



Foro **Bogotá** siempre  
**gana**  
con el



**SÚBETE**  
POR AQUÍ ES EL CAMINO

# NUEVAS TECNOLOGÍAS Y ENERGÉTICOS PARA BUSES SITP

**Edder A. Velandia Durán**  
**Ing. Civil, MSc. Ingeniería Civil e Industrial**  
**Director Centro en Desarrollo Sustentable y Cambio Climático**  
**Facultad de Ingeniería – Universidad de La Salle**

**Bogotá, Octubre de 2013**



# + DESARROLLO + DESPLAZAMIENTOS... + ENERGÍA + EMISIONES

---



Imagen capturada web



# CALIDAD DE VIDA? DESARROLLO HUMANO INTEGRAL Y SUSTENTABLE ?

---



Imagen capturada web



## El sector transporte en Colombia\*

- Consume el 38% de la energía primaria
- Para el año 2030 aumentará en 2,2 veces su demanda de energía
- Es responsable del 15% de las emisiones CO<sub>2</sub> en el país (26 M ton - año 2010)
- Dependencia total por combustibles fósiles (diesel)

## El sector transporte en Bogotá\*\*:

- 100% dependiente de combustibles fósiles
- Crecimiento del parque vehicular
- ±9 MM de viajes a través de modos motorizados
- Emisiones:

6 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>

1.400 toneladas de material particulado

54.000 toneladas de No<sub>x</sub>

\*Unidad de Planeación Minero y Energética de Colombia

\*\*Plan decenal de descontaminación del aire en Bogotá

\*\*Secretaría de movilidad distrital



**La sustentabilidad es el gran reto para las ciudades, y en los sectores energía y transporte son relevantes...**



**NO existe una “fórmula perfecta” para una ciudad sustentable más cuando existen variables socioeconómicas, de gran dinámica, involucradas...**

**Sin embargo, su construcción depende de la voluntad política de los gobernantes y del interés de la ciudadanía por su existencia...**



Corredor con transporte organizado y vías preferenciales Bus con Catenaria  
Zúrich (Suiza)  
Imagen web



Corredor Buses TPC tradicional no organizados  
Calle 19 (Bogotá)



# EXISTEN CAMINOS HACIA UNA MEJOR CIUDAD



Gobierno metropolitano de Seúl - Fundación Ciudad Humana



# LA ACTUALIDAD DEL TRANSPORTE COLECTIVO



## EL SITP – UNA OPORTUNIDAD DE CAMBIO

El SITP será la piedra angular para la movilidad en Bogotá y se posicionará como la opción más equitativa, accesible y eficiente de transporte...

Sin embargo, existe el riesgo de pasar de un esquema de transporte estresado y desorganizado a un sistema de transporte organizado y seguro pero igualmente estresado y sin valores agregados para el ciudadano...



# NUEVOS CONCEPTOS DE VIALIDAD



# INTERMODALIDAD (MODOS Y TECNOLOGÍA)



Varias capturadas de web

# NUEVOS ENERGÉTICOS EN EL TRANSPORTE



Las nuevas alternativas energéticas poseen bondades e impactos que deben ser valoradas, sin embargo, la posibilidad de reducir el uso de combustibles fósiles representa cambios positivos en términos de dependencia energética y costos ambientales



# LAS OPORTUNIDADES DE LA INNOVACIÓN Y RENOVACIÓN

La diversificación tecnológica y energética de la flota del SITP permitirá:

- Mayor eficiencia energética
- Reducción de emisiones CO<sub>2</sub>
- Mejoramiento de calidad del aire
- Mejores condiciones a bordo del bus
- Reducir dependencia energética diesel
- Uso de fuentes de energía alternativas
- Reducción niveles de ruido urbano
- Nuevos conceptos urbanos
- Apropiación del sistema
- Desarrollo empresarial
- Nuevos campos académicos
- Posicionamiento local y regional



# EL COSTO DE LA INNOVACIÓN Y LA RENOVACIÓN

---



Para el desarrollo de sustentable, acciones simples y debajo costo tienen impactos positivos...

Sin embargo, alternativas de alto impacto tienen costos mayores que representan una barrera para su masificación, algunas de ellas generan dudas de uso y otras se consideran distantes e inviables en algunos contextos...



La tecnología híbrida se considera una alternativa de desarrollo/evolución de las tecnologías de combustión interna que ofrece un aumento del rendimiento energético ( $\pm 20\%$ ), reducción de emisiones ( $\pm 40\%$ ) y ruido ( $\pm 15\%$ ) y mayor confort.

La tecnología es común en ciudades norteamericanas (Vancouver, Seattle, Nueva York, Los Ángeles, Washington) y algunas ciudades europeas...



Capturado de la web. Bus Phileas



Fundación Ciudad Humana  
Seattle (US)



La tecnología híbrida HEV, el mejoramiento de la calidad de los combustibles, la posibilidad de recarga PHEV y el uso de biocombustibles son alternativas viables que definen beneficios especialmente en términos ambientales, sin embargo, la dependencia energética por combustibles fósiles y la emisiones GEI continúan siendo relevantes..



# LOS BUSES ELÉCTRICOS CON CATENARIA

**Los buses eléctricos con catenaria** se han implementado desde hace más de ocho décadas y actualmente operan en cerca de 300 ciudades en el mundo demostrando su confiabilidad y larga vida útil de los componentes de tracción.

Las nuevas configuraciones y diseños le permite a la tecnología realizar sobrepasos en ruta, ofrecer equipos de respaldo diesel, regeneración en el frenado, disponer de una imagen de última generación y similar capacidad de transporte y peso que buses diesel...



Neoplan (Atenas) – capturada web

La tecnología ofrece un aumento del rendimiento energético ( $\pm 3$  veces respecto al diesel), Cero Emisiones Urbanas, reducción de los niveles de ruido ( $\pm 25\%$ ) y un mayor confort a bordo.



En México DF el sistema de transporte eléctrico constituido por las rutas de trolebuses (incluyendo dos corredores cero emisiones). Asimismo, los trolebuses son el sistema con menor subsidio al pasaje en la ciudad (H. León, 2011)

El BRT eléctrico de Quito con 110 trolebuses sustituyó a 572 buses permitiendo una reducción en 317 Kg de material particulado, 10 toneladas de NOx, 1164 Kg de HC y 5.4 toneladas de CO diarios. El ruido sobre el corredor pasó de 90 a 74 db (Lozano, 2008).



Corredor BRT Quito.

Lyon  
Monetzuma, 2009



# Visual Simulation: Rainier Valley

Before



Trolley Bus System Evaluation

King County METRO We'll Get You There. 19

# Visual Simulation: Rainier Valley

After



Trolley Bus System Evaluation

King County METRO We'll Get You There. 20



# BUSES ELÉCTRICOS CON BATERÍAS (BEV)

**Los buses eléctricos con baterías** son una alternativa tecnológica que se ha desarrollado para buses de 8-12 m y que durante el último quinquenio se utiliza en ciudades asiáticas y europeas.

- No requieren de infraestructura eléctrica (catenaria)
- Mejores condiciones ambientales
- Mayor calidad en el transporta para el usuario
- Posible sobre-pesos con carga completa de pasajeros
- Autonomía en función de acumuladores (200–300 Km)
- Tiempo de recarga: 5-6 horas (420 V)
- Reducida memoria operacional
- Alta confiabilidad de los motores y reservas sobre la vida útil de las baterías (garantías)



BYD K9  
Opera Shenzeng (China)



Más de 1.500 buses eléctricos a baterías ruedan por ciudades chinas como Beijing, Shanghai, Shenzhen, Hefei, Tianjin y Guangzhou.



Buses eléctricos, China  
Harker, 2012



## BUSES ELÉCTRICOS – RECARGA DE OPORTUNIDAD

Esta tecnología en fase de prueba combina parcialmente las opciones de baterías y catenaria, aprovechando las bondades de cada una de ellas y reduciendo sus mayores desventajas (peso – catenaria)...



TOSA (ABB)  
Capturado en la web

**Los buses eléctricos con ultracapacitores operan hace tres años en Shanghai.**

**Se estarán implementando líneas en Beijing, Yangzhou, Nanjing y en otros países como Israel, Bulgaria y Rumania...**

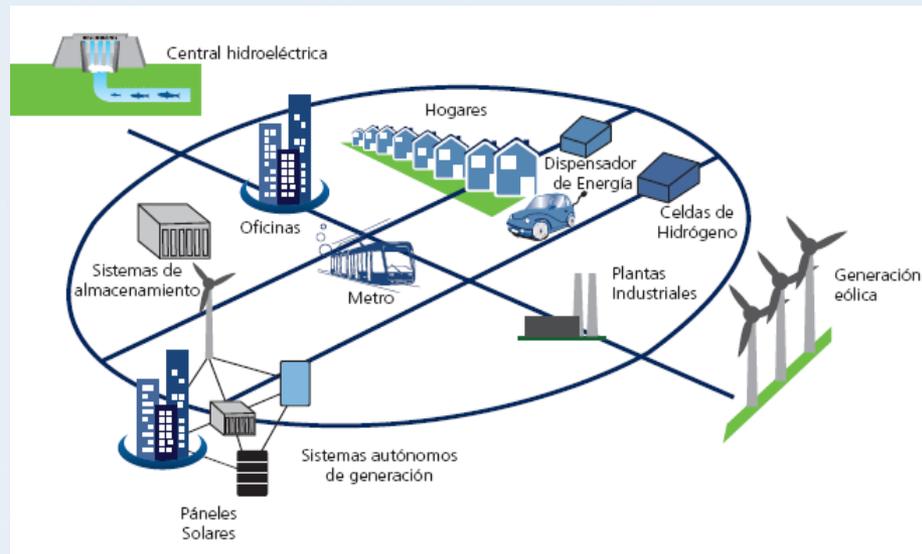
**Otros desarrollos y pruebas se encuentran en Suiza, Alemania y Estados Unidos...**



Buses eléctricos con ultracapacitores, China  
Harker, 2012

## Existen algunas consideraciones por evaluar para la implementación de BEV como:

- Uso secundario de las baterías
- Desarrollo mercado nacional E-Bus
- Integración operacional (teniendo en cuenta limitaciones de autonomía y tiempos de recarga)
- Densidad (peso) de las baterías y balance: pasajeros – baterías (condición de las vías)
- Ajustes infraestructura eléctrica para soporte (inversiones red local e inversiones propietario)
- Identificación de nichos de uso dentro de las rutas del SITP



Zonda E-Bus  
Opera Beijing (China)

## Las potenciales nuevas demandas del transporte urbano son marginales para el sistema eléctrico nacional...

Los proyectos PCH proyectados por la EAAB y otros posibles en vecindades a Bogotá permitirían proveer de energía a sistemas de transporte masivo eléctrico.



PCH Santa Ana  
Potencia instalada: 4 MW  
Cap. estimada generación: 40 GWh/año

Un corredor E-BRT con 160 buses articulados ó 500 buses padrones eléctricos E-Bus

Un proyecto de generación MDL produciría energía a un proyecto de bajas emisiones en el transporte urbano para Bogotá



# NUEVAS TECNOLOGÍAS Y ENERGÉTICOS EN EL TRANSPORTE

---

La implementación de nuevas tecnologías y energéticos en el SITP depende de la articulación de los distintos actores («todos ponen») y su orientación hacia un propósito más allá de la operación de un nuevo sistema de transporte, la construcción de un nuevo modelo de ciudad desde el transporte...



<http://caralbe.com/bogota.htm>



## CUÁL ES LA CIUDAD QUE ESTAMOS CONSTRUYENDO?



Bogotá Calle 72, 1945.



Estrasburgo, 2009.

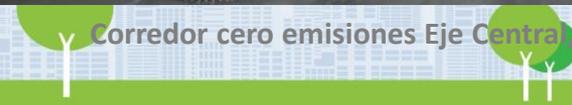
## CUÁNTO TIEMPO NOS TARDAREMOS EN GENERAR UN VERDADERO CAMBIO?



Bogotá 1984.



Corredor cero emisiones Eje Central México DF





Foro **Bogotá** siempre  
**gana**  
con el



**SÚBETE**  
POR AQUÍ ES EL CAMINO

# GRACIAS

**EDDER ALEXANDER VELANDIA DURÁN**

Director Centro en Desarrollo Sustentable y Cambio Climático

Docente TC Facultad de Ingeniería Universidad de La Salle

[velandiad@unisalle.edu.co](mailto:velandiad@unisalle.edu.co) – [ingeaved@gmail.com](mailto:ingeaved@gmail.com)

Bogotá, Octubre de 2013

