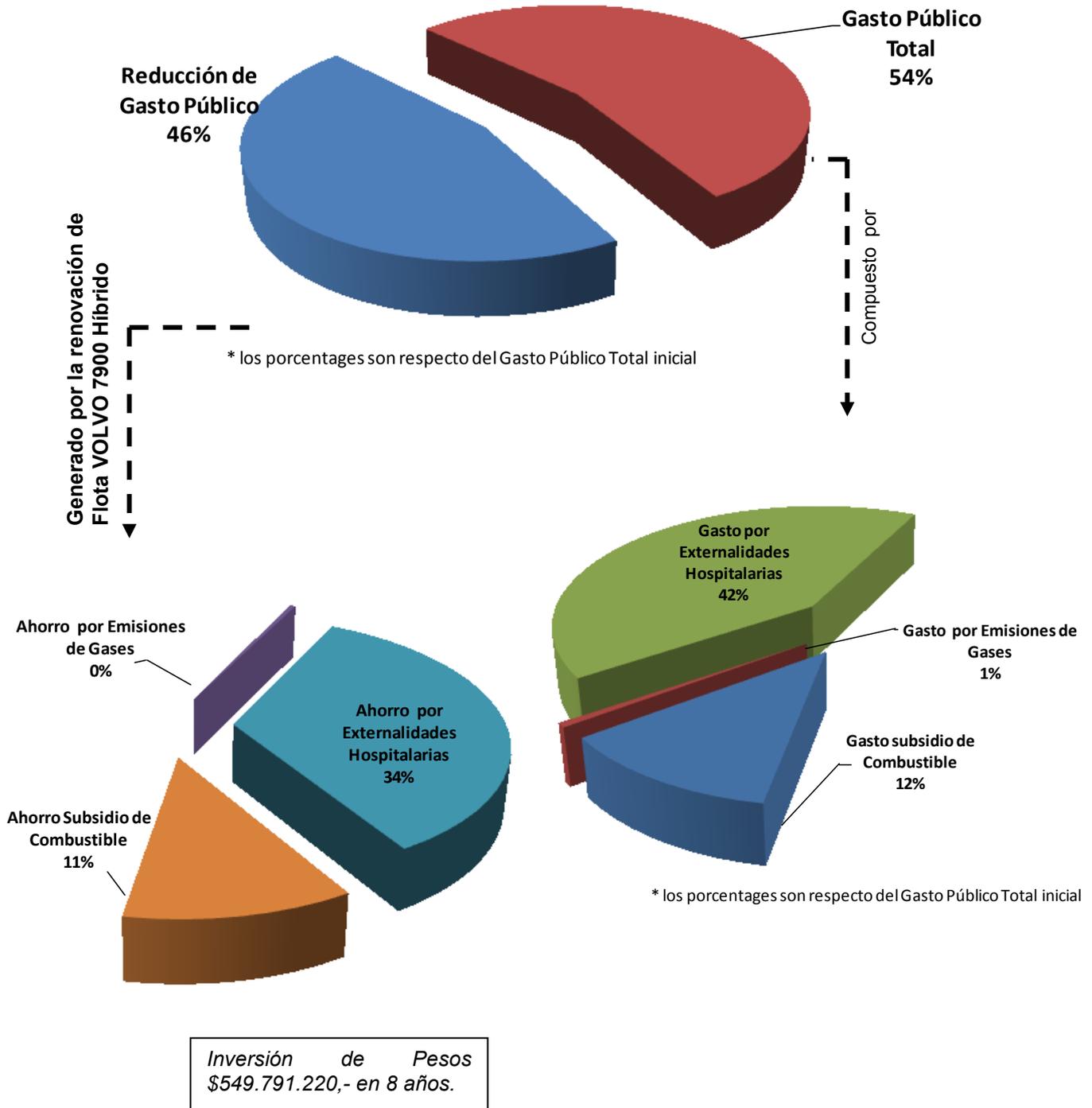


Figura 3-7



## Análisis de resultados

Sobre la base de la teoría que los cambios socio-ambientales poseen una inercia a largo y muy largo plazo y son difíciles de cuantificar a lo largo del tiempo, entendemos que el **Escenario 2** podría representar en parte los ahorros, los cuales afectan dichas variables.

El tiempo de inercia propuesto, fue estimado de acuerdo a las poblaciones más susceptibles descritas como ancianos y niños. Estos últimos son mucho más vulnerables debido a la inmadurez fisiológica del sistema pulmonar (80% de los alveolos se forman después del nacimiento), lo cual disminuye la capacidad del pulmón frente a agresiones tóxicas.

Dentro de dicho grupo, los más afectados son los niños menores a 2 años en casos de morbilidad (consultas hospitalarias, bronquitis, síntomas respiratorios) y a grupos de niños menores a 1 año a caso de mortalidad. [25]

Si bien año a año la incorporación de unidades híbridas es efectiva y conforme a ello existe una reducción de emisiones de gases (ver Tabla 3-13 y Tabla 3-14), los *gastos por externalidades hospitalarias* no se verán afectadas de igual manera debido a que los grupos de personas y niños que ya se encuentran con afecciones de salud por ésta causa deberán ser tratados en años subsiguientes.

Por ésta causa es que se estimó de manera conservativa una inercia de 5 años, lo cual significa que en ese lapso de tiempo el *gasto por Externalidades Hospitalarias* permanecerá constante. Transcurridos los 5 años, la reducción de Material Particulado  $10\mu\text{m}$  estimado es aproximadamente de un 60% de la concentración original, pero la realidad indica que el gasto por Externalidades Hospitalarias serán de acuerdo al primer año de dicha inversión.

Por lo tanto, como se indica en la Tabla 3-13, recién para el 12<sup>vo</sup> año, los gastos por Externalidades Hospitalarias se encontrarían normalizadas según los valores de concentraciones estimados ( $53\text{ mg/m}^3$ ).

Conforme a los resultados obtenidos en el análisis “Estimación y viabilidad de reemplazo progresivo de flota”, modelo: Escenario 2, en el cual se desarrolla un plan de inversión con recupero de capital por medio de ahorro en Subsidios de Combustible, Emisiones de gases y Externalidades Hospitalarias, el vehículo que mejor se adapta es el Bus Puma D12H de TAT-SA.

Razones de selección del Bus Puma D12H de TAT-SA:

- Tiempo de recupero de capital es inferior a tiempo de inversión. (La inversión se encuentra planificada a 8 años y se estima el recupero de capital invertido a los 7 años.)
- Desembolso adicional del Estado Nacional cercano a los 42 millones de pesos promedio por año en un lapso de 7 años.



- 
- Al cabo de 12 años generaría reducciones de hasta el 32% del Gasto Público Total inicial anual, aproximadamente 88.330.218,-\$ por año.



## Bibliografía Capítulo 3

- [1] **Publicación web “Feria Internacional del Autobús y del Autocar 2010, el boom de los modelos híbridos (parte 2)”**  
<http://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/feria-internacional-del-autobus-y-del-autocar-2010-el-boom-de-los-modelos-hibridos-parte-2>
- [2] **TAT S.A. “D12H BUS HÍBRIDO. Fabricación de buses ecológicos para el transporte urbano de pasajeros”**  
<http://www.tatsa.com.ar/notice.mfw/118/D12H+BUS+HIBRIDO>
- [3] **Marcopolo Buses Híbridos**  
<http://www.marcopolo.com.br/marcopolo/es/noticias/detalhes/2013-07-04/autobus-viale-brs-con-traccion-hibrida-y-brt-son-destaques-de-marcopolo-en-la-transublico-2013>
- [4] **Volvo Buses América Latina - Milena Miziara - Grupo Volvo América Latina**  
Assessoria de Imprensa - Phone: 55 41 3317-4255 - E-mail: milena.miziara@volvo.com  
<http://www.volvobuses.com/BUS/BRAZIL/ES-BR/LINEA-PRODUCTOS/URBANOS/B215R/PAGES/DEFAULT.ASPX>
  - Volvo vende 200 ómnibus híbridos para Bogotá, en Colombia  
[http://www.volvobuses.com/bus/brazil/es-br/prensa-revista-yo-ruedo/prensa-revista-yo-ruedo/\\_layouts/CWP.Internet.VolvoCom/NewsItem.aspx?News.ItemId=145138&News.Language=es-es](http://www.volvobuses.com/bus/brazil/es-br/prensa-revista-yo-ruedo/prensa-revista-yo-ruedo/_layouts/CWP.Internet.VolvoCom/NewsItem.aspx?News.ItemId=145138&News.Language=es-es)
  - Concesionarios Oficiales VOLVO TRUCKS & BUSES  
[http://www.volvotrucks.com/trucks/argentina-market/es-ar/dealers/dealers\\_am/Pages/concesionarias.aspx](http://www.volvotrucks.com/trucks/argentina-market/es-ar/dealers/dealers_am/Pages/concesionarias.aspx)
- [5] **EvoBus GmbH - Por José Ramírez Lozano ramirezjose490@gmail.com**  
<http://retrobuses.blogspot.com.ar/2012/11/evobus.html>
- [6] **Electra – Buses Híbridos**  
<http://www.eletrabus.com/veiculos.htm>  
[http://www.eletrabus.com/noticia\\_sustentabilidade.htm](http://www.eletrabus.com/noticia_sustentabilidade.htm)
- [7] **Datos suministrados en entrevista con la Ingeniera Sandra Caielli Gerente del Área de Sistemas y Sr Juan Bilbao Gerente General en UTE EL Libertador.**
- [8] **Listado de precios Gasoil - Estación de Servicios Basso SA – Periodo Enero 2013 – Enero 2014.**
- [9] **Ministerio del Interior y Transporte – Información sobre subsidios**  
[http://www.transporte.gov.ar/content/subsidios/.](http://www.transporte.gov.ar/content/subsidios/)



- 
- [10] **Entrevista con el Director de Transito y Transporte – Sr. Guillermo Iglesias y Responsable del Área de Transporte Público de Pasajeros Ing. Dante Galván [dtgolav@yahoo.com.ar](mailto:dtgolav@yahoo.com.ar).**
- [11] **Carta en respuesta a lo solicitado(subsidio de GasOil), del Director de Gestión Económica Cr. Eladio Sánchez – Nota D.N.F.F. N|79 Ref EXP-S02:0053881/2014**
- [12] **Información consultada en la página web de la Secretaria de Transporte de la Nación <http://www.transporte.gov.ar/content/subsidios/>**
- [13] **Información transmitida por el Ing. Juan Sacco – Responsable Técnico en TAT-SA. En anexo se detalla el email enviado. Entrevista personal Pablo Puccio – Responsable de Ventas.**
- [14] **Información consultada en la página web de la Secretaria de Energía <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=2311>**
- [15] **Valor Cambio oficial – Moneda Extranjera año 2013 Cotizaciones Históricas de las principales divisas Banco Nación Argentina [http://www.bna.com.ar/bp/bp\\_cotizaciones\\_historico.asp?op=d&id=55](http://www.bna.com.ar/bp/bp_cotizaciones_historico.asp?op=d&id=55)**
- [16] **Entrevista Telefónica con la Ing Claudia Baltar - Directora General de Gestión Ambiental – ENOSUR Municipalidad de Gral. Pueyrredón- Rosales 10189 Mar del Plata.**
- [17] **Entrevista con la Dra. María Teresa Martínez Comité de Investigación y Docencia – Secretaria de Salud – CID- CAMA [cidsalud@mardelplata.gob.ar](mailto:cidsalud@mardelplata.gob.ar).**
- [18] **Primer Compendio de Estadísticas Ambientales República Argentina - ISBN 978-987-23836-5-7 - Fecha de catalogación: 25/03/2008, Pagina 20 y 32.**
- [19] **Aplicación de Redes Neuronales Artificiales para la Predicción de MP10 y O3 – Lic José Manuel Campos – Colección Tesis Sobresalientes Editorial de la Provincia de Córdoba ISBN-978-987-28891-0-4 - Pagina 29**
- [20] **Censo 2010 [http://www.censo2010.indec.gov.ar/preliminares/cuadro\\_resto.asp](http://www.censo2010.indec.gov.ar/preliminares/cuadro_resto.asp)**
- [21] **“Indicadores Básicos 2012” - Ministerio de Salud de la Nación y abalado por la Organización Panamericana de la Salud <http://publicaciones.ops.org.ar/publicaciones/indicadores/IndicadoresNacion2012.pdf>**
- [22] **PBI – INDEC [http://www.indec.gov.ar/nuevaweb/cuadros/17/pib\\_12\\_13.pdf](http://www.indec.gov.ar/nuevaweb/cuadros/17/pib_12_13.pdf)**
-



- [23] **Costo de la tonelada de CO2**  
<http://www.iadb.org/micamericas/section/detail.cfm?language=Spanish&id=9145&sectionID=INNOV>
- [24] **COLCAM** – Entrevista telefónica Ejecutivo de Ventas Eduardo Nacif –  
Precio de Bus 1618 con carrocería y chasis completo 1.100.000\$ -  
Contacto 0237 4685555 int 6159
- [25] **Contaminación Atmosférica y Efectos en la Salud de la Población en Medellín y su área metropolitana-** Centro de investigaciones Facultad Nacional de Salud Publica Universidad de Antioquia Medellín. Colombia 2007. Página 23  
[http://itagui.areadigital.gov.co/institucional/Documents/Contaminacion%20Atmosferica%20y%20efectos%20hacia%20la%20salud%20-%20Efectos%20en%20la%20Salud%20\[3%20de%204\].pdf](http://itagui.areadigital.gov.co/institucional/Documents/Contaminacion%20Atmosferica%20y%20efectos%20hacia%20la%20salud%20-%20Efectos%20en%20la%20Salud%20[3%20de%204].pdf)
- [26] **EL PROTOCOLO DE KYOTO, Y EL 'MERCADO DE EMISIONES DE CO2;** Regulación mediante mercado para una especial externalidad negativa Joaquim Vergés (vrs. 08-2009)  
<http://webs2002.uab.es/jverges/Assaig%20pdf/EI%20protocolo%20de%20Kyoto,%20y%20el%20'mercado%20de%20emisiones%20de%20CO2'.pdf>
- [27] **SENDECO2-** Sistema electrónico de negociación de derechos de emisión de Dióxido de Carbono <http://www.sendeco2.com/es/comercio-co2.asp>
- [28] **El mercado de carbono en América Latina y el Caribe:** balance y perspectivas Lorenzo Eguren C. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos - Santiago de Chile, marzo de 2004  
<http://www.cepal.org/publicaciones/xml/2/14902/lcl2085e.pdf>
- [29] **Diario LATERCERA** Lunes 26 de marzo de 2012 - Precio de bonos de carbono baja 80%por crisis europea y sobreoferta de proyectos  
<http://diario.latercera.com/2012/03/26/01/contenido/negocios/10-104705-9-precio-de-bonos-de-carbono-baja-80-por--crisis-europea-y-sobreoferta-de.shtml>
- [30] **Red de Exportadores** - [info@bairexport.com](mailto:info@bairexport.com)



## CONCLUSIÓN

Tal como fue explicado en el primer capítulo, un Vehículo Eléctrico Híbrido (HEV) busca combinar las ventajas de la tracción eléctrica como su operación silenciosa y niveles nulos de emisión de gases tóxicos; combinada con la autonomía de los motores de combustión interna (MCI), tomando el caso más general.

- Un sistema híbrido posee principalmente tres componentes básicos los cuales son: un motor eléctrico, un motor de combustión interna y un sistema de almacenamiento de energía.
- Según la configuraciones entre la motorización eléctrica y de combustión, surgen los tipos de arquitecturas híbridas. Las arquitecturas híbridas estudiadas en este trabajo fueron la Tipo Serie y Tipo Paralelo, debido que son las comercializadas en el mercado actual.
- Se analizaron ventajas y desventajas para las arquitecturas mencionadas, concluyendo que el tipo de arquitectura a utilizar depende pura y exclusivamente del uso y exigencias de trabajo del vehículo a utilizar.

Al mismo tiempo se analizaron y compararon normativas ambientales sobre emisiones de gases contaminantes de carácter nacional e internacional.

- De este análisis, se identificó una condescendencia entre la normativa Euro de UE Unión Europea y las resoluciones vigentes en la República Argentina.
- Es importante destacar que la SECRETARIA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE de la JEFATURA DE GABINETE DE MINISTROS de la Republica Argentina es el ente encargado de ratificar o rectificar los valores límites y las fechas de aplicación para el control de las emisiones. La finalidad de dichas actualizaciones es de equiparar el sistema normativo ambiental sobre emisiones de gases de combustión vigente en la Republica Argentina con respecto a las europeas denominadas Normas EURO.

Para el estudio de viabilidad económica sobre la implementación de buses híbridos en la ciudad de Mar del Plata, se analizó:

- la viabilidad económica entre dos buses híbridos, uno de fabricación nacional y otra de industria brasilera.
- un relevamiento de cantidad de buses destinados al Transporte Público de Pasajeros, kilómetros anuales recorridos, litros de Gas Oil consumidos anualmente.
- un cálculo de subsidio anual entregado por el estado nacional a las empresas privadas del Transporte Público de Pasajeros.
- un análisis para la estimación de costos por emisiones de CO<sub>2</sub>, externalidades hospitalarias y efectos en la salud.



Finalmente, conforme a los resultados obtenidos en el análisis “Estimación y viabilidad de reemplazo progresivo de flota”, modelo: Escenario 2, en el cual se desarrolla un plan de inversión con recupero de capital por medio de ahorro en Subsidios de Combustible, Emisiones de gases y Externalidades Hospitalarias, el vehículo que mejor se adapta es el Bus Puma D12H de TAT-SA.

Las razones de selección del Bus Puma D12H de TAT-SA fueron:

- Tiempo de recupero de capital es inferior a tiempo de inversión. (La inversión se encuentra planificada a 8 años y se estima el recupero de capital invertido a los 7 años.)
- Desembolso adicional del Estado Nacional cercano a los 42 millones de pesos promedio por año en un lapso de 7 años.
- Al cabo de 12 años generaría reducciones de hasta el 32% del Gasto Público Total inicial anual, aproximadamente 88.330.218,-\$ por año.

Según las razones anteriormente expuestas, podemos concluir que el presente trabajo se ha demostrado la viabilidad del proyecto. No obstante, se deberá tener en cuenta una fuerte presencia y participación de Estado Nacional en la subvención a las empresas privadas del Transporte Público de Pasajeros en la compra de las unidades para llevar a cabo dicho proyecto con éxito.