

Low carbon technologies can transform Latin America's bus fleets

Lessons from the C40-CCI Hybrid & Electric Bus Test Program:

Hybrid and electric technologies are a viable solution to reduce carbon emissions in the world's megacities



Las tecnologías de bajo carbono pueden transformar las flotas de buses en Latinoamérica



Low carbon technologies can transform Latin America's bus fleets

Lessons from the C40-CCI Hybrid & Electric Bus Test Program:

Hybrid and electric technologies are a viable solution to reduce carbon emissions in the world's megacities

April 25th, 2013

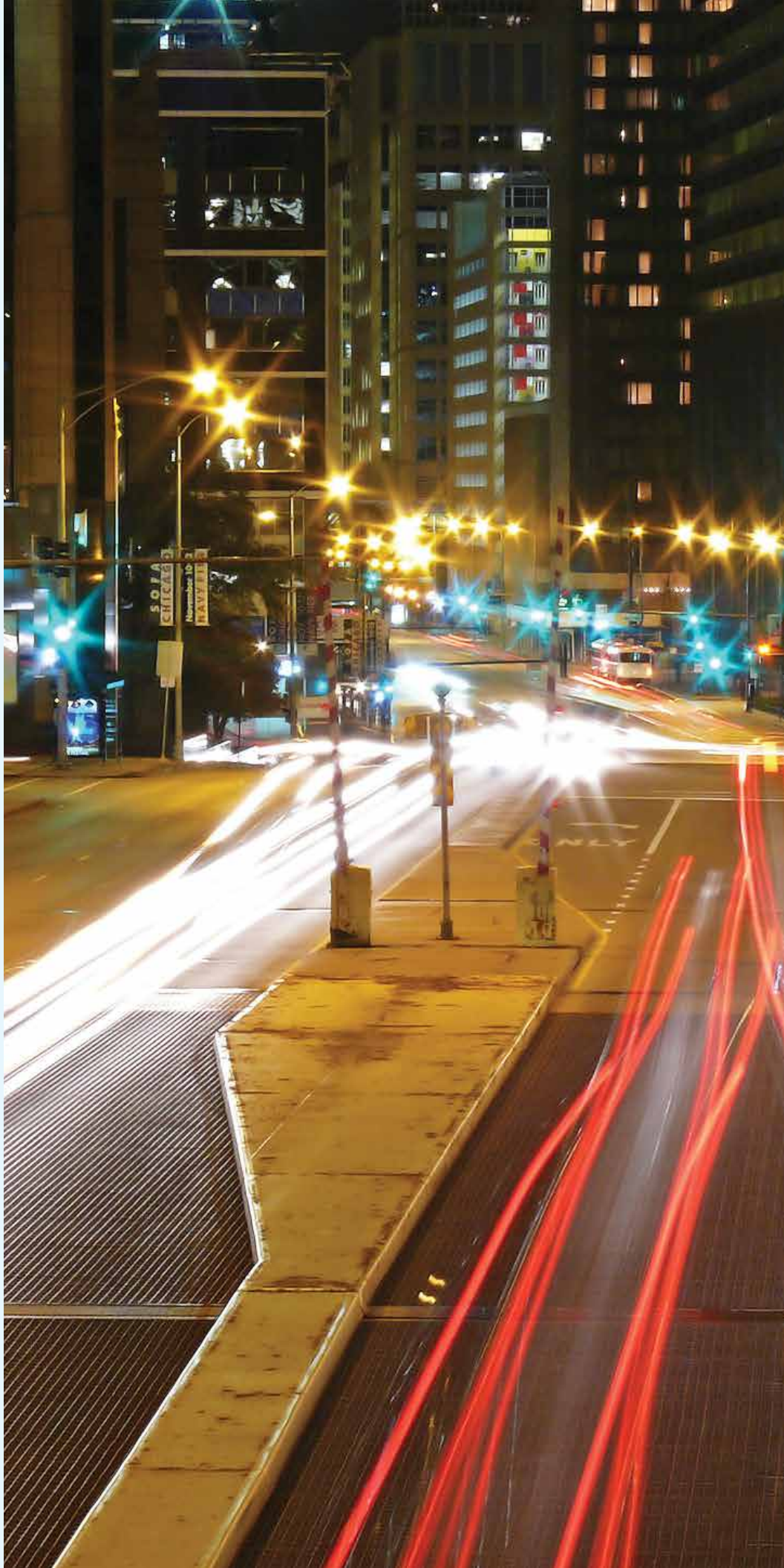


“The transportation sector has a significant impact on rising greenhouse gas emissions levels, so shifting vehicles to cleaner energy sources remains a vitally important challenge. In New York City, we have increased the size of our electric vehicle fleet and made our yellow taxicab fleet more fuel efficient, and this year we will begin a pilot program to place electric vehicle charging stations around the city. Cities across Latin America have also been working to improve their transport systems to achieve better air quality, and this report can provide a roadmap for cities around the world to help achieve similar outcomes.”

**C40 Chair, and Mayor of New York City
Michael R. Bloomberg**

“El sector del transporte tiene un impacto significativo en el aumento de los niveles de las emisiones de gases con efecto invernadero, por lo que el cambio a vehículos con fuentes de energía más limpias sigue siendo un desafío de vital importancia. En Nueva York, hemos aumentado el tamaño de nuestra flota de vehículos eléctricos y hecho más eficiente en combustible nuestra flota de taxis amarillos, y este año comenzaremos un programa piloto para instalar en la ciudad estaciones de recarga de vehículos eléctricos. Las ciudades de América Latina también han estado trabajando para mejorar sus sistemas de transporte con el fin de lograr una mejor calidad del aire, y este informe puede servir de guía para ayudar a las ciudades de todo el mundo a lograr resultados similares.”

**Presidente C40 y Alcalde de Nueva York
Michael R. Bloomberg**





"By making investments in low carbon transit solutions such as hybrid and electric vehicles, we are able to better address major global issues including climate change and our reliance on oil. This low carbon transit program demonstrates that clean energy technologies have the potential to significantly reduce greenhouse gas emissions in urban areas, and is a catalyst for other cities and governments that want to make long-term investments which are beneficial to both the economy and the environment."

President Bill Clinton, founder of the Clinton Foundation

"Al hacer inversiones en soluciones de transporte bajo en carbono, como los vehículos híbridos y eléctricos, somos capaces de abordar mejor los principales problemas mundiales como el cambio climático y nuestra dependencia del petróleo. Este programa de transporte bajo en carbono demuestra que las tecnologías de energía limpia tienen el potencial de reducir significativamente las emisiones de gases con efecto invernadero en las áreas urbanas, y es un catalizador para otras ciudades y gobiernos que quieren hacer inversiones a largo plazo, benéficas tanto para la economía como para el ambiente. "

Presidente Bill Clinton, fundador de la Fundación Clinton

"The Bank is committed to climate change mitigation and supports sustainable transportation initiatives in the region. The Hybrid and Electric Bus Test Program demonstrates opportunities to promote clean technologies in public transportation systems, and the interest of cities in adopting them".

Luis Alberto Moreno, President IDB

"El Banco está comprometido con la mitigación de los efectos del cambio climático y respalda las iniciativas de transporte sostenible en la región. El Programa de Pruebas de Buses Híbridos y Eléctricos demuestra oportunidades para impulsar tecnologías limpias dentro de los sistemas de transporte público y el interés que hay en las ciudades para adoptarlas".

Luis Alberto Moreno, Presidente BID



Table of Contents

Low carbon technologies can transform Latin America's bus fleets

Las tecnologías de bajo carbono pueden transformar las flotas de buses en Latinoamérica

Executive Summary	6
Part I: The Program and its Purpose	8
a. The Hybrid & Electric Bus Test Program	8
b. Challenges and Opportunities for Regions and Cities	12
c. About Hybrid & Electric Bus Technologies	15
Part II: The Case for Action: Why Hybrid/Electric Buses?	18
a. Technical Results	18
i. Direct Exhaust Emissions	20
ii. Energy Efficiency	21
iii. Role of Drivers, Routes, Topography and Altitude	24
b. Economic Analysis	24
i. Lifecycle Costing	25
ii. Financing and Investment Scenarios	30
c. Global Perspective	34
Part III: Key Outcomes, Findings, and Recommendations	36
a. Setting a Benchmark for Technology Companies	36
b. Employing New Tools for City-Level Decision-Making	36
c. Key Findings and Recommendations	39
Resumen Ejecutivo	6
Parte I: El Programa y su Propósito	8
a. El Programa de Pruebas de Buses Híbridos y Eléctricos	8
b. Desafíos y Oportunidades para las Regiones y las Ciudades	12
c. Sobre las Tecnologías de Buses Híbridos y Eléctricos	15
Parte II: La Propuesta de Acción: ¿Por qué Buses Híbridos o Eléctricos?	18
a. Resultados Técnicos	18
i. Emisiones Directas del Tubo de Escape	20
ii. Eficiencia Energética	21
iii. Rol de los Conductores, Recorridos, Topografía y Altitud	24
b. Análisis Económico	24
i. Costo del Ciclo de Vida	25
ii. Escenarios de Financiamiento e Inversión	30
c. Perspectiva Global	34
Parte III: Resultados Clave, Hallazgos y Recomendaciones	36
a. Puntos de Referencia para las Empresas Tecnológicas	36
b. Usar Nuevas Herramientas para la Toma de Decisiones a Nivel de las Ciudades	36
c. Hallazgos Clave y Recomendaciones	39

Today, the global urban population is nine times larger than it was 100 years ago - the implications of which are vast. Larger cities have a ravenous appetite for energy, consuming two-thirds of the world's supply and creating over 70% of global CO₂ emissions. Rapid urbanisation is fuelling an unparalleled demand for transportation, a major source of greenhouse gas emissions and therefore a critical driver of climate change. In fact, GHG emissions from the transport sector are increasing at a greater rate than those in any other.

There is no sign of urban growth, and its subsequent transportation demands, slowing down. But in this urbanised future there lies an opportunity: urban density can actually create the possibility for a better quality of life and a lower carbon footprint through more efficient infrastructure and planning. With increased demand for transportation comes an opportunity to introduce cleaner technologies.

The Hybrid and Electric Bus Test Program, an initiative designed and implemented by the C40 Cities Climate Leadership Group in partnership with the Clinton Climate Initiative, and with financial support from the Inter-American Development Bank (IDB), makes the case that hybrid and electric technologies can perform as well or better than comparable diesel-powered buses and within a reasonable payback period.

In Latin America, where the transport sector is already the largest contributor of GHG emissions, several cities have been working to improve their transport systems to achieve improved air quality, better road safety, and greater social inclusion. Several local governments are considering low carbon bus technology as a way of leapfrogging polluting technologies to meet these goals. As such, the Program establishes the case for investment in hybrid and electric buses by bus technology companies, cities, and local transport operators; compiles and shares results within a network of participants, interested parties, and cities in Latin American countries; and is designed ultimately to lead to the deployment of low carbon buses across Latin American cities. Resulting fleets could include as

Actualmente, la población urbana global es nueve veces mayor a la de 100 años atrás - lo que tiene enormes implicaciones. Las ciudades grandes tienen un apetito voraz por energía, consumen dos tercios de la oferta energética mundial y producen más del 70% de las emisiones globales de CO₂. La rápida urbanización está alimentando una demanda por transporte sin paralelo, que constituye la principal fuente de emisión de gases con efecto invernadero (GEI) y, por lo tanto, es un detonante crítico del cambio climático. De hecho, estas emisiones en el sector transporte han aumentado a una tasa mayor que las de otros sectores.

El crecimiento urbano y sus consecuentes demandas por transporte no dan signos de desacelerarse. No obstante, en este futuro urbanizado yace una oportunidad: la mayor densidad urbana puede crear la posibilidad de una mejor calidad de vida y una menor huella de carbono mediante infraestructura y planificación más eficientes. El aumento de la demanda por transporte trae consigo la oportunidad de introducir tecnologías más limpias.

El Programa de Pruebas de Buses Híbridos y Eléctricos -iniciativa diseñada e implementada por C40 Cities Climate Leadership Group en alianza con Clinton Climate Initiative y con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID)-, muestra que las tecnologías híbridas y eléctricas pueden desempeñarse igual o mejor que la tecnología de los buses diesel y con un período de retorno para la inversión, razonable.

En América Latina, donde la mayoría de las emisiones de gases con efecto invernadero provienen del sector transporte, algunas ciudades están trabajando para mejorar sus sistemas de transporte con el fin de reducir dichas emisiones, mejorar la calidad del aire, tener una mejor seguridad en las vías y una mayor inclusión social. Varios gobiernos locales están considerando el uso de buses con tecnologías bajas en emisiones de carbono (o de bajo carbono), como una manera de dar un salto tecnológico alejándose de tecnologías contaminantes y aportando al logro de sus metas. En este contexto, el Programa establece un caso de negocios para la inversión en buses híbridos y eléctricos por parte de las empresas de tecnologías de buses, las ciudades y los operadores de transporte local; además, reúne y comparte resultados entre los participantes, partes interesadas y ciudades de países latinoamericanos; y pretende en últimas liderar la expansión de buses de bajo carbono en las ciudades latinoamericanas. Las flotas resultantes podrían

"Given the successful implementation of the program of the Network of Cities (C40-CCI), funded by the Inter-American Development Bank (IDB), it has been demonstrated that hybrid and electric transportation is technically and economically feasible. In that sense the Development Plan "Human Bogota" meets 21st century challenges by foreseeing the intake of environmentally sustainable vehicles by the fleets of public service operators. It is imperative that suppliers and operators meet the challenge of transforming environmental conditions. We cannot condemn our children to live in a city that for decades has been contaminated by obsolete technologies. The progressive government of Bogota stimulates the use of low-pollution technologies that contribute to the reduction of CO₂ and reduce respiratory diseases."

Mayor Gustavo Petro, Bogota

"Dada la implementación exitosa del Programa de la Red de Ciudades (C40-CCI) financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), se ha demostrado con contundencia que el transporte híbrido y eléctrico es viable técnica y económicamente. En ese sentido el Plan de Desarrollo "Bogotá Humana" asume los retos del siglo XXI al prever la incorporación de vehículos ambientalmente sostenibles a las flotas de los operadores del servicio público. Es imperativo que proveedores y operadores atiendan el desafío de transformar las condiciones ambientales. No podemos condenar a nuestros niños y niñas a vivir en una ciudad que por décadas ha sido contaminada por tecnologías obsoletas. El gobierno progresista de Bogotá estimula estas tecnologías bajas en contaminación que contribuyen a la reducción del CO₂ y reducen enfermedades respiratorias".

Alcalde Gustavo Petro, Bogotá

many as 30,000 hybrid and electric buses within the next 10 years, resulting in an accumulated reduction in emissions during the same period of 10 million tonnes of carbon dioxide equivalent (CO₂e).

The Program was implemented by local governments, bus suppliers, and bus operators in Bogota, Rio de Janeiro, Sao Paulo, and Santiago. The conclusive results of this testing and economic analysis are already informing and accelerating decisions related to the incorporation of efficient, low emissions bus technologies.

The Program's results demonstrate that hybrid and electric technologies produce smaller volumes of GHG emissions and local air pollutants and are more fuel-efficient than standard diesel engines. As expected, results differ according to individual cities' driving patterns and cycles, driver training, and topography such as undulation and altitude above sea level, although this last variable, which is related to oxygen availability, does not affect electric buses.

There is strong evidence of the environmental and social benefits of hybrid and/or electric bus adoption through reduction of local pollutants that have a major impact on health and other externalities such as noise pollution. The early and committed adoption of new bus technologies in C40 cities could create the right conditions for best-cost scenarios by generating incentives for suppliers to invest in further technological development and result in the establishment of both a primary market that includes provision of services, and a secondary market of relevant suppliers.

Challenges remain, especially in regards to the quality of the available information on hybrid and electric bus technical and economic performance. But this is where the Program's impact really shines, by equipping cities with the evidence and arguments to establish a case for investment in hybrid and electric buses. For the ever-expanding population of Latin America, which is now more than 590,000,000, the timing could not be more critical.

incluir hasta 30.000 buses híbridos y eléctricos en los próximos 10 años, con una reducción acumulada de emisiones en el mismo período de 10 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂e).

El Programa fue implementado por los gobiernos locales, los proveedores de buses y los operadores de buses en Bogotá, Río de Janeiro, Sao Paulo y Santiago. Los concluyentes resultados de las mediciones y del análisis económico están desde ya informando y acelerando las decisiones relativas a la incorporación de buses con tecnología eficiente y de bajas emisiones.

Los resultados del Programa demuestran que las tecnologías de buses híbridos y eléctricos producen menores volúmenes de GEI, menos contaminantes locales y son más eficientes en el uso de combustible que los motores diesel convencionales. Como se esperaba, los resultados varían debido a las particularidades de cada ciudad en cuanto a patrones y ciclos de conducción, entrenamiento de los conductores y topografía, por ejemplo, pendiente y altura sobre el nivel del mar aunque esta última, que está relacionada con la disponibilidad de oxígeno, no afecta a los buses eléctricos.

Existe evidencia contundente de los beneficios ambientales y sociales de adoptar buses híbridos y/o eléctricos derivadas de la reducción de contaminantes locales que tienen un alto impacto en la salud de la población y otras externalidades, como por ejemplo la reducción de contaminación auditiva. La adopción temprana y comprometida de las nuevas tecnologías de buses en las ciudades del C40 podría crear las condiciones adecuadas para que se dieran los mejores escenarios de costos, generando los incentivos para que los proveedores inviertan en nuevo desarrollo tecnológico y estableciendo un mercado primario, que incluya provisión de servicios, y un mercado secundario de proveedores relevantes.

Aún quedan desafíos, especialmente en relación a la calidad de la información disponible sobre el desempeño técnico y económico de los buses híbridos y eléctricos. Es aquí donde el impacto del Programa realmente se destaca, porque equipa a las ciudades con evidencia y argumentos para sostener decisiones de invertir en buses híbridos y eléctricos. Considerando la continua expansión de la población latinoamericana, que hoy alcanza los 590.000.000 de habitantes, el momento no puede ser más crítico.

Part I | The Program and its Purpose

Parte I: El Programa y su Propósito

a. The Hybrid & Electric Bus Test Program

The Hybrid and Electric Bus Test Program (the “Program”) was conceived by C40-CCI, and has been actively supported by the IDB with a financial contribution of US\$1.49 million. C40-CCI, as the implementing agency, was responsible for gathering in-kind contributions from multiple stakeholders, and especially those involved in the testing of hybrid and electric buses for comparison purposes to that of conventional diesel vehicles.

This publication presents the main results of the Program and is intended to provide a basis and rationale for decisions made by cities and bus operators, by addressing the barriers to implementation and defining the conditions required for the new technology to operate to its full potential.

The Program measured the emissions from, and evaluated the technological and economic performance of, hybrid and electric buses in four cities - Bogotá, Rio de Janeiro, Sao Paulo, and Santiago - considering specific driving conditions and duty cycles. The Program involved each of the participating cities, several bus manufacturers, and various local transport operators from within those cities. It has generated comparative data on estimated emissions reductions, technological reliability, life-cycle costs, and other benefits and risks associated with the adoption of each technology.

The Program has delivered data and analyses of technical capacity, economic impact, market potential, and policy factors, which should equip cities with the evidence and arguments to establish a case for investment in hybrid and electric buses. This report does not present details of the fieldwork and the studies carried out; these are available on the C40 web page.

Tests were tailored to each city but were based on a common methodology, making it possible to compare results, and establishing a rich dataset for analysis. Tests conducted in multiple cities provided the project team with data on a wide range of environments (altitudes, climates, topography, etc.). The Program's test results are more comprehensive than the results of a single case study, and therefore more applicable to many more cities.

a. El Programa de Pruebas de Buses Híbridos y Eléctricos

El Programa de Pruebas de Buses Híbridos y Eléctricos (“el Programa”) fue concebido por C40-CCI y ha sido auspiciado activamente por el BID con una contribución financiera de \$1,49 millones. C40-CCI, como agencia ejecutora, fue la responsable de reunir las contribuciones en especie de diversos interesados, especialmente de aquellos involucrados en las pruebas de los buses híbridos y eléctricos y, para efectos de comparación, de vehículos diesel convencionales.

Esta publicación contiene los principales resultados del Programa y su objetivo es proveer los fundamentos para que las ciudades y los operadores puedan tomar decisiones, considerando las barreras para la implementación y las condiciones requeridas para que las nuevas tecnologías operen en todo su potencial.

El Programa midió las emisiones y evaluó el comportamiento económico y tecnológico de buses híbridos y eléctricos en cuatro ciudades - Bogotá, Rio de Janeiro, Sao Paulo y Santiago - considerando condiciones de manejo y ciclos de conducción específicos. El Programa involucró a las ciudades participantes, a varios productores de buses y a varios operadores de transporte local. Generó datos comparativos de las reducciones estimadas, la confiabilidad de la tecnología, los costos del ciclo de vida y de otros beneficios y riesgos asociados a la adopción de cada tecnología.

El Programa ha proporcionado datos y análisis sobre capacidad técnica, impacto económico, potencial de mercado y factores de política pública, que brindarán a las ciudades evidencias y argumentos para tomar decisiones de inversión en cuanto a buses híbridos y eléctricos. Este reporte no presenta detalles del trabajo de campo y de los estudios realizados, los cuales están disponibles en la página web del C40 (<http://www.c40cities.org/>).

Las mediciones fueron diseñadas especialmente para cada ciudad, usando una metodología común con el fin de facilitar la comparación de resultados y proveer una base de datos contundente para el análisis. Por ejemplo, las mediciones realizadas en múltiples ciudades permiten que el equipo del proyecto tenga datos para una amplia variedad de circunstancias (altitudes, climas, topografías, etc.). Los resultados de las mediciones del Programa son más completos que los de un caso de estudio aislado, luego permiten hacer generalizaciones y ser aplicados a otras ciudades.



The Program results confirm the need for technological adaptation to local conditions, and the importance of considering variables characterizing individual cities. From a market perspective, a multiple-cities approach allowed for a more accurate assessment of regional demand, and creates the possibility of a regional strategy for negotiating with bus manufacturers.

The four cities - Bogota, Rio de Janeiro, Sao Paulo, and Santiago - expressed direct interest in actively participating in the Program, and dedicated significant professional resources to it. These cities were interested in utilizing the results of the technical performance tests, and the analysis of economic viability of hybrid and electric bus technologies, for strategic planning in relation to their transport systems. They were keen to achieve a good understanding of costs as well as the underlying regulatory, legal, and institutional barriers to scaling-up deployment of this particular low carbon technology. City stakeholders and participating private companies perceived reducing global and local emissions as strong motivations for both evaluating hybrid/electric technologies, and as a way of avoiding deployment of less efficient and more polluting modes of transport.

The results from the technical phase of the Program show that adoption of hybrid buses could reduce CO₂ emissions by up to 35% (26% on average) compared to diesel buses. Average reductions in local emissions of between 60-80% were achieved, alongside a 30% reduction in fuel consumption. Electric buses have zero local emissions and offer up to 77% reduction in energy consumption, when comparing electricity use to diesel fuels.

While the economic analysis shows that the purchase costs of hybrid and electric buses are higher than those of traditional buses, lifecycle assessment shows that hybrid and electric buses may reduce overall costs to cities and/or operators in the long term. In particular, hybrids cost 50-60% more and electric buses cost 125 - 150% more than traditional buses at time of purchase. Under current conditions, both battery-based technologies show comparable technological performance and similar maintenance costs to diesel buses. It is

Los resultados del Programa confirman la necesidad de hacer adaptaciones tecnológicas a las necesidades locales, así como la importancia de considerar variables características de cada ciudad. Desde una perspectiva de mercado, el enfoque multi-ciudad permitió mayor precisión en la evaluación de la demanda regional y abrió la posibilidad de una estrategia regional para negociar con los productores de buses.

Las cuatro ciudades - Bogotá, Rio de Janeiro, Santiago y Sao Paulo - expresaron directamente su interés en participar activamente en el Programa y destinaron recursos profesionales significativos al mismo. Estas ciudades estaban interesadas en utilizar los resultados de las pruebas de desempeño técnico y del análisis de viabilidad económica de las tecnologías de buses híbridos y eléctricos para la planificación estratégica de sus sistemas de transporte. Las ciudades deseaban lograr un buen entendimiento de los costos y también del marco legal y regulatorio, así como sobre las barreras institucionales para masificar el uso de tecnologías de bajo carbono. Los representantes de la ciudades y de las empresas privadas percibían la reducción de emisiones globales y locales como una fuerte motivación para evaluar las tecnologías de buses híbridos y eléctricos, y también como un camino para evitar la expansión del uso de modos de transporte menos eficientes y más contaminantes.

Los resultados de la fase técnica del Programa mostraron que la adopción de buses híbridos podría reducir emisiones de CO₂ hasta en un 35% (26% promedio) comparado con los buses diesel de referencia. Las reducciones promedio de emisiones contaminantes locales, estuvieron entre el 60% y el 80%, junto a una disminución del 30% en consumo de combustible. Los buses eléctricos no tienen emisiones y ofrecen una reducción de 77% en consumo energético, comparando el uso de electricidad con el combustible fósil.

Mientras el análisis económico muestra que el costo de adquisición de buses híbridos y eléctricos es mayor que el de los buses tradicionales, la evaluación del ciclo de vida muestra que los buses híbridos y eléctricos pueden reducir los costos totales a las ciudades y/o a los operadores en el largo plazo. En particular, el costo inicial de compra es superior al de los buses tradicionales en aproximadamente 50%-60% para buses híbridos y en 125%-150% para buses eléctricos. En las condiciones actuales, ambas tecnologías basadas en baterías muestran resultados de desempeño tecnológico y algunos costos de mantenimiento similares a los buses diesel. Se espera que las condiciones mejoren para las tecnologías de buses híbridos y eléctricos en el futuro. Si el mercado se conso-

“The results of the Hybrid & Electric Bus Test Program in Rio are very promising and we will continue working with C40-CCI to demonstrate that a business case for the introduction of these technologies can be created. The use of low carbon technologies for buses in the City of Rio de Janeiro is part of an overarching strategy to enhance the city mobility and its sustainability performance”.

Mayor Eduardo Paes, Rio de Janeiro

“Los resultados del Programa de Pruebas de Buses Híbridos y Eléctricos en Río son muy promisorios y vamos a seguir trabajando con el C40-CCI para demostrar que se puede crear un caso de negocios para la introducción de estas tecnologías. El uso de las tecnologías bajas en carbono para los buses en la ciudad de Río de Janeiro es parte de una estrategia global para mejorar la movilidad de la ciudad y su desempeño en sostenibilidad”.

Alcalde Eduardo Paes, Rio de Janeiro

hoped that conditions will improve for hybrid and electric technologies in the future. If a market became established, hybrid and electric buses could outperform traditional vehicles in the long run, through savings on energy, emissions reductions, lower maintenance costs, and increased durability.

The Program allowed transport authorities and bus operators to learn from international experience with low carbon fleets performance in cities (operators visited installations in Gothenburg, London, Mexico, Shanghai, Shenzhen, and Stockholm). Although there are differences in net performance amongst technologies – in some cases after several years and in most after a few months – overall performance is consistent with the results obtained by the Program. At present, many cities around the world are making radical decisions regarding fleet increases to respond to increasing passenger demand. Findings showing that hybrid buses are in operation and the technology is performing as expected, with savings in fuel of over 30% compared to conventional diesel buses, is strong evidence to encourage future investment by cities in Latin America, as well as more broadly⁽¹⁾.

Several cities are keen to adopt new low carbon technology, with electric buses proving the most attractive. Electric bus technology utilizing batteries or ultracapacitors is newer than hybrid technology, and in some cases has been in operation just over two years. Operating costs are lower in all cases compared to conventional diesel buses, with maintenance costs close to 50% lower as compared to diesel buses⁽²⁾. Shanghai and Shenzhen, for example, are both enlarging their electric fleets, and Shenzhen has made the decision to move to 100% electric bus fleets within a short timeframe.

The main challenge for implementation of new electric technology is the battery: there is a need for better performance and longer life span (currently less than 3,000 cycles - less than five years). Iron phosphate and lithium ions provide a longer lifespan - around 5,000 cycles - while price trends, based on present market growth, seem unaffected. On the one hand, developers are striving for increased efficiency. On the other, trends indicate that the price of lithium-based batteries will fall

lida, en el largo plazo los buses híbridos y eléctricos podrían superar a los vehículos tradicionales, debido a ahorros en energía, reducción de emisiones, menores costos de mantenimiento y mayor durabilidad.

El Programa permitió que las autoridades de transporte y los operadores de buses de las ciudades, aprendieran de la experiencia internacional sobre desempeño de las flotas de bajo carbono en otras ciudades (los operadores visitaron instalaciones en Estocolmo, Gotemburgo, Londres, México, Shanghai y Shenzhen). Si bien hay diferencias entre el desempeño neto de las tecnologías, en algunos casos después de algunos años y en la mayoría después de algunos meses, el desempeño se equipara con los resultados obtenidos en el Programa. Actualmente, muchas ciudades alrededor del mundo están tomando decisiones radicales en relación a los aumentos en sus flotas de buses para responder a los incrementos de demanda de pasajeros. Los resultados de las vistas muestran que los buses híbridos están operando y la tecnología se desempeña según lo esperado, con ahorros de más del 30% comparado a los buses diesel convencionales, esto representa evidencia robusta para alentar inversiones futuras en América latina y también en otras latitudes.

Varias ciudades quisieran adoptar nuevas tecnologías de bajo carbono y los buses eléctricos constituyen la opción mas atractiva. La tecnología de buses eléctricos con baterías y ultracapacitores es más nueva que la de buses híbridos, operando en algunas ciudades hace ya más de dos años. Como se señaló los costos de operación son menores que los de los buses diesel convencionales, mientras los de mantenimiento en general no superan el 50% del de los buses diesel. Los costos de capital son 50% más altos, y en general son subsidiados por el gobierno. Shanghai y Shenzhen, por ejemplo, están ampliando sus flotas de buses eléctricos, mientras Shenzhen ha tomado la decisión de cambiar el 100% de su flota a buses eléctricos en el corto plazo.

El mayor desafío para implementar la nueva tecnología eléctrica es la batería: se necesita mejor desempeño y vida útil más larga (en general es menor de 3.000 ciclos - menos de cinco años). El fósforo de hierro

1. Since initial investments are higher for hybrids compared to conventional buses and maintenance costs have proved 10% higher in practice, all these fleets are subsidized.

1. Como las inversiones iniciales son más altas para buses híbridos comparados con buses convencionales y los costos de mantenimiento han provado en la práctica ser 10% más altos, todas estas flotas son subsidiadas.

2. Capital costs and infrastructure for electric fleets are generally government-subsidized.

2. Los costos de capital e infraestructura para flotas eléctricas generalmente son subsidiadas por el gobierno.



in the future, perhaps by 50% by the end of the decade. Mainstreaming of this technology would open a secondary market for used batteries before recycling is required. However, especially in the case of batteries containing lithium and heavy metals, recycling requires very good environmental practices.

In addition, the use of electrical motors (that have few moving pieces) increases the life of the buses, as opposed to the active wearing of the many components associated with the combustion system of diesel buses. Durability of hybrid or battery electric buses compared to conventional diesel vehicles has yet to be proven, although the consensus is above 15 years.

b. Challenges and Opportunities for Regions and Cities

Globally, GHG emissions are increasing most rapidly in the transport sector. GHG emissions are the primary driver of climate change, and at the same time, transport demand is responsible for most of the increased global demand for oil. Further, a major portion of future increases in transport GHG emissions will come from developing countries.

In Latin America, the transport sector is the largest contributor of CO₂ emissions from energy consumption, accounting for 35% of such emissions compared with a 24% share worldwide. Road transport accounts for 90% of transport emissions in the region, half produced by passenger traffic and the remainder by freight transport. GHG emissions from the transport sector are ex-

con iones de litio proveen una vida útil más larga - alrededor de 5.000 ciclos - mientras que las tendencias de precios, basadas en el crecimiento de mercado actual, parecen estables. Por una parte, los desarrolladores se están esforzando por aumentar la eficiencia; por otra, las tendencias indican que el precio de las baterías base litio caerá en el futuro, quizás en 50% para el final de la década. Si esta tecnología fuese dominante, podría abrir un mercado secundario para las baterías usadas antes de que sea necesario reciclarlas. Sin embargo, especialmente en el caso de las baterías base litio con metales pesados, el reciclaje requiere de muy buenas prácticas ambientales.

Adicionalmente, el uso de motores eléctricos (que tienen pocas partes móviles) aumenta la vida de los buses, de manera opuesta a lo que sucede con el desgaste permanente de los muchos componentes asociados a los sistemas de combustión de los buses diesel. La durabilidad de los buses híbridos o eléctricos con batería comparados a los vehículos diesel convencionales aún tiene que probarse, si bien hay consenso en que es de por lo menos 15 años.

b. Desafíos y Oportunidades para las Regiones y las Ciudades

A nivel global, las emisiones de GEI que más crecen son aquellas producidas por el sector transporte. Los GEI son la principal causa del cambio climático y el sector transporte es, al mismo tiempo, responsable por la mayor parte del aumento de la demanda de combustibles derivados del petróleo. Aún más, la mayoría de los incrementos futuros en emisiones de GEI del sector transporte provenirán de países en vías de desarrollo.

En América Latina, el sector transporte es el más importante emisor de CO₂ generado por consumo energético, es responsable por 35% de dichas emisiones, comparado a 24% de participación a nivel

International Energy Agency (IEA) figures show that transport worldwide is responsible for more than 60% of oil consumption, 13% of global GHG emissions, and 23% of global CO₂ emissions from fuel combustion. Transport GHG emissions are expected to increase by some 57% worldwide by 2030, with 80% of this increase coming from developing countries. By 2030, the transport sector is expected to account for 75% of increased demand for oil. Transport energy use in developing countries will increase at a rate of about 3% per year, four times faster than the rate for developed countries (IEA, 2008).

Los datos de la Agencia Internacional de Energía (AIE) muestran que el transporte mundial es responsable por más del 60% del consumo de combustible derivado del petróleo, 13% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, y 23% de las emisiones globales de CO₂ por consumo de combustibles. Se espera que las emisiones de gases con efecto invernadero del sector transporte hayan crecido mundialmente 57% para 2030, con 80% de este crecimiento originado en países en vías de desarrollo. Se espera que para 2030, el sector transporte represente el 75% del aumento en la demanda de petróleo. El uso de energía para transporte en países en vías de desarrollo crecerá en 3% anual, cuatro veces más rápido que la tasa de crecimiento de los países desarrollados (AIE, 2008).

pected to increase as a result of urbanization, rapid motorization (vehicle ownership and use), and growth in both domestic and international trade in goods and services.

Latin America's urban areas account for more than 70% of its population and are presenting increasing rates of motorization. This motorization trend is expected to be maintained, as it is strongly correlated with increased personal income and decline in the real value of vehicles. Overall, increases in car ownership, car use, and emissions in the region will continue to grow, based on population and Gross Domestic Product (GDP) levels.

In addition, the rate at which Latin American cities are growing is too fast for the current levels of investment in infrastructure to keep pace, and there is a growing trend towards urban sprawl and decentralization from urban centres. This rapid urban development is resulting in less available public transport services, and increased personal vehicle use and kilometres travelled, and is further accelerating the growth in GHG emissions.

The above-mentioned realities call for fast action. The evidence suggests that comprehensive and integrated strategies would be most efficient and would work simultaneously to reduce transport emissions and fuel consumption through the adoption of more energy efficient technologies. Reducing the transportation carbon footprint through the adoption of an integrated strategy could bring other benefits for cities, including better air quality, less road congestion, reduced traffic noise, better road safety, and greater social inclusion as a result of more accessible, more efficient public transport.

Some Latin American cities have been actively promoting sustainable transport measures, mainly through the implementation of Bus Rapid Transit (BRT) systems, but also other initiatives incorporating coordinated urban planning strategies for sustainable mobility and urban development. BRT refers to high-speed bus services that usually operate from city suburbs to central business districts, often using designated bus lanes and elevated metro-style pre-paid passenger access with sheltered bus stops. Bogota and Curitiba have

mundial. El transporte en carreteras da cuenta del 90% de las emisiones de transporte en la región, la mitad producidas por tráfico de pasajeros y la otra por transporte de carga. Se espera que las emisiones de GEI del sector transporte aumenten como resultado de la urbanización, la rápida motorización (aumento del uso y propiedad de vehículos particulares) y el crecimiento del transporte de comercio de bienes y servicios, tanto doméstico como internacional.

Más del 70% de la población de Latinoamérica vive en áreas urbanas que presentan tasas crecientes de motorización. Esta tendencia se mantendrá puesto que está fuertemente correlacionada con el aumento del ingreso personal y la baja en el valor real de los vehículos. En general, los niveles de propiedad, uso de autos, y de emisiones de la región son mas altas que las que se podrían esperar de esta población basándose en su Producto Interno Bruto (PIB).

Adicionalmente, la tasa de crecimiento de las ciudades latinoamericanas es demasiado rápida como para que la provisión de infraestructura pueda ir a la par, con una tendencia creciente a la expansión de las ciudades y la descentralización de los cascos urbanos. Este rápido desarrollo urbano resulta en unas disminuciones de la disponibilidad de los servicios de transporte y un aumento del uso de vehículos personales, consecuente con los kilómetros recorridos y el incremento de las emisiones de GEI.

Los hechos antes mencionados requieren de acciones inmediatas. La evidencia sugiere que las estrategias comprehensivas e integradas serían las más eficientes y podrían trabajar simultáneamente en reducir, las emisiones por transporte y el consumo de combustible a través de la adopción de tecnologías mas eficientes en el uso de la energía. Reducir la huella de carbono del sector transporte con estrategias integradas podría traer beneficios adicionales para las ciudades, por ejemplo, mejor calidad de aire, menor congestión, disminución del ruido, mayor seguridad en las vías y mayor inclusión social como resultado de un transporte público mas accesible y eficiente.

Algunas ciudades latinoamericanas han promovido activamente medidas para un transporte sustentable, principalmente a través de la implementación de sistemas de Buses de Rápido Tránsito (BRT), y otras iniciativas que incorporan estrategias sustentables coordinadas de planificación urbana y movilidad de los habitantes. BRT se refiere a servicios de buses de alta velocidad, usualmente operando entre los suburbios y los distritos céntricos de la ciudad, comúnmente usando carriles exclusivos y accesos elevados, donde los pasajeros entran con pasajes pre-pagados



“Improving public transport system is an absolute priority for Sao Paulo. Over the coming years, we intend to create more than 150 km bus lanes (BRT) and significantly improve operational speed and quality of the buses that run in the city. The results of tests with hybrid and electrical buses undertaken by C40/SPTRANS in Sao Paulo, with IDB financing, demonstrated the economic and environmental benefits of using clean vehicles. Our municipal legislation already requires the use of 100% of clean vehicles by 2018 and we have just incorporated these goals into our government plan. We will work hard to improve public transport in the city. “

Mayor Fernando Haddad, Sao Paulo

“Mejorar el sistema de transporte público es una prioridad absoluta de São Paulo. Durante los próximos años tenemos la intención de crear más de 150 km carriles de bus (BRT) y mejorar significativamente la velocidad operacional y calidad de los buses que funcionan en la ciudad. Los resultados de las pruebas con buses híbridos y eléctricos realizadas por C40/SPTRANS en São Paulo, con financiamiento del BID, demostró los beneficios económicos y ambientales de la utilización de vehículos limpios. Nuestra legislación municipal ya requiere el uso de 100% de los vehículos limpios en 2018 y acabamos de incorporar estos objetivos a nuestro plan de gobierno. Vamos a trabajar duro para mejorar el transporte público en la ciudad.”

Alcalde Fernando Haddad, São Paulo

both implemented BRT systems, and development is underway in several C40 cities including Mexico, Rio de Janeiro, and Sao Paulo.

The window of opportunity for investment in hybrid and electric bus technology is now, when cities have plans for expansion and replacement of their bus fleets, when the technology is increasingly mature, and is proving to be economically competitive over the long run.

c. About Hybrid & Electric Bus Technologies

Hybrid and electric bus technologies are recognized as low carbon technologies. Hybrid buses combine a conventional internal combustion engine with an electric propulsion system. These types of buses normally use a diesel-electric power-train and are also described as hybrid diesel-electric buses. The electric power-train is intended to achieve better fuel economy than in a conventional vehicle. Modern hybrid diesel-electric buses make use of efficiency-improving technologies such as regenerative braking, which converts the vehicle's kinetic energy into electric energy to charge the battery rather than being dissipated as heat energy, every time acceleration is reduced.

In general, hybrid electric vehicles can be classified according to how the power is supplied to the drive-train: in parallel or in series. In parallel hybrids, both the internal combustion engine and the electric motor are connected to the mechanical transmission and can simultaneously transmit power to drive the wheels, usually through a conventional transmission. In series hybrids, only the electric motor drives the drive-train, and the internal combustion engine works as a generator to power the electric motor or to recharge the batteries. Series hybrids usually have smaller combustion engines and larger battery packs compared to parallel hybrids. Parallel hybrids have smaller engines compared to the equivalent diesel bus.

Hybrid buses do not require any additional investments in infrastructure. The hybrid system consumes less fuel and correspondingly reduces CO₂, nitrogen oxides and particulate matter emissions.

a paraderos cerrados. Bogotá y Curitiba han implementado sistemas de BRT y varias otras ciudades C40, tales como México, Río de Janeiro y Sao Paulo, los están desarrollando.

La ventana de oportunidad para invertir en buses híbridos y eléctricos es ahora, cuando las ciudades están planificando su expansión y el remplazo de las flotas de buses, cuando la tecnología está suficientemente madura y está pobrando ser económicamente competitiva en el largo plazo.

c. Sobre las Tecnologías de Buses Híbridos y Eléctricos

Las tecnologías de buses híbridos y eléctricos son reconocidas como bajas en emisiones de carbono. Los buses híbridos combinan un motor convencional de combustión interna con un sistema de propulsión eléctrico. Este tipo de buses usa normalmente una fuente de poder diesel-eléctrica y también se describen como buses híbridos diesel-eléctricos. Con la fuente de poder eléctrica se buscan economías de combustible superiores a las de los vehículos convencionales. Los buses híbridos diesel-eléctricos modernos usan tecnologías para mejorar la eficiencia, tales como frenado regenerativo, que convierte la energía cinética del vehículo en energía eléctrica para cargar la batería en lugar de disipar la energía en forma de calor cada vez que el vehículo frena.

En general, los vehículos híbridos y eléctricos se pueden clasificar de acuerdo a la fuente de poder que llega al tren de conducción: en paralelo o en serie. Los híbridos en paralelo, ambos motores, el de combustión interna y el motor eléctrico, están conectados a la transmisión mecánica y pueden transmitir simultáneamente potencia para manejar las ruedas, normalmente mediante transmisión convencional. En los híbridos en serie, solo el motor eléctrico maneja al tren de dirección y el motor de combustión interna trabaja como un generador para alimentar al motor eléctrico o para recargar las baterías. Los híbridos en serie tienen normalmente motores de combustión más pequeños y un conjunto de baterías más grande que el de los híbridos en paralelo. A su turno estos tienen motores más pequeños que los de los buses diesel equivalentes.

Los buses híbridos no requieren inversiones adicionales en infraestructura. Los sistemas híbridos consumen menos energía y consecuentemente reducen CO₂, óxido de nitrógeno y emisiones de partículas.



Electric buses are powered by electricity and propelled by electric motors that respond to control systems to regulate power to the motors. These buses can either run by permanently connecting to wires (catenaries) or temporarily collecting electricity from an overhead charging structure or complex wireless systems, or run on batteries that need to be plugged into an electricity source and recharged over several hours and/or several times a day for either seconds (ultracapacitors, low autonomy) or minutes (batteries, from 30 to 300 km of autonomy). Battery-based vehicles run on chemical energy stored in rechargeable battery packs and do not have an internal combustion engine. These battery electric vehicles (BEV) or electric buses are dependent on the battery being plugged in at a charging station. Best motor efficiency is obtained with a wheel hub motor, conferring additional savings by eliminating the need for a transmission differential, and related mechanical parts. This reduces both the overall weight of the bus and energy losses due to friction.

Tail pipe emissions generated by an electric bus are zero, and emissions from the electric network can be close to zero if generation comes from low-carbon sources such as hydroelectricity, solar, or wind.

Depending on the technology chosen, a fleet of electric buses requires installation of long catenary infrastructure on the roads, charging stations in bus terminals, a combination between quick-charging and slow-overnight charging schemes, or multiple recharging per day installed at bus stops; in any of these cases changes must be made to the operator's garages.

Los buses eléctricos se alimentan con electricidad y son propulsados por motores eléctricos que responden a controladores que regulan la potencia de los motores. Estos buses pueden estar conectados permanentemente a cables (catenarias) o temporalmente una estructura de carga o un complejo sistema inalámbrico para acumular electricidad, o usar baterías que necesitan ser cargadas con una fuente eléctrica y recargadas después de algunas horas y/o varias veces al día, ya sea por segundos (ultracapacitores, baja autonomía) o por minutos (baterías, de 30 a 300 km de autonomía). Los vehículos basados en baterías funcionan con energía química almacenada en paquetes de baterías recargables y no tienen motor de combustión interna. Estos Vehículos Eléctricos de Baterías (VEB) o buses eléctricos dependientes de batería, se conectan en una estación de carga. La mayor eficiencia del motor se obtiene con un sistema de motor integrado al centro de la rueda, que confiere ahorros adicionales al eliminar la necesidad de transmisión, diferencial y de partes mecánicas relacionadas. Esto reduce tanto el peso total del bus como las pérdidas de energía por fricción.

Las emisiones generadas por el bus eléctrico son cero y las emisiones del sistema eléctrico pueden ser cercanas a cero si la generación proviene de fuentes de bajo carbono, como la hidroelectricidad, la energía solar o la energía eólica.

Dependiendo de la tecnología elegida, una flota de buses eléctricos requiere instalaciones de infraestructura de catenarias en las vías, o estaciones de recarga en los terminales de buses, o una combinación entre carga rápida y largas sesiones de carga durante la noche o recargas varias veces al día en las paradas de buses; cualquiera sea el requerimiento, éste implica hacer cambios en la base de operaciones (terminales) de los empresarios de buses.



Part II The Case for Action: Why Hybrid or Electric Buses?

Parte II: La Propuesta de Acción: ¿Por qué Buses Híbridos o Eléctricos?

The Program results show better performance of hybrid and electric buses compared to conventional diesel buses in relation to exhaust emissions and energy efficiency.

In Latin America the adoption of new low carbon technologies is subject to various policy scenarios regarding regulation and tax systems. For example, current subsidies for diesel tip the balance towards investing in conventional diesel technology, and import barriers in the form of duties favour continuation of established local production of diesel buses. Long-term evaluations of operating and maintenance costs strongly affect economic life-cycle analysis, as well as market scenarios analysis, showing that secondary markets at the end of the bus or battery life can have important impacts.

The economic analysis shows that over the life cycle of the technology (over a 10 year period) a hybrid or electric bus has a higher initial purchase cost, but a competitive operating cost, plus very low maintenance costs, particularly in the case of electric buses. Potentially the greatest advantages of these technologies are their environmental, health, and social benefits. Additionally, adopting electric vehicles at a large scale aids in the development of low carbon bus markets while increasing operational stability, as energy price uncertainty is reduced due to the more predictable nature of electricity cost over any liquid fuel.

a. Technical Results

The Program involved 16 buses undergoing 30 hours of testing under real-world driving conditions for emissions and energy consumption, running along bus routes defined by each participating city's local authority and transport operators. Pioneering bus manufacturers, such as Volvo, Eletra, Youngman, Hankuk, and BYD, made buses available to the C40-CCI team for testing. Bus testing included different hybrid (diesel/elec-

Los resultados del Programa muestran que el desempeño de los buses híbridos y eléctricos es mejor que el de los vehículos diesel convencionales en relación a emisiones y eficiencia energética.

La adopción de tecnologías de bajo carbono en América Latina está sujeta a varios escenarios de regulación y sistemas de impuestos. Por ejemplo, los actuales subsidios al diesel fomentan la inversión en tecnologías diesel convencionales, y las barreras a la importación en forma de aranceles favorecen la continuidad del sistema establecido de producción local de buses diesel. Las evaluaciones de largo plazo de costos de mantenimiento y operación afectan fuertemente el análisis económico de ciclo de vida, así como también el análisis de escenarios de mercado, mostrando que los mercados secundarios al final del ciclo de vida de las baterías pueden tener efectos importantes.

El análisis económico muestra que durante el ciclo de vida de la tecnología (un período de 10 años), un bus híbrido o eléctrico tiene un costo de inversión inicial mayor, pero un costo operacional competitivo, además de muy bajos costos de mantenimiento en el caso de los buses eléctricos. La gran ventaja potencial de estas tecnologías está en los beneficios ambientales, de salud para la población y sociales de diverso tipo. Adicionalmente, la adopción de buses eléctricos a gran escala ayuda a desarrollar el mercado de este tipo de vehículos de bajo carbono, al mismo tiempo que se aumenta la estabilidad operacional, ya que se reduce la incertidumbre del precio de la energía debido a la característica más predecible del costo de la electricidad respecto de cualquier combustible líquido.

a. Resultados Técnicos

El Programa midió emisiones y consumo energético de 17 buses que pasaron por 30 horas de pruebas cada uno bajo condiciones reales de manejo, en recorridos de buses definidos por las autoridades locales y los operadores de transporte de las ciudades participantes. Proveedores pioneros, como Volvo, Eletra, Youngman, Hankuk y BYD, pusieron sus buses a disposición del equipo C40-CCI para las mediciones. Estas consideraron diversos vehículos híbridos (diesel/eléctrico) y vehículos totalmente

tric) and full battery electric vehicles⁽³⁾ compared against a diesel bus (reference case). Following detailed planning, testing was undertaken in each city. Both Brazilian cities tested two hybrid technologies, a serial and a parallel bus. Bogota tested two examples of parallel hybrid technologies. One parallel hybrid bus was tested in Santiago. Electric buses were tested in Bogota and Santiago, and a trolley bus was evaluated in Sao Paulo.

Three main components were measured to assess bus performance: direct exhaust emissions, fuel and energy consumption and the role of drivers, routes, topography, and altitude.

The Program received the support of local bus operators or representatives in each city, including Express del Futuro in Bogota, Real Auto Ônibus, Viação Saens Peña and Fetranspor in Rio, Subus Chile in Santiago, and Transpass and Ambiental in Sao Paulo, and each provided drivers. Bus routes were identified and agreed upon with local authorities, taking into account criteria such as specific local policies, normal operating conditions for public transport services, topography and maximum coverage of the main urban area. Tests were carried out under normal traffic conditions at maximum loading capacity using simulated weights.

eléctricos⁽³⁾, que se compararon con buses diesel (como caso de referencia). Las pruebas en cada ciudad siguieron una detallada planificación. En las dos ciudades brasileras se midieron dos tecnologías híbridas: un bus en serie y un bus en paralelo. En Bogotá se midieron dos ejemplos de tecnologías híbridas en paralelo. En Santiago se midió un bus híbrido en paralelo. Se midieron diferentes buses eléctricos en Bogotá y Santiago y se evaluó un trolley en Sao Paulo.

Se aplicaron pruebas sobre tres componentes principales para medir desempeño de buses: emisiones directas del tubo de escape, consumo de combustible y energía, y el rol de los conductores, recorridos, topografías y altitudes.

El Programa contó con el apoyo de los operadores de buses locales o de sus representantes de cada ciudad, incluyendo Express del Futuro en Bogotá, Real Auto Ônibus, Viação Saens Peña y Fetranspor en Rio, Subus en Santiago de Chile, y Transpass y Ambiental en Sao Paulo, y cada uno facilitó conductores. Las rutas de los buses se identificaron de común acuerdo con las autoridades locales, teniendo en consideración criterios como las políticas locales, condiciones normales de operación para servicios de transporte público, topografía y máxima cobertura del área urbana principal. Las pruebas se desarrollaron bajo condiciones normales de tráfico a máxima capacidad de carga usando pesos simulados.

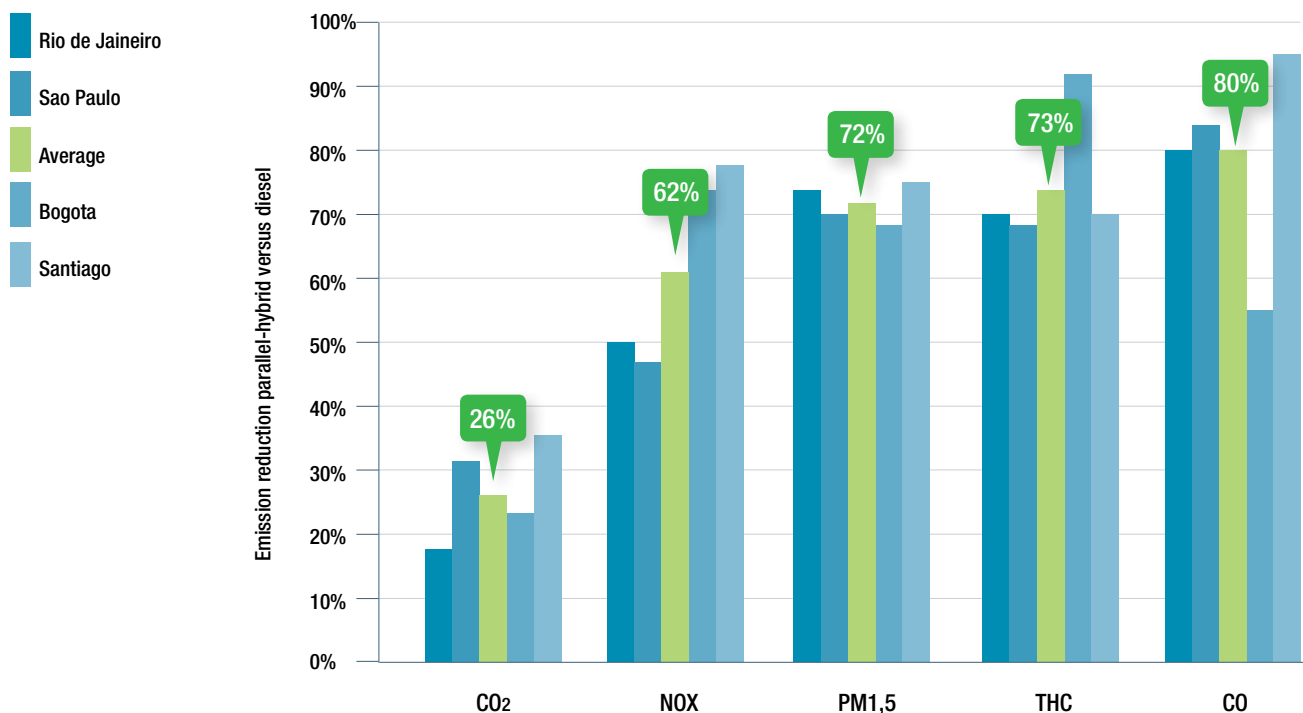
3. One bus manufacturer made its parallel-hybrid technology available in all four cities, other manufacturers made vehicles available to individual cities.

3. Un proveedor de buses puso a disposición su tecnología híbrida en paralelo en las cuatro ciudades, otros proveedores facilitaron vehículos para ciudades individuales.



Figure 1 Emissions reductions for carbon dioxide and criteria pollutants

Figura 1 Reducción de emisiones de dióxido de carbono y contaminantes criterio



i. Direct Exhaust Emissions

Results varied by city, but in all cases, emissions performance was better for parallel hybrid buses than traditional diesel buses (full electric buses are not included in this analysis because this technology has zero direct exhaust pipe emissions).

Figure 1 compares CO₂ and criteria pollutant reduction emissions for parallel-hybrid technologies and the respective reference diesel bus. On average, parallel-hybrid bus technologies registered 26% lower CO₂ emissions than the standard diesel technology, under comparable weights, routes, and traffic conditions (all results have been normalized using a common driving cycle). For criteria pollutants, when comparing the parallel-hybrid versus diesel-only technologies, average reductions were 62% for nitrogen oxides, 72% for fine particulate matter, 73% for unburnt hydrocarbons, and 80% for carbon monoxide.

Emission reductions for gases and fine particulate matter were always greater than 50% for all parallel and improved-serial hybrid technologies, with increased performance of over 70% reduction in all criteria pollutants analysed. The results

i. Emisiones Directas del Tubo de Escape

Los resultados variaron por ciudad y en todos los casos, el desempeño en emisiones fue mejor para los buses híbridos en paralelo que para los buses diesel tradicionales. Los VEB no se incluyen en el análisis porque esta tecnología no produce emisiones directas.

La Figura 1 compara reducción de emisiones de CO₂ y de contaminantes criterio para tecnologías híbridas en paralelo con el respectivo bus diesel de referencia. En promedio, las tecnologías de buses híbridos en paralelo, registraron 26% menos emisiones de CO₂ que las tecnologías diesel estándar, bajo condiciones comparables de peso, recorridos y condiciones de tráfico (todos los resultados fueron normalizados usando un ciclo de conducción común). Las reducciones promedio de contaminantes criterio, al comparar tecnologías híbridas en paralelo, con tecnologías solo diesel, fueron del 62% para óxidos de nitrógeno, 72% de partículas finas, 73% hidrocarburos inquemados y 80% de monóxido de carbono.

Las reducciones de emisiones de gases y de partículas finas fueron siempre mayores del 50% en todas las tecnologías híbridas, en paralelo y en serie mejoradas, optimizando el desempeño de más de 70%

for PM_{1.5} are particularly interesting, showing an almost constant 70% reduction for all cities⁽⁴⁾. These improvements would have an important impact on local air quality as low carbon fleets become dominant, resulting in major health benefits (the combined population of the four cities is around 50 million). Therefore, introducing economic valuations based on health impact analysis, and assuming fleet turnovers in favour of hybrid technologies, should be considered as part of an assessment framework.

ii. Energy Efficiency

The Program tested fuel consumption for diesel-only and hybrid diesel-electric buses, as well as electric energy consumption for full electric buses and a trolley bus. The analysis includes comparisons of fuel consumption by bus (FC) and by passenger (FC/pax), using a corresponding reference diesel bus in each city. Electric energy consumption is converted into equivalent litres of diesel fuel.

Four reference diesel, seven hybrid, and three full electric vehicles were tested in the four cities participating in the Program. Reference diesel buses are denominated RDB; hybrid buses are denominated PHB and SHB for parallel and serial technologies, respectively; full-electric vehicles are FEB, whose equivalent fuel consumption is estimated by converting kWh and litres into kcal of energy (to avoid distortions to or fluctuations in local energy market prices⁽⁵⁾). As already explained, the hybrid buses were provided by three different manufacturers, one serial (SHB) and two parallel (PHB) configurations, and in relation to the full-electric vehicles (FEB), Sao Paulo provided a conventional in-use trolley bus; in Bogota and Santiago brand new full-electric buses were tested in the form of a single bus from a different manufacturer in each city. A representative diesel bus (RDB) was identified at each location.

en cuanto a reducción en todos los contaminantes criterio analizados. Los resultados para PM_{1.5} son de particular interés, mostrando una reducción casi constante de 70% en todas las ciudades⁽⁴⁾. Estas mejoras podrían tener un impacto importante en la calidad del aire a nivel local si las flotas de bajo carbono se convierten en dominantes, con significativos beneficios en salud de la población (la población total de las cuatro ciudades llega a alrededor de 50 millones de habitantes). Por lo tanto, la introducción de valoraciones económicas basadas en el análisis de impacto en salud junto con el supuesto que el recambio de flota favorecerá a las tecnologías híbridas, debieran considerarse como parte del marco evaluativo.

ii. Eficiencia Energética

El Programa midió tanto el consumo de combustible para buses diesel e híbridos diesel-eléctricos, así como para vehículos completamente eléctricos y trolley buses. El análisis incluye una comparación del consumo de combustible por bus (FC) y por pasajero (FC/pax), usando un bus diesel de referencia en cada ciudad. El consumo de energía eléctrica se convirtió a litros equivalentes de combustible.

Se midieron siete buses diesel de referencia, siete buses híbridos (uno en dos ciudades) y tres completamente eléctricos en las ciudades participantes del Programa. Los buses diesel de referencia se denominaron RDB; los buses híbridos PHB y SHB, tecnologías en paralelo y en serie respectivamente, los buses completamente eléctricos se denominaron FEB para los que se estimó un consumo equivalente de combustible, convirtiendo kWh y litros en kcal de energía (para evitar distorsiones por fluctuaciones locales de los precios de mercado de la energía⁽⁵⁾). Como ya se explicó, los buses híbridos fueron provistos por tres productores distintos, una configuración serial (SHB) y dos en paralelo (PHB), y respecto a los buses completamente eléctricos (FEB), Sao Paulo suministró un trolley bus convencional en funcionamiento, mientras en Bogotá y Santiago se probaron respectivamente buses eléctricos completamente nuevos de distintos proveedores. En cada ciudad se seleccionó un bus diesel representativo (RDB).

4. Values for Bogota are averages of results from two parallel hybrid brands.

4. Los valores para Bogotá corresponden al promedio de dos buses híbridos en paralelo de distintas marcas.

5. Note that these acronyms do not necessarily refer to the same vehicles among cities.

5. Cabe notar que las siglas no se refieren necesariamente a los mismos vehículos en cada ciudad.

Figure 2 Fuel and energy consumption results

 RDB Reference Diesel Bus

 SHB Serial Hybrid Bus

 PHB Parallel Hybrid Bus

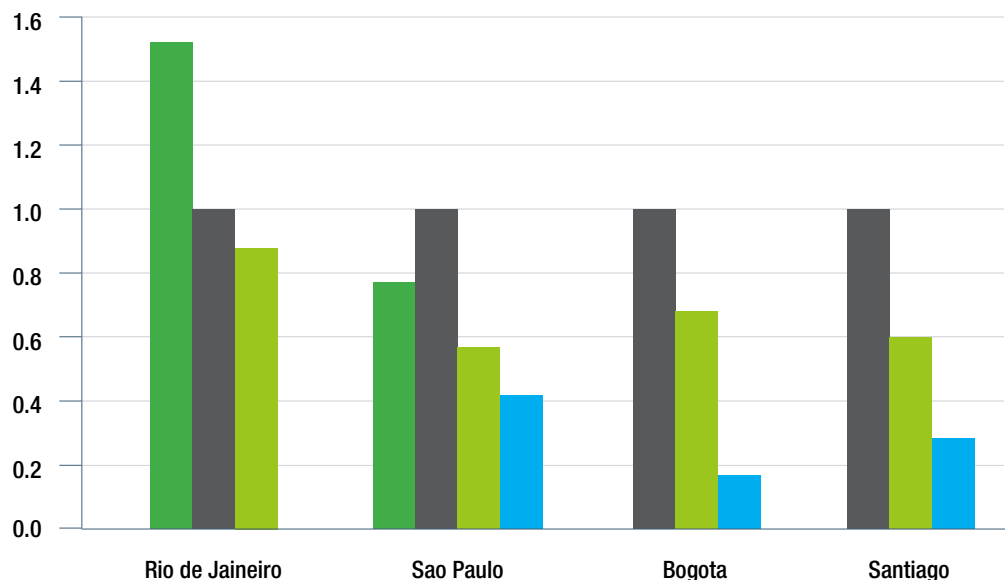
 FEB Full Electric Bus


Figura 2 Resultados de consumo de combustible y energía

Figure 2 shows that results vary by city, but in all cases energy efficiency from parallel-hybrid and full-electric buses was higher than the traditional diesel bus. Average fuel consumption was 31% less for the parallel-hybrid technologies compared to the diesel bus. This increases to 38% if the value for Rio de Janeiro is excluded.

Electric technologies showed differences between cities and vehicle types. An average 77% more efficient equivalent fuel consumption was achieved in the two cities testing electric buses (81% for Bogota; 73% for Santiago). Equivalent fuel consumption for the in-use trolley bus tested in Sao Paulo was 56% lower than the diesel bus.

Similar to the results for exhaust emissions, the fuel consumption results for the serial hybrid bus were poor compared to diesel in Rio de Janeiro (+51%) but improved and were better than diesel in Sao Paulo (-22%). This might have been due to a learning process triggered by the Program, which could be on-going and may produce even better results in the future. In fact, the bus manufacturer providing this technology learned and tuned buses to improve performance following the experience in Rio.

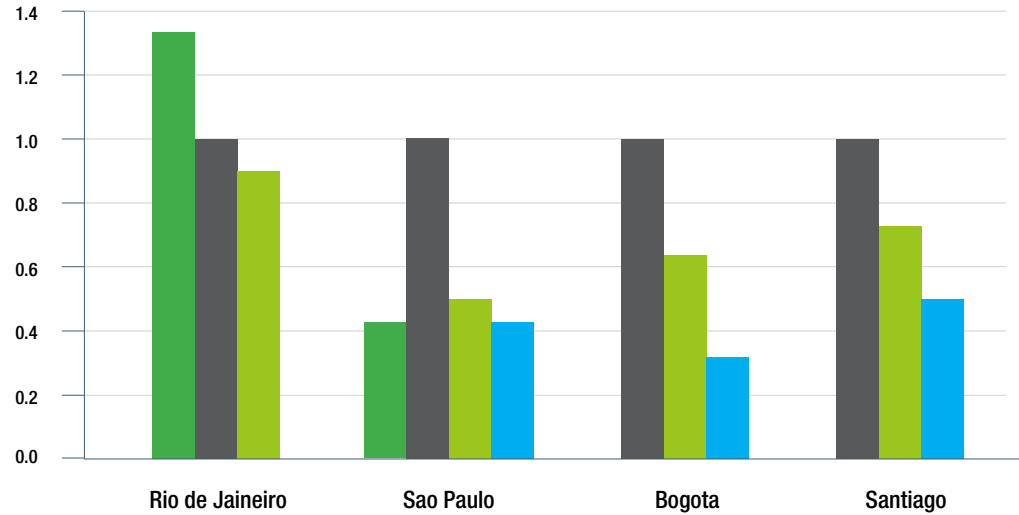
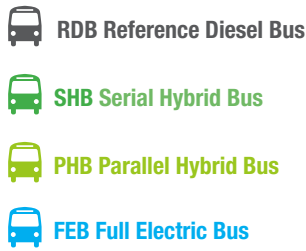
La Figura 2 muestra que los resultados varían por ciudad y en todos los casos la eficiencia energética de los buses híbridos en paralelo y los buses completamente eléctricos fueron más altos que la de los buses diesel tradicionales. El consumo promedio de combustible de las tecnologías híbridas en paralelo fue 31% más bajo que el bus diesel. Esto aumenta a 38% si se excluye el valor para Río de Janeiro

Las tecnologías eléctricas mostraron diferencias entre ciudades y por tipo de vehículo. Se obtuvo un promedio de 77% mayor eficiencia en consumo energético equivalente en las dos ciudades donde se midieron buses eléctricos completamente nuevos (81% en Bogotá; 73% en Santiago). El consumo equivalente de combustible para el trolley bus en uso medido en Sao Paulo fue 56% mas bajo que el bus diesel.

De manera similar a los resultados de emisiones, los resultados de consumo de combustible para los buses híbridos en serie fueron mas pobres que los de los buses diesel en Río de Janeiro (+51%) pero mejoraron y fueron mejores que los buses diesel en Sao Paulo (-22%). Esto puede haberse debido al proceso de aprendizaje activado por el Programa, el cual puede que se mantenga y produzca aún mejores resultados en el futuro. De hecho, los fabricantes de buses aprendieron a calibrarlos para mejorar eficiencia a partir de la experiencia de Río.

Figure 3 Fuel and energy consumption results per passenger.

Figura 3 Consumo de combustible y energía por pasajero



The values reported above change when calculated based on consumption per passenger due to the smaller passenger capacity of the type of electric buses tested compared to diesel-only vehicles. Diesel buses have a larger passenger capacity given their comparatively lighter weight. Hybrid buses that were utilized in the tests have a 10%-20% smaller capacity than diesel buses, and electric buses accommodate 40%-50% fewer passengers to comply with weight regulations, mainly due to the extra load of the battery packs. Figure 3 shows fuel and equivalent energy consumption per passenger.

The serial hybrid technologies maintain their benefits, with 29% average reduction compared with the diesel buses. Electric buses lose some of their advantage over the reference diesel bus, going from 77% average reduction to 61% taking account of load carrying capacity. Local operators were concerned about the smaller passenger capacity of the new and cleaner technologies, not only because of the reduced benefit in energy savings but also on operational logistical grounds. This is a problem that low carbon technology bus manufacturers are tackling.

Los valores reportados en el párrafo anterior cambiaron cuando se hizo el cálculo de consumo por pasajero debido a la menor capacidad de pasajeros de los buses eléctricos comparados con los buses diesel. Estos últimos pueden transportar mayor cantidad de pasajeros debido a que su peso es comparativamente menor. Los buses híbridos utilizados en las pruebas tienen una capacidad del 10% al 20% menor que los buses diesel, y los buses eléctricos acomodan 40% a 50% menos pasajeros para cumplir con las regulaciones de carga, esto debido principalmente al peso adicional generado por los enormes paquetes de baterías. La Figura 3 muestra el consumo equivalente de combustible y energía por pasajero.

Las tecnologías híbridas en serie mantuvieron sus beneficios, con una reducción promedio de 29% comparadas a los buses diesel. Los buses eléctricos perdieron parte de su ventaja respecto del bus diesel de referencia, bajando desde 77% reducción promedio a 61% si se toma en cuenta la capacidad de carga. Los operadores locales se mostraron preocupados por la menor capacidad de pasajeros de las nuevas tecnologías limpias, no solamente por la reducción de beneficios en ahorro energético, sino también por razones de logística operacional. Este es un problema que los fabricantes de tecnologías de bajo carbono están solucionando.

iii. Role of Drivers, Routes, Topography, and Altitude

The Bus Test Program included different operators, and a mix of drivers - inexperienced, experienced, trained, untrained. The results showed important differences in driving patterns. Different driving behaviours in Sao Paulo resulted in a +/-10% variation in overall average fuel consumption for the parallel hybrid bus. The driver's level of training and familiarity with and knowledge of new propulsion and regenerative braking systems may explain these differences. There are opportunities for designing driver training programs that could be implemented by cities adopting the new technologies.

Topography was a concern for participating city authorities because of uncertainties about hybrid bus performance in cities with steep inclines. The results show that hybrid and electric buses perform as well as diesel buses in hilly environments. Efficiency and emissions tests showed similar results between technologies.

Testing buses at higher altitudes, where oxygen is less available for combustion, was one of the Program's main goals. Most hybrid buses in use are operating at low altitudes, but the Program demonstrates to suppliers that simply tuning the engines through on-board computers help buses to perform better in mountainous areas like Bogota (at 2,600m above sea level).

b. Economic Analysis

Hybrid and electric buses involve higher initial costs compared to diesel alternatives if batteries are included in the overall cost. However, a 10-year life cycle analysis shows that they should be competitive in the long run, and that financial and regulatory systems will play an important part in their evaluation. Because hybrid and electric buses

iii. Rol de los Conductores, Recorridos, Topografía y Altitud

El Programa incluyó a diversos operadores y a una mezcla de conductores - sin experiencia, experimentados, capacitados y sin capacitación. Los resultados mostraron diferencias importantes en patrones de conducción. Las diferencias en conductas de conducción en Sao Paulo arrojaron una variación de +/-10% de consumo total promedio de combustible para buses híbridos en paralelo. El nivel de capacitación del conductor y su familiaridad y conocimiento sobre los nuevos sistemas de propulsión y sistemas de frenos regenerativos posiblemente explican las diferencias. Hay oportunidades para diseñar programas de entrenamiento de conductores que se podrían implementar en las ciudades que adopten las nuevas tecnologías.

La topografía era una preocupación para las autoridades de las ciudades debido a dudas sobre el desempeño de buses híbridos en ciudades con pendientes muy inclinadas. Los resultados mostraron que los buses híbridos y eléctricos se desempeñan tan bien como los buses diesel en localidades con pendientes empinadas. Las mediciones de eficiencia y de emisiones mostraron resultados similares entre ambas tecnologías.

Medir buses en condiciones de altura, donde hay menos disponibilidad de oxígeno para la combustión, era una de las principales razones del Programa. La mayoría de los buses híbridos en uso operan en localidades de baja altitud, el Programa demostró a los proveedores que simples ajustes a los motores usando los computadores a bordo ayudan a mejorar el desempeño de los buses en áreas montañosas como Bogotá (a 2,500m sobre el nivel del mar).

b. Análisis Económico

Los buses híbridos y eléctricos tienen costos iniciales más altos que los de las alternativas diesel si se incluyen las baterías en los costos totales. Sin embargo, un análisis de ciclo de vida de diez años muestra que deberían ser competitivos en el largo plazo y que tanto los sistemas financieros como los sistemas

incur lower fuel/energy costs, savings accrue over time so the need for fuel subsidies is reduced and is not counterbalanced by electricity taxes. The absence of an active secondary market for hybrid and electric buses reduces their attractiveness for some cities (although not in the case of Bogotá) and increases the risks involved in moving away from diesel. Allowing for much longer operating life-cycles for these kinds of buses compared to conventional buses could reverse this trend, and would involve minimal changes to regulations or contracts with operators.

This economic evaluation is supported also by IDB's own analysis, which shows that concessional financing for hybrid buses makes them competitive with diesel vehicles, achieving significant savings and competitive rates of return⁽⁶⁾.

i. Life-cycle Costing

Life-cycle costing considers initial costs, energy consumption, and maintenance costs over the life of the technology – in this case a 10-year period. It is a main output of the calculation of the pay-back period of the investment, or the time needed to recover the initial capital or equity investment. Life-cycle cost analysis was used to compare the three technologies: pure diesel, hybrid-electric, and pure electric.

The analysis was based on actual fuel and energy costs and reasonable estimates of the maintenance costs of hybrid and electric buses compared with conventional diesel systems. On energy inputs (electricity vs. diesel fuel) the figures are clear for each city. Maintenance costs are higher for hybrid than for conventional diesel buses, given that there is an additional component to be maintained. In the case of hybrid buses, if the maintenance cost is 20% higher than the maintenance cost for a diesel bus, as is the case of Bogotá, the total present cost is slightly higher than the diesel

regulatorios jugarán un papel importante en la evaluación pertinente. Debido a que los buses híbridos y los buses eléctricos incurren en menores costos de combustible/energía, los ahorros se acumulan en el tiempo. La necesidad de subsidios se reduce, aunque no se anula dados los impuestos a la electricidad. La ausencia de un mercado secundario activo para buses híbridos y eléctricos reduce su atractivo en algunas ciudades (aunque este no es el caso en Bogotá) y aumentan los riesgos asociados a alejarse del diesel. Si se permitieran ciclos de vida operativos más largos para este tipo de vehículos respecto a los buses convencionales, se podría revertir esta tendencia, y esto implicaría mínimos cambios a la regulación o a los contratos con los operadores.

Esta evaluación económica se sustenta también en el propio análisis del BID donde se muestra que el financiamiento preferencial para buses híbridos los hace económicamente atractivos frente a vehículos diesel, logrando ahorros significativos y tasas de retorno competitivas⁽⁶⁾.

i. Costo del ciclo de vida

El costo del ciclo de vida considera los costos iniciales, el consumo energético y los costos de mantenimiento para un periodo de diez años. Uno de los resultados importantes es el cálculo del periodo de retorno de la inversión, o el tiempo necesario para recuperar el capital o pago inicial. El análisis de costos durante el ciclo de vida se usó para comparar las tres tecnologías: solo diesel, híbrido-eléctrico y solo eléctrico.

El análisis se basó en los costos actuales del combustible y de la energía, acompañados de unas estimaciones razonables de los costos de mantenimiento para buses híbridos y eléctricos, todo comparado con los costos de sistemas diesel convencionales. En cuanto a insumos energéticos (electricidad vs combustible diesel) los resultados son claros para cada ciudad. Los costos de mantenimiento son más altos para buses híbridos que para buses diesel convencionales dado que los híbridos tienen un componente adicional al que debe hacersele mantenimiento. En el caso de los buses híbridos, si los costos de mantenimiento fueran 20% más altos que los de los

6. Clean Technology Funds could be administered by Bancoldex, the second tier Colombian bank responsible for fostering supporting international investment in the country. In Brazil the strategy relies in BNDES and its concessional rates for specific credit lines.

6. Clean Technology Funds podrían ser administrados por Bancoldex, el banco colombiano de "segundo piso" responsable de fomentar la ayuda a la inversión extranjera en el país. En Brasil la estrategia recae en BNDES y sus tasas preferenciales para líneas de crédito específicas.

value in 10 years, but for the other three cities, is slightly lower. If maintenance costs are below 20%, the total present cost favours hybrid buses in the long run. This is consistent with findings for other cities around the world.

Experience with electric buses worldwide is scarce, except for trolley buses, a proven technology with cheaper maintenance costs than diesel buses - without considering investment in catenaries and their maintenance. There are very few fleets of autonomous electric vehicles in operation, which are mostly found in China and Korea. Some operators claim that maintenance costs for electric buses are well below the costs of diesel buses, although they do not quote precise figures. An operator in Shenzhen, for example, claims that the cost of maintaining electric buses is 25% lower than that of diesel buses. There is evidence that the electric motors require less frequent lubricant changes (between 25,000 and 100,000 km), and brake parts life is longer since the motor slows down the bus while regenerating energy when acceleration is reduced.

In economic analysis terms, a 20% lower maintenance cost results in almost 15% lower life-cycle cost in 10 years for the electric bus. The economics improve in all cases as maintenance costs are reduced.

Economic analysis deals with uncertainty in life-cycle performance by considering various scenarios and assumptions (see Figures 4 to 7). In the case of Bogotá, the life-cycle costs for hybrid and electric buses could be lower than those of diesel buses. Life-cycle costs should reduce over time as a result of learning and because all sources forecast that, in the long run, the cost of lithium-based batteries will fall. Preferential financing could speed adoption of the technology and the scale and scope of learning.

buses diesel, como es el caso en Bogotá, el costo total presente neto sería levemente mayor que el de los buses diesel valorizado a diez años, pero para las otras tres ciudades sería levemente menor. Si los costos de mantenimiento fueran 20% menores el costo total presente favorecería a los buses híbridos en el largo plazo. Estos resultados son consistentes con los de otras ciudades en el mundo.

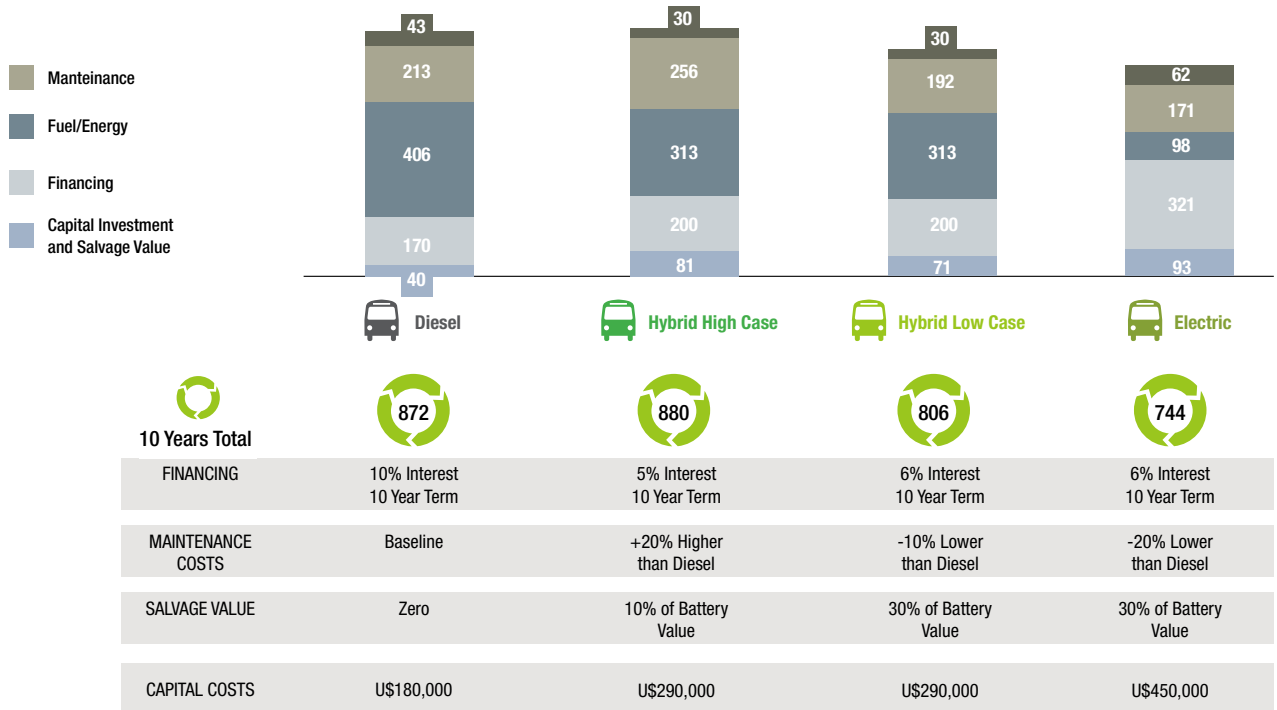
La experiencia internacional con buses eléctricos es escasa, excepto para trolley buses, que es una tecnología probada cuyos costos de mantenimiento son más bajos que los de los buses diesel - sin considerar la inversión en catenarias ni el correspondiente mantenimiento. Hay muy pocas flotas de vehículos eléctricos autónomos en operación, las que existen están mayoritariamente en ciudades chinas y coreanas. Algunos operadores argumentan que los costos de mantenimiento son bastante menores que los de los buses diesel, si bien no proveen de cifras exactas. Un operador de Shenzhen, por ejemplo, afirma que el costo de mantenimiento de buses eléctricos es 25% más bajo que el de los buses diesel. Hay evidencia de que los motores eléctricos requieren cambios de lubricantes menos frecuentes (entre 25,000 y 100,000 km), y de que la vida de los frenos es más larga porque el motor ayuda a parar al bus mientras regenera energía cuando se reduce la aceleración.

En términos de análisis económico, un 20% menos de costos de mantenimiento resultaría en casi 15% menor costo del ciclo de vida en diez años para buses eléctricos. Los cálculos mejoran en todos los casos a medida que se reducen los costos de mantenimiento.

El análisis económico considera las incertidumbres en el desempeño dentro del ciclo de vida evaluando varios escenarios y supuestos (ver Figuras 4 a 7). En el caso de Bogotá, los costos del ciclo de vida de los buses híbridos y eléctricos pueden ser menores que los de los buses diesel. Los costos en el ciclo de vida debieran reducirse con el tiempo como consecuencia de procesos de aprendizaje y porque todas las fuentes pronostican, para el largo plazo, el descenso de los costos de las baterías de litio. El financiamiento preferencial podría acelerar la adopción de la tecnología, la escala y alcance del aprendizaje.

Figure 4 Lifecycle costs for Bogota ('000 USD, 10-Year Net Present Value)

Figura 4 Costos del ciclo de vida para Bogotá

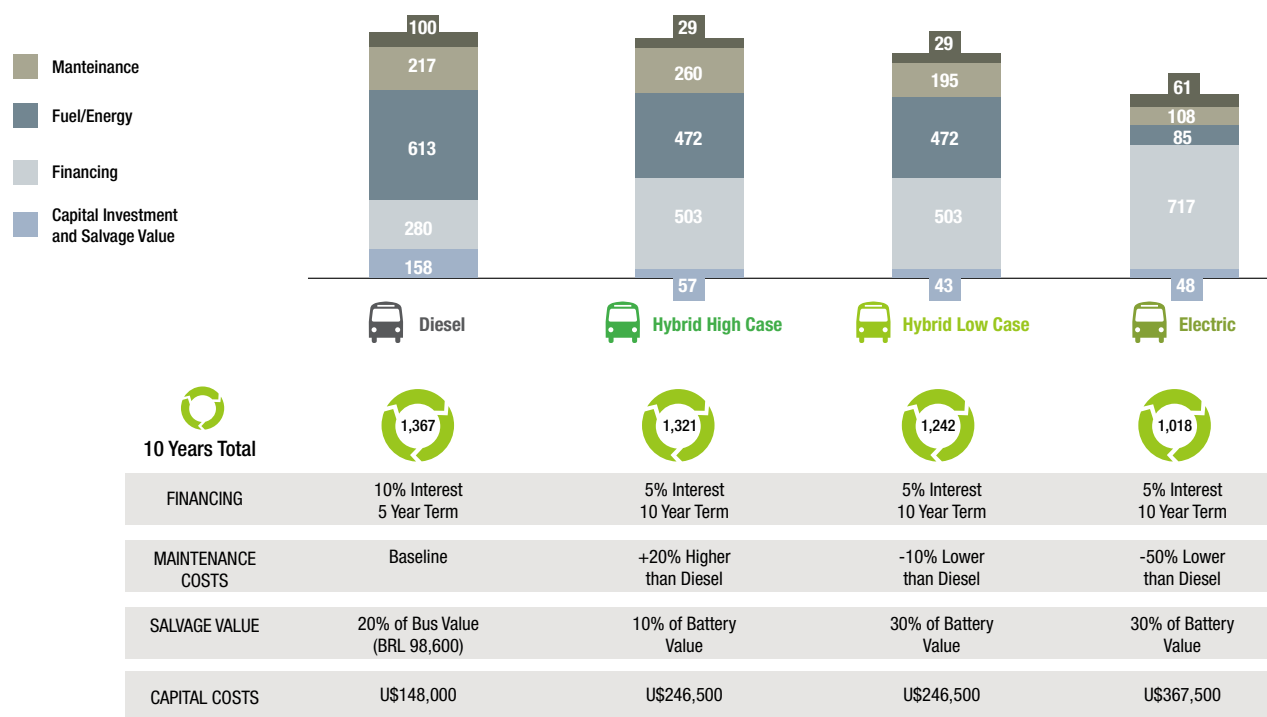


In the case of Sao Paulo, the life-cycle costs of hybrid and electric buses are lower than the costs for conventional diesel buses due to preferential financing options. It is assumed that electric buses will achieve approximately 30% lower life-cycle costs than diesel. Thus, even with 20% higher maintenance costs, hybrids are a more attractive option.

En el caso de Sao Paulo, los costos del ciclo de vida de los buses híbridos y eléctricos son menores que los costos de buses diesel convencionales debido a opciones de financiamiento preferencial. Se asume que los buses eléctricos lograrán costos de ciclo de vida menores en aproximadamente 30% con respecto a buses diesel. Esto significa que, incluso con costos de mantenimiento 20% más altos, los híbridos son una opción más atractiva.

Figure 5 Lifecycle costs for Sao Paulo ('000 BRL, 10-Year Net Present Value)

Figura 5 Costos del ciclo de vida para Sao Paulo

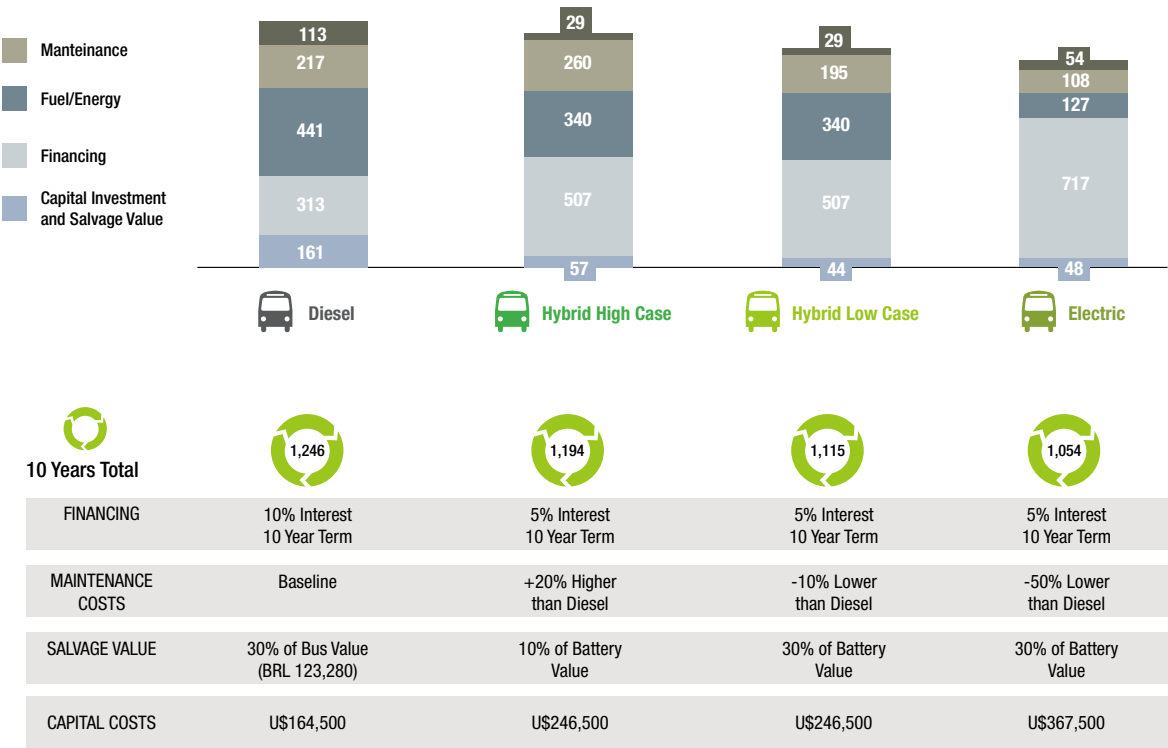


In the case of Rio de Janeiro, if electric buses achieve energy savings and lower maintenance costs - around 20% - compared to diesel, and assuming part local production and preferential rates for imported components, then electric buses would achieve significant savings in life-cycle costs compared to diesel.

En el caso de Rio de Janeiro, si los buses eléctricos logran ahorros energéticos y menores costos de mantenimiento - alrededor del 20% - comparados con los buses diesel, y asumiendo que una parte de la producción es local y hay arancel preferencial para los componentes importados, entonces los buses eléctricos podrían alcanzar ahorros significativos en sus costos de ciclo de vida comparados con los buses diesel.

Figure 6 Lifecycle costs for Rio de Janeiro (‘000 USD, 10-Year Net Present Value)

Figura 6 Costos del ciclo de vida para Rio de Janeiro



In all cases, the analysis includes a battery salvage value, lower for lithium-based storage systems than for those based on a matrix of iron phosphate. The disparity stems from the different lifespan of each type of battery related to secondary use that would generate value in the market.

To summarize, over a 10-year life-cycle, investing in hybrid and electric buses could be advantageous compared to investment in diesel vehicles. In addition, a business model in which the batteries and the motor were priced as separate components of the vehicle, and paid for through leasing contracts, would equate the costs of new tech buses with a conventional bus. This would increase the attractiveness of hybrid or electric buses compared to traditional diesel vehicles.

ii. Financing and Investment Scenarios

The Program found that economic and regulatory barriers are limiting the adoption of hybrid and electric buses across Latin America. The primary barrier to adoption of low carbon emissions technologies is the significantly higher upfront purchase cost compared to conventional diesel buses if the vehicles are bought as a single component, at a single cost. Hybrid buses can cost up to 50-60% more than equivalent diesel buses. Electric buses cost 125-150% more than equivalent diesel vehicles, and import and other taxes can further increase the price premiums for hybrid and electric buses.

Another barrier to the adoption of these technologies is scepticism from operators, who are not yet convinced about the savings from improved fuel efficiency and lower maintenance costs. Operators perceive the change to new technologies to be risky. Operators who have the opportunity to see low carbon technologies in use around the world and talk to their counterparts in these cities are more enthusiastic. In most cases, the support of government is required to make investment in these new technologies attractive. One option under consideration is implementing a package of financial incentives, which the IDB is prepared to assist with.

En todos los casos, el análisis incluyó un valor de rescate para las baterías, más bajo para los sistemas de acumulación basados en litio que para los basados en una matriz de fosfato de hierro. La disparidad se debe a las diferencias en vida útil de cada tipo de batería en relación con los usos secundarios que pueden tener valor de mercado.

Resumiendo, en un ciclo de vida de diez años, invertir en buses híbridos y eléctricos puede ser más ventajoso que invertir en vehículos diesel. Además, un modelo de negocios en el cual las baterías y el motor se costean como componentes independientes del vehículo y se pagan a través de contratos leasing, podría equiparar los costos de las nuevas tecnologías de buses con los costos de los convencionales. Esto aumentaría el atractivo de los buses híbridos y eléctricos en comparación a los buses diesel tradicionales.

ii. Escenarios de Financiamiento e Inversión

El Programa identificó barreras económicas y regulatorias que limitan la adopción de buses híbridos y eléctricos en América latina. La barrera más importante para adoptar tecnologías de bajo carbono es el significativamente mayor costo directo de buses híbridos y eléctricos comparado con el valor de los buses diesel convencionales si los vehículos se compran como un solo componente, a un único precio. Los buses híbridos pueden costar 50%-60% más que un bus diesel equivalente. Los buses eléctricos cuestan 125%-150% más que un vehículo diesel equivalente y los aranceles junto con otros impuestos pueden aumentar aún más los precios de buses híbridos y eléctricos.

Otra barrera para la adopción de estas tecnologías es el escepticismo de los operadores, quienes aún no están convencidos de los ahorros que se pueden obtener por mayor eficiencia energética y menores costos de mantenimiento. Los operadores consideran riesgoso el cambio tecnológico. Los operadores que han tenido la oportunidad de ver estas nuevas tecnologías funcionando alrededor del mundo y han podido hablar con los operadores en esas ciudades son más entusiastas. En la mayoría de los casos se requiere del apoyo del gobierno para hacer que la inversión en estas nuevas tecnologías sea atractiva. Una opción a considerar es implementar un paquete de incentivos financieros, con el cual el BID estaría preparado a colaborar.



There are also specific national barriers. In Brazil high import taxes (35%+) protect local production and since the batteries are nearly always manufactured internationally and constitute some 50% of the value of an electric bus, manufacturers cannot meet the necessary local content requirements in bus production or assembly to avoid the costs of these taxes. Local policies provide generous financing for diesel buses through BNDES, which would have a major negative impact on economic evaluations if operators try to move to other energy sources. The requirement of an average age of five years for bus fleets makes it difficult for hybrids or electrics to even achieve break-even cost-benefit analysis.

In all countries, certification is a barrier, mainly because these hybrid and electric buses weigh more than current regulation allows. Local hybrid manufacturers have made adjustments to their design in order to comply with Brazilian specifications. Current electric models require adjustments to meet the criteria in current regulation in Brazil and Colombia. These adjustments cannot be made to the carrying capacity of the buses since this would have a major effect on the number of buses required to meet passenger demand. Therefore, the weight challenge needs to be faced jointly by cities and suppliers in the near future.

TransMilenio, Bogotá's BRT authority, requires additional data/testing to evaluate the economics of contracts for transport concessions. Hybrid and electric buses must significantly outperform the average diesel bus before operators will consider a major switch to new technologies. In Bogotá, hybrids are likely to be cost-competitive with diesel buses over time; financing would speed up the transition and the Clean Technology Fund set forth by the IDB for Colombia can play an important role in providing concessional finance for low carbon technologies.

In Bogotá nearly 30% of the bus fleet will be renewed by 2015-2016 under the new integrated public transport plan (SITP), including old TransMilenio contracts. By 2025, Bogotá's urban bus fleet will include around 12,000 new buses. Today,

Hay también barreras específicas en cada país. En Brasil hay aranceles muy altos (35%+) destinados a proteger la producción local y, como las baterías son casi siempre producidas internacionalmente y constituyen alrededor del 50% del valor de los buses eléctricos, los fabricantes no pueden lograr los requerimientos de producción local de buses o de ensamblaje para evitar los costos de estos impuestos. Las políticas locales proveen de un financiamiento generoso para los buses diesel a través de BNDES, lo que tendría un fuerte impacto negativo en las evaluaciones económicas si los operadores trataran de cambiarse a otras fuentes de energía. El requisito de un promedio de vida de cinco años para las flotas de buses hace difícil que los buses híbridos o eléctricos logren al menos equiparar costos con beneficios.

La certificación es una barrera en todos los países, principalmente porque las nuevas tecnologías de buses pesan más que lo permitido por la regulación. Los productores locales de buses híbridos han hecho ajustes a sus diseños de manera de cumplir con las especificaciones brasileñas. Los modelos eléctricos vigentes requieren ajustes para alcanzar los criterios en la actual legislación en Brasil y en Colombia. Estos ajustes no pueden cambiar la capacidad de carga de los buses porque esto tendría un gran efecto en el número de buses requeridos para satisfacer la demanda de pasajeros. Por lo tanto, el desafío del peso necesita ser enfrentado por las ciudades y los proveedores en el futuro cercano.

TransMilenio, la autoridad del BRT de Bogotá, requiere información y muestreo adicional para la evaluación económica de contratos de concesiones de transporte. Los buses híbridos y eléctricos tendrían que superar ampliamente el promedio de desempeño de los buses diesel para que los operadores consideraran un cambio importante a las nuevas tecnologías. En Bogotá, los híbridos podrían ser competitivos en costo con los buses diesel en el mediano plazo; el financiamiento podría acelerar la transición y el Fondo de Tecnología Limpia (Clean Technology Fund), dispuesto por BID para Colombia, puede jugar un rol importante al proveer financiamiento con tasas concesionales para las tecnologías de bajo carbono.

En Bogotá alrededor de un 30% de las flotas de buses serán renovadas para 2015-2016 bajo el nuevo plan del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) incluidos los antiguos contratos del TransMilenio. Para el 2025, las flotas urbanas de Bogotá incluirán

electric and hybrid buses tested are likely to be suitable for the BRT feeder lines and for SITP urban routes provided there is a solution for the additional weight of the vehicles. In the future, electric and hybrid buses may also be a good option for the BRT trunk lines when articulated or bi-articulated models become available. In this context, IDB is moving forward with a technical cooperation with the Global Environmental Facility (GEF) to support the development and testing of an electric articulated vehicle model.

Strict environmental and fuel performance standards to increase energy efficiency and reduce polluting emissions, coupled with financing incentives, could significantly increase uptake in Bogota. In Rio de Janeiro and Sao Paulo, policy and favourable financing could increase uptake and conversion to hybrid and electric buses. Sao Paulo's regulation banning the use of diesel fuel by 2020 should force adoption of low carbon technologies. Possible local production of electric buses could also accelerate adoption in Brazil.

A broad approach, addressing technology, market and regulatory risks is needed to overcome resistance to change. Potential solutions for dealing with the technological risks should involve providing information on technological performance and encouraging manufacturers to provide performance guarantees (e.g. maintenance contracts). Market and financing risks could be reduced through provision of preferential financing, concessional financing and public financing, and tight administration to ensure operators recover their investments in new bus technologies. City leaders should set and communicate a clear long-term vision favouring cleaner technologies, and establish a regulatory framework to support this vision. Increasing the market for hybrid and electric buses could help operators and manufacturers offset the initial barriers (e.g. higher initial investment, absence of a secondary market), and this could be achieved by consolidating the demand from several cities.

alrededor de 12,000 buses nuevos. Actualmente, el tipo de buses híbridos y eléctricos probados probablemente son apropiados para las líneas abastecedoras del BRT siempre que se solucione el problema del peso adicional de los vehículos. En el futuro, los buses eléctricos e híbridos podrían ser una buena opción para las líneas troncales de BRT cuando aparezcan modelos articulados o bi-articulados. En este contexto, el BID sigue adelante con la cooperación técnica con el Global Environmental Facility (GEF) destinada a apoyar el desarrollo y muestreo de un modelo de bus eléctrico articulado.

Los estrictos estándares ambientales y de desempeño de los combustibles para mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones contaminantes, acopladas con los incentivos financieros, podrían acelerar significativamente el cambio tecnológico en Bogotá. En Rio de Janeiro y Sao Paulo, la política pública y el financiamiento favorable podrían aumentar el reemplazo y la conversión a buses híbridos y eléctricos. La regulación de Sao Paulo, que prohíbe el uso de combustible diesel a partir de 2020 debiera forzar la adopción de tecnologías de bajo carbono. La posibilidad de producir buses eléctricos localmente podría acelerar la adopción en Brasil.

Se necesita un enfoque amplio que considere la tecnología, el mercado y los riesgos regulatorios para superar la resistencia al cambio. Las soluciones potenciales para lidiar con los riesgos tecnológicos debieran incluir la entrega de información sobre desempeño tecnológico e incentivar a los productores a proveer garantías de desempeño (por ejemplo, contratos de mantenimiento). Los riesgos de mercado y financieros se podrían reducir con la provisión de financiamiento preferencial, financiamiento concesional y financiamiento público, junto con una administración cuidadosa para asegurar que los operadores recobren sus inversiones en nuevas tecnologías de buses. Los líderes de las ciudades debieran establecer y comunicar claras visiones de largo plazo en favor de las tecnologías limpias, y establecer un marco regulatorio que soporte dichas visiones. El crecimiento del mercado de buses híbridos y eléctricos podría contribuir a que operadores y fabricantes superen las barreras iniciales (por ejemplo, costos de inversión inicial más altos, ausencia de un mercado secundario), y esto podría lograrse consolidando la demanda vehicular de varias ciudades.

Another possible mechanism to foster uptake of low carbon technologies is to utilize individual financing for the separate components of the vehicle structure, batteries, and main electric parts. In this scenario, the costs of the vehicle structure would be the same as those of a conventional diesel bus and the supplier would bear the technological risks though a leasing model.

In Bogota the process of adoption of electric buses could be accelerated by new rules for certification of the technology and definition of the conditions of use (i.e. roads, routes). Bogota's city government could push for strict fuel efficiency standards for new concessions (and renewals) which would force the transition to hybrid and electric fleets. Based on health benefits, the city could also offer higher payments to operators that adopt hybrid and electric technologies within the contracted remuneration formulas.

Rio de Janeiro and Sao Paulo could encourage the adoption of low carbon technologies by imposing fuel efficiency standards for new concessions. In Sao Paulo this could apply to four new inter-municipal BRTs and five new BRTs for the city. Preferential loans could be made available for hybrid and electric buses at lower rates of interest than loans for diesel buses. Rio de Janeiro is implementing three new BRTs for the city. Rio could also take advantage of the opportunity presented by the 2016 Olympics and the accompanying resolutions, to establish a new low carbon transport fleet. The Football World Cup in 2014 is another great opportunity for Brazilian cities to move ahead in low carbon techs.

c. Global Perspective

The C40 Climate Leadership Group is a network of the world's megacities taking action to reduce greenhouse gas emissions (GHG). With a unique set of assets, the C40 works with participating cities to address climate risks and impacts locally and globally. This includes reducing traffic congestion, pollution, and fossil fuel consumption.

Otro mecanismo posible para fomentar el uso de tecnologías de bajo carbono es financiar por separado los componentes de la estructura del vehículo, las baterías y las principales partes eléctricas. En este escenario, el costo de la estructura del vehículo sería el mismo que el de un bus diesel convencional y el proveedor tendría que asumir los riesgos tecnológicos a través de un modelo leasing.

En Bogotá el proceso de adopción de buses eléctricos se podría acelerar con nuevas reglas de certificación de la tecnología y definición de condiciones de uso (por ejemplo vías y rutas). El gobierno de la ciudad de Bogotá podría presionar por estrictos estándares de eficiencia energética para las nuevas concesiones (y renovaciones) lo que forzaría la transición a flotas híbridas y eléctricas. Basándose en beneficios para la salud, la ciudad podría ofrecer pagos más altos a los operadores que adopten tecnologías híbridas y eléctricas dentro de las fórmulas de remuneración contratadas.

Río de Janeiro y Sao Paulo podrían fomentar la adopción de tecnologías de bajo carbono imponiendo estándares de eficiencia energética para las nuevas concesiones. En Sao Paulo esto se podría aplicar a cuatro nuevos BRTs inter-municipales y cinco nuevos BRTs de la ciudad. Crédito preferencial podría ponerse a disposición para buses híbridos y eléctricos con tasas de interés más bajas que las de los créditos para buses diesel. Río de Janeiro está implementando tres nuevos BRTs para la ciudad. Río podría aprovechar la oportunidad que presentan los Olímpicos del 2016 y, mediante las decisiones del caso, puede establecer una nueva flota de transporte de bajo carbono. La Copa Mundial de Fútbol en el 2014 es otra gran oportunidad para que las ciudades brasileñas avancen en tecnologías de bajo carbono.

c. Perspectiva Global

El C40 Climate Leadership es un grupo de megaciudades del mundo comprometidas con la acción para reducir emisiones de gases con efecto invernadero (GEI). Con sus capacidades únicas el C40 trabaja con las ciudades participantes para enfrentar riesgos climáticos e impactos a nivel local y global. Esto incluye reducir congestión de tráfico, contaminación y consumo de combustibles fósiles.

The C40 cities of Chicago, Curitiba, London, Mexico, New York, San Francisco, Seattle, Shanghai, Tokyo, and Toronto, have pioneered the use of hybrid buses and are helping manufacturers to understand what cities need, and how to improve their technologies. The first hybrid buses operating in C40 cities - although much cleaner than standard diesel buses - were not economically viable based on a simple economic evaluation. However, C40 cities have invested resources and time in helping manufacturers to achieve economies of scale and to develop the market for hybrid and electric buses. As a result, the technologies have matured and are gaining momentum across the world.

In November 2012, key participants in the C40-CCI Hybrid & Electrical Bus Test Program in Latin America, including city government officials and 12 local bus operators, joined in a unique fact-finding trip covering a number of C40 cities around the world, to investigate best practice in transport policy, and study the performance and economics of different bus technologies, including hybrid, electric, and biofuel powered buses.

Amid growing confidence in new technologies, the group met operators, transit authorities, and bus suppliers in Gothenburg, London, Mexico City, Shanghai, Shenzhen, and Stockholm. Visits showed that technology of battery-powered buses could be implemented immediately. Market growth, innovative business models, and public incentives should counteract the higher price of this low carbon option, which will produce savings in health care costs due to reduced pollution and CO₂ emissions.

Authorities in Bogota, Curitiba, Rio de Janeiro, and Sao Paulo, are keen to adopt low carbon technologies. IDB and C40-CCI are working closely with city officials in each municipality to enable these Latin American cities to realize the many benefits of low carbon sustainable transport. Other cities will be watching how those pioneer metropolises overcome barriers and create appropriate policy and financial frameworks to accelerate the shift.

Las ciudades C40 tales como Chicago, Curitiba, Londres, México, Nueva York, San Francisco, Seattle, Shanghai, Tokio y Toronto, han sido pioneras en el uso de buses híbridos y están colaborando con los fabricantes para que estos entiendan sus necesidades y para mejorar las tecnologías. Los primeros híbridos que operaron en ciudades del C40, si bien eran mucho más limpios que los buses diesel estándar, no eran económicamente viables bajo una evaluación económica simple. Sin embargo, las ciudades del C40 han invertido recursos y tiempo en ayudar a los fabricantes a alcanzar economías de escala y desarrollar el mercado de buses híbridos y eléctricos. Esto ha dado como resultado que las tecnologías hayan madurado y estén ganando momento alrededor del mundo.

En noviembre de 2012, participantes clave del Programa C40-CCI de Pruebas de Buses Híbridos y Eléctricos en América Latina, incluidos funcionarios de los gobiernos de las ciudades y 12 operadores locales de buses, realizaron un exclusivo viaje de recopilación de evidencia que cubrió un número de ciudades C40 alrededor del mundo, donde se investigaron las mejores prácticas en política de transporte, se estudió el desempeño y se analizaron los aspectos económicos de diferentes tecnologías de buses, incluyendo híbridos, eléctricos y algunos alimentados con biocombustibles.

Mientras ganaban confianza en las nuevas tecnologías, el grupo se reunió con operadores, autoridades de tránsito y proveedores de buses en Gotemburgo, Londres, ciudad de México, Shanghai, Shenzhen y Estocolmo. Las visitas mostraron que los buses cargados con baterías son una tecnología que se podría implementar de manera inmediata. El crecimiento de mercado, los modelos de negocios innovadores y los incentivos públicos debieran contrarrestar los altos precios de esta opción de bajo carbono, que produce ahorros en salud debido a la reducción de contaminantes y de emisiones de CO₂.

Las autoridades de las ciudades de Bogotá, Curitiba, Rio de Janeiro y Sao Paulo están dispuestas a adoptar tecnologías de bajo carbono. El BID y C40-CCI están trabajando con los oficiales de cada municipalidad para facilitar el que estas ciudades de América Latina logren alcanzar los beneficios de un transporte sustentable de bajo carbono. Otras ciudades estarán mirando como estas metrópolis pioneras superan las barreras, crean políticas apropiadas y marcos financieros para acelerar el cambio.

Part III Key Outcomes, Findings, and Recommendations

Parte III: Resultados Clave, Hallazgos y Recomendaciones

a. Setting a Benchmark for Technology Companies

Electricity-powered transportation is rapidly becoming a viable solution for significant pollution abatement and GHG emissions reductions. The results of the Program allow high confidence in the fact that new 12 metre buses (85 passenger capacity) powered by fossil fuels perform better than the following average emissions factors in grams/kilometre, i.e. produce fewer emissions than: 1000 for CO₂; 0.1 for total hydrocarbons; 3.0 for CO; 7.0 for NO_x, and 0.1 for PM_{1.5}. 100% electric buses should not produce on-road emissions.

The Program confidently suggests a benchmark for fuel consumption of a maximum of 10 gallons (37.8 litres) per 100 km in the case of buses still using diesel fuel, and in the case of electric buses, energy consumption of less than 1.2 kWh per km or 4.1 gallons (15.3 litres) of diesel fuel equivalent per 100 km. The next recommended step for the cities is to adopt these figures as minimum energy performance standards for all new buses entering conventional transport fleets.

b. Employing New Tools for City-level Decision-making

Public decision-making in Latin America is often driven by the goal of identifying solutions to poverty, public transportation, and public health. However there are two additional challenges that are increasingly impacting decision-making:

- i) The majority of those people who rely on public transportation are the same population who experiences the greatest health consequences from pollution; and
- ii) Low-income populations are often the most exposed to the effects of climate change, another problem that must be tackled in the immediate future.

a. Puntos de Referencia para las Empresas Tecnológicas

El transporte eléctrico se está convirtiendo rápidamente en una solución viable por su efecto significativo en la reducción de la contaminación y de los GEI. Los resultados del Programa permiten afirmar con confianza que los factores de emisión de nuevos buses de 12 metros (con capacidad para 85 pasajeros) impulsados por combustibles fósiles deben ser mejores en promedio que los siguientes puntos de referencia, medidos en gramos/kilómetros, es decir, deben generar emisiones menores a: 1000 de CO₂; 0.1 de hidrocarburos totales; 3.0 de CO; 7.0 de NO_x, y 0.1 de PM_{1.5}. Los buses 100% eléctricos no deben producir emisiones en ruta.

El Programa sugiere con certeza una meta de consumo de combustible de un máximo de 10 galones (37.8 litros) cada 100 km para buses que aún utilizan combustible diesel. Para el caso de buses eléctricos, un consumo energético de menos de 1.2 kWh por km ó 4.1 galones (15.3 litros) de combustible diesel equivalente por cada 100 km. El siguiente paso recomendado para las ciudades será adoptar estas cifras como estándares de mínimo desempeño energético para todos los buses que entren a las flotas de transporte convencional.

b. Usar Nuevas Herramientas para la Toma de Decisiones a Nivel de las Ciudades

Las decisiones de política pública en América Latina frecuentemente son guiadas por la meta de identificar soluciones para la pobreza, el transporte público y la salud pública. Sin embargo, hay otros dos desafíos que están impactando la toma de decisiones de manera creciente.

- i) La mayoría de aquellos que usan el transporte público son los mismos que experimentan las más graves consecuencias de salud debido a la contaminación del aire; y*
- ii) La población de menores ingresos es frecuentemente la más expuesta a los efectos del cambio climático, otro problema que debe ser abordado en el futuro próximo.*

It is precisely in this context that low carbon technology should be seen as an important opportunity. As cleaner transportation technologies reduce the carbon impact from public transportation, they thereby reduce some of the expenditure on health. Consequently, if the impacts on health and the associated costs of care are taken into account, the discussion on clean technologies becomes more compelling. These benefits have already been proven by several studies, including this Program⁽⁷⁾.

To incorporate all of these complexities into their decision-making, cities are working with new tools to support the combined evaluation of environmental and health solutions. It is no longer viable to employ old technologies for bus transport, or to continue to extend urban highways for private cars, and then increase the capacity of healthcare systems to cope with avoidable diseases associated with those transport technologies. For this reason several C40 cities are developing policies and plans to tackle the problem of pollution in

Es precisamente en este contexto que las tecnologías de bajo carbono debieran verse como una oportunidad importante. Las tecnologías más limpias reducen el impacto del carbono en el transporte público y, por lo tanto, el gasto en salud. Consecuentemente, si se toman en cuenta los impactos en salud y los costos asociados, la discusión sobre las tecnologías limpias resulta más relevante. Estos beneficios han sido probados por varios estudios, incluyendo el presente Programa⁽⁷⁾.

A fin de incorporar todas estas complejidades en la toma de decisiones, las ciudades están trabajando con nuevas herramientas que permiten integrar a las evaluaciones las soluciones ambientales y de salud. Se está reconociendo que no es posible seguir usando antiguas tecnologías de buses o continuar ampliando las vías para automóviles privados y aumentar al tiempo la capacidad de los sistemas de salud para atender enfermedades que se podrían evitar, asociadas a estas tecnologías de transporte. Por esta razón varias ciudades C40 están desarrollando políticas y planes para abordar el problema

7. See, e.g. the review of international research in Alcaldía Mayor de Bogotá - Secretaría Distrital de Ambiente, 2010. Plan Decenal de Descontaminación.

7. Ver, por ejemplo, el reporte sobre investigación a nivel internacional de la Alcaldía Mayor de Bogotá - Secretaría Distrital de Ambiente, 2010. Plan Decenal de Descontaminación.



an integrated way, including working to make their transportation systems cleaner and more efficient.

The IDB and C40 are helping cities to integrate criteria for decision-making in order to facilitate a move to an Avoid-Shift-Improve approach. This approach recognizes that reducing/avoiding motorized travel requires better integration of land use and transport planning policies coupled with Travel Demand Management (TDM) measures. Where travel is unavoidable, it will be important to enable a shift from private vehicles to public transport and non-motorized transport modes.

Finally, the efficiency of transport must improve via stricter energy/fuel standards and the introduction of new technologies. It is in this area that the results of the Program should enable cities to plan transport systems centred around BRTs – the new paradigm for transportation which will reduce the numbers of buses required and increase capacity in relation to passenger numbers and trips, reduce fuel consumption, and reduce or eliminate tail pipe and GHG emissions. The result will be major reductions in health costs and climate change risks.

The Program has shown the potential value of employing electric and hybrid powered buses in cities in Latin America. The evidence provided by the Program can be used with confidence to support decision-making, demonstrate true costs of deployment, and promote efforts to make these new technologies affordable for operators and transit authorities. Although it may be necessary to offer incentives to operators in order for these technologies to be cost effective in the short term, the IDB and the C40 are confident that increased demand will reduce costs and therefore, the need for subsidies from the public sector.

de polución en una forma integrada, lo que incluye trabajar para hacer los sistemas de transporte más eficientes y limpios.

El BID y el C40 están apoyando a las ciudades a integrar sus criterios de decisión a fin de facilitar un giro hacia un enfoque Evitar - Cambiar - Mejorar. Este enfoque reconoce que para reducir y evitar viajes, se requiere una mejor integración de planificación de políticas de uso territorial y de transporte, apareadas con medidas de gestión de la demanda de viajes (TDM - Travel Demand Management por la sigla en inglés). Cuando los viajes son inevitables, será importante facilitar el cambio desde vehículos privados a transporte público y modos de transporte no motorizado.

Finalmente, se debe mejorar la eficiencia del transporte mediante la implantación de estrictos estándares de consumo energético y de combustible y con la incorporación de nuevas tecnologías. Es en esta área que los resultados del Programa debieran permitir a las ciudades planificar sistemas de transporte centrados en BRTs - el nuevo paradigma del transporte que reducirá el número de buses requerido, aumentará la capacidad en relación a número de pasajeros por viaje, reducirá el consumo de combustible y reducirá o eliminará las emisiones de tubo de escape incluidas las de GEI. Este resultado resultará en importantes reducciones en los costos de salud y de riesgos derivados del cambio climático.

El Programa ha mostrado el valor potencial de usar buses eléctricos e híbridos en las ciudades latinoamericanas. La evidencia provista por el Programa puede usarse con confianza para respaldar la toma de decisiones, demostrar costos reales y promover acciones que hagan que las nuevas tecnologías sean alcanzables para operadores y autoridades de tránsito. Si bien, puede ser necesario ofrecer incentivos a los operadores para que estas tecnologías sean costo efectivas en el corto plazo, el BID y el C40 confían en que el aumento de la demanda reducirá los costos y, por lo tanto, la necesidad de subsidios desde el sector público.

c. Key Findings and Recommendations

The Program has demonstrated the significant effects of hybrid and electric buses as compared to conventional diesel vehicles:

- i) Emissions fade-out of criteria pollutants including PM1.5, which shows reductions of 75% on average;
- ii) Reductions in CO₂ emissions of 26% on average;
- iii) More efficient fuel consumption based on reductions of between 31% and 40% depending on the city's altitude in the case of hybrid-electric buses, and up to 77% in the case of full electric battery powered buses (equivalent fuel consumption).

Table 1 shows 10 years estimated reductions in CO₂ and PM1.5, and fuel savings as fleets migrate progressively towards hybrid and electric buses in some C40 Latin American cities.

c. Hallazgos Clave y Recomendaciones

El Programa ha demostrado efectos significativos de los buses híbridos y eléctricos respecto de los buses diesel convencionales en cuanto a:

- i) Disminución de emisiones de contaminantes criterio, incluyendo PM1.5, con reducciones en promedio del 75%;
- ii) Reducción de emisiones de CO₂ en promedio del 26%;
- iii) Mayor eficiencia en el gasto de combustible basado en una disminución de consumo entre 31% y 40%, dependiendo de la altitud de la ciudad en el caso de vehículos híbridos, y hasta de un 77% para buses completamente eléctricos con baterías (consumo de combustible equivalente).

El Cuadro 1 muestra las reducciones de CO₂ y PM1.5 estimadas para 10 años y los ahorros de combustible a medida que las flotas migran progresivamente hacia buses híbridos y eléctricos en algunas de las ciudades latinoamericanas C40.

Table 1 Emissions reductions and fuel savings over 10 years under a realistic scenario of 30,000 diesel buses replaced by hybrid and electric vehicles

Cuadro 1 Reducción de emisiones y ahorro de combustible en 10 años bajo un escenario realista de 30.000 buses diesel reemplazados por vehículos híbridos y eléctricos

	CO ₂ : (Million tons)	PM1,5 (Tons)	Fuel Equivalent (Million gal)	Fuel Equivalent (Million liters)	USD Savings in fuel (Million)
Bogota	3,3	280	300	1,100	1,200
Buenos Aires	0,9	150	70	300	300
Rio de Janeiro	1,9	220	150	600	500
Sao Paulo	3,8	1,000	320	1,200	1,100
Total	10	1,650	840	3,200	3,100

Source: C40 calculation from Program's data.

As cities migrate towards low carbon fleets in public transport, Latin America will become a significant contributor to actions mitigating CO₂ emissions and black carbon. Citizens throughout the region will reap the benefits of improved air quality and financial savings by conserving fuel.

The Program also found that:

- i) Driving patterns, driver competence, and steepness of the terrain affect the performance of low carbon buses;
- ii) Ten-year life-cycle analysis of hybrid and electric buses results in lower total present cost compared to conventional diesel buses, in several scenarios.

Results reveal that these technologies can compete with conventional buses, particularly when coupled with initial incentives, financing arrangements, and creative business models for the electric vehicle's components.

A medida que las ciudades migren hacia flotas de transporte público de bajo carbono, América Latina se convertirá en un contribuyente importante a las acciones de mitigación de CO₂ y hollín. Los ciudadanos de la región disfrutarán de los beneficios de una mejor calidad de aire y de los ahorros financieros de conservar combustible.

El Programa también encontró que:

- i) Los patrones de conducción, la preparación de los conductores y la inclinación del terreno afectan el desempeño de los buses de bajo carbono;*
- ii) El análisis de ciclo económico de vida a lo largo de diez años, para buses híbridos y eléctricos, resultó en un costo presente neto más bajo frente al los de los vehículos diesel tradicionales, contemplando varios escenarios;*

Los resultados evidencian que las nuevas tecnologías pueden competir con los buses convencionales, especialmente si se asocian con algunos incentivos iniciales, arreglos financieros y modelos de negocios creativos para los componentes eléctricos de los vehículos.





Key Recommendations:

Bus manufacturers are encouraged to pay attention to current regulations and to adapt their products to the Latin American market directives, especially regarding vehicle architecture weights, which can affect economic evaluations of bus operations. Suppliers should be invited to participate in the development of financial solutions to facilitate the acquisition of these new vehicles by city bus operators.

Cities and national governments should be encouraged to introduce and maintain certain incentives, such as low or zero VAT, import duty, and local taxes, in order to facilitate the initial uptake of low carbon vehicles.

Given the positive effect of the new technologies on population health and health sector costs, governments should, for example, consider contributing to the initial capital costs through direct subsidies or by allowing marginal increases to fares. Such are the models adopted in cities where low-carbon technology bus fleets have been deployed. Additionally, diesel prices should be corrected to reflect the real price of the fuel and pollution taxes should be imposed on this energy source.

Cities in Latin America are renewing their bus fleets, creating a market of not less than 30,000 buses within the next 10 years. Old vehicles should be scrapped and replaced by low carbon technologies. Governments should develop, implement, and enforce strict fuel performance regulations for buses to encourage the building of clean public transportation. The data provided by the Program are strong and persuasive. Results support firm benchmarks that cities can apply with confidence when setting regulation.

Recomendaciones clave:

Es pertinente estimular a los fabricantes de buses a revisar la regulación vigente y adaptar sus productos según las directrices del mercado latinoamericano, especialmente en cuanto al peso del vehículo, porque esto podría afectar las evaluaciones de operación de los buses. Igualmente importante invitar a los proveedores a participar en el desarrollo de las soluciones financieras para facilitar la adquisición de estos nuevos vehículos por parte de los operadores de buses de las ciudades.

Es un buen momento para que las ciudades y los gobiernos nacionales introduzcan y mantengan de manera entusiasta ciertos incentivos tales como bajos o nulos: impuestos a las ventas o al valor agregado, aranceles de importación e impuestos locales, con el fin de facilitar así la adopción inicial de vehículos de bajo carbono.

Dado el efecto positivo de las nuevas tecnologías en la salud de la población y en los costos del mismo sector, los gobiernos podrían, por ejemplo, considerar contribuir con los costos iniciales de capital a través de subsidios directos o permitiendo incrementos marginales de las tarifas de viaje. Este tipo de modelos ha sido adoptado en ciudades donde las flotas de buses de bajo carbono se han expandido. Además, los precios del diesel deberían corregirse para reflejar el valor real de los precios de los combustibles y debiesen imponerse impuestos por contaminación a esta fuente de energía.

Las ciudades latinoamericanas están renovando sus flotas de buses, creando un mercado de no menos que 30,000 buses en los próximos 10 años. Los vehículos viejos deberían ser eliminados y reemplazados por tecnologías de bajo carbono. Los gobiernos podrían desarrollar, implementar e imponer regulaciones estrictas sobre el consumo de combustible de los buses, para fomentar la construcción de un transporte público limpio. Los antecedentes entregados por el Programa son contundentes y persuasivos. Los resultados respaldan metas firmes que las ciudades pueden aplicar con confianza cuando establezcan la regulación.



In summary, Latin American cities have a great opportunity to drive the markets for low carbon transport technologies, and particularly hybrid and electric buses. The economic effort required would far outweigh the large environmental and health benefits that will accrue. Both the IDB and C40 have a deep commitment to helping lead cities to move their transport sectors to the frontier in low carbon sustainable mobility.

Authorship & Acknowledgements

This document was prepared extracting the main data and findings of the studies carried out by ISSRC and Dalberg, contractors of the C40-CCI Hybrid Electric Bus Test Program, which was made possible by financial support from the IDB. The following people worked on the production of the publication: Manuel Olivera, C40-CCI Regional Director and HEBTP Manager; Mauricio Osses and James Lents from ISSRC; Sergio Deambrosi and Carlos Mojica from IDB; Adalberto Maluf, C40-CCI CD in Sao Paulo; Cristina Mendonça, C40-CCI CD in Rio; Amanda Eichel, C40 Director of Initiatives and Regions; Brooke Russell, C40 Communications; Mike Marinello, C40 Communications Director; Sarah Potts, C40 Deputy Director of Initiatives and Regions; and Emily Morris, C40 Communications. Also involved in the preparation of this document from ISSRC, Cecilia Ibarra, Marco Martins, Danilo Sasaki, Cynthia Little, Mariana Paes, Tamara Osses and Javier Henríquez.

En resumen, las ciudades latinoamericanas tienen una gran oportunidad de dirigir sus mercados hacia tecnologías de bajo carbono, y particularmente buses híbridos y eléctricos. El esfuerzo económico requerido se compensa de sobra con los grandes beneficios ambientales y de salud que se desencadenarán. Tanto el BID como el C40 tienen un profundo compromiso para ayudar a las ciudades a mover sus sectores de transporte hasta la frontera de la movilidad sustentable de bajo carbono.

Autoría y Agradecimientos

Este documento fue preparado tomando los principales datos y hallazgos de los estudios realizados por el ISSRC y Dalberg, contratistas del Programa de Pruebas de Buses Híbridos y Eléctricos del C40-CCI el cual fue posible gracias al respaldo financiero del BID. Las siguientes personas trabajaron en la preparación del documento: Manuel Olivera, C40-CCI Director Regional y Gerente del HEBTP; Mauricio Osses y James Lents del ISSRC; Sergio Deambrosi y Carlos Mojica del BID; Adalberto Maluf, C40-CCI CD en Sao Paulo; Cristina Mendonça, C40-CCI CD en Río; Amanda Eichel, Directora de Iniciativas y Regiones del C40; Brooke Russell, Comunicaciones del C40; Mike Marinello, Director de Comunicaciones del C40; Sarah Potts, Subdirectora de Iniciativas y Regiones del C40; y Emily Morris, Comunicaciones del C40. También contribuyeron en la preparación del documento por parte del ISSRC, Cecilia Ibarra, Marco Martins, Danilo Sasaki, Cynthia Little, Mariana Páes, Tamara Osses y Javier Henríquez.

Special acknowledgements to the following institutions:

Especial reconocimiento a las siguientes instituciones:

Bogotá:

- *Alcaldía Mayor de Bogotá*
- *TransMilenio S.A.*
- *Secretaría de Movilidad*
- *Secretaría de Ambiente*
- *Ministerio de Transporte*
- *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*
- *Express del Futuro S.A.*

Rio de Janeiro:

- *Secretaria Municipal de Transporte da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro*
- *Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro*
- *Gabinete do Prefeito, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro*
- *Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro*
- *Rio Ônibus - Empresas de Ônibus da Cidade do Rio de Janeiro*
- *Instituto Nacional de Eficiência Energética*
- *Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural*
- *Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello*
- *Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, BNDS*
- *Secretaria de Estado de Transporte*
- *Secretaria de Estado do Ambiente, Subsecretaria de Economia Verde*

Sao Paulo

- *Prefeitura da Cidade do Sao Paulo*
- *Secretaria Municipal de Transportes*
- *Secretaria do Verde e Meio Ambiente do Sao Paulo*
- *São Paulo Transportes*
- *Transpass*
- *Ambiental e Elektro Eletricidade e Serviços S.A.*

Santiago de Chile

- *Transantiago*
- *Subus Chile S.A.*
- *Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones*
- *Centro de Innovación del Litio, Universidad de Chile*





Special gratitude to the following companies that accepted the challenge of providing test buses to the program, and to their always supportive staff and professional teams:

Especial gratitud a las siguientes empresas que aceptaron el reto de suministrar buses al programa para realizar pruebas, lo mismo que a sus directivos y equipo de profesionales que siempre dieron su apoyo:

- Volvo do Brasil Veículos Ltda.
- BYD y PracoDidacol S.A., su concesionario en Colombia
- YoungMan y Rattan Holding S.A., su concesionario en Colombia
- Eletra Industrial Ltda. (Brazil)
- Hankuk Fiber (Korea)

Special acknowledgments to the following people who made this program happen:

Especial agradecimiento a las siguientes personas quienes hicieron que este Programa ocurriera:

- Felipe Targa, Ex Viceministro de Transporte, Colombia
- Deysi Rodríguez, Especialista Ambiental, TransMilenio S.A.
- Steve Crolus, Director del Programa de Transporte de CCI
- Andrew Kessel, Director Financiero de la WJCF
- Antiguos directivos de CCI: Linn Schenk, Kristin Wadhwa, Corrie Martin
- Fabio Lorençon, Senior Sales Engineer, Volvo
- Eduardo Behrentz, Professor, University of Los Andes
- IDB Staff: Juan Pablo Bonilla, Teodoro Clemente Noel, Maria Paola Bustos, Andrea Giraldo, Paula Castillo, Francisco Arango, Laura Mondragón

And finally to the C40 staff, whose support was essential:

Y finalmente al equipo directivo del C40 cuyo respaldo fue trascendental:

- Jay Carson, Director Ejecutivo
- Amanda Eichel, Directora de Iniciativas y Regiones
- Johanna Partin, Directora Regional para Norte América y,
- David Cusack, Director Administrativo

Abbreviations

BEV Battery electric vehicles

BNDES Brazilian Development Bank

BRT Bus Rapid Transit

CO₂ Carbon dioxide (always understood in this publication as equivalent -e)

CCI Clinton Climate Initiative, a program of the William J. Clinton Foundation

IDB Inter-American Development Bank

FEB Full Electric Bus

FC Fuel consumption

FC/Pax Fuel consumption by passenger

GEF Global Environment Facility

GHG Green House Gases

GDP Gross Domestic Product

HEBTP Hybrid Electric Bus Test Program

IEA International Energy Agency

ISSRC International Sustainable Systems Research Center

NPV Net present value

RDB Reference Diesel Bus

PHB Parallel Hybrid Bus

PM Particulate matter

SHB Serial Hybrid Bus

SITP (Sistema Integrado de Transporte)
Integrated Public Transport System

TDM Travel Demand Management

VAT Value Aggregated Tax

Siglas

VEB Vehículos Eléctricos de Baterías

BNDES Banco de Desarrollo de Brasil

BRT Buses de Rápido Tránsito

CO₂ Dióxido de carbono (siempre entendido en esta publicación como equivalente - e)

CCI Iniciativa Climática Clinton, un programa de la Fundación William J. Clinton

IDB Banco Interamericano de Desarrollo

FEB Bus completamente eléctrico

FC Consumo de combustible

FC/Pax Consumo de combustible por pasajero

GEF Fondo para el Medio Ambiente Mundial

GEI Gases con Efecto Invernadero

PIB Producto Interno Bruto

HEBTP Programa de Pruebas de Buses Híbridos y Eléctricos (por sus siglas en inglés)

AIE Agencia Internacional de Energía

ISSRC International Sustainable Systems Research Center

RDB Bus diesel de referencia

PHB Bus híbrido en paralelo

PM Material Particulado

SHB Bus híbrido en serie

SITP Sistema Integrado de Transporte Público

TDM Manejo de Demanda de Viajes

IVA Impuesto al Valor Agregado





About C4O

The C4O Cities Climate Leadership Group (C4O) is a network of large and engaged cities from around the world committed to implementing meaningful and sustainable climate-related actions locally that will help address climate change globally. C4O was established in 2005 and expanded via a partnership in 2006 with President William J. Clinton's Climate Initiative (CCI). The current chair of the C4O is New York City Mayor Michael R. Bloomberg. To learn more about the work of C4O and our Cities, please visit www.c4o.org, follow us on Twitter @c4ocities and like us on Facebook at <http://www.facebook.com/C4OCities>.

Acerca del C4O

El Grupo C4O de Ciudades Líderes en Clima (C4O) es una red de ciudades alrededor del mundo, grandes y comprometidas con la implantación de acciones locales significativas y relacionadas con el clima que ayudarán a enfrentar globalmente el cambio climático. El C4O fue establecido en el 2005 y expandido a través de una alianza en el 2006 con la Iniciativa Climática del Presidente William J. Clinton (CCI). Actualmente preside el C4O el Alcalde de Nueva York, Michael R. Bloomberg. Para conocer más sobre el trabajo del C4O por favor visite www.c4o.org, síganos vía Twitter @c4ocities y opine sobre nosotros en Facebook <http://www.facebook.com/C4OCities>.