

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Modelo de Transporte Universitario Sustentable

TRABAJO ESCRITO

Que para obtener el DIPLOMA de

MAESTRÍA EN SUSTENTABILIDAD

Presenta:

Sara Patricia Verdugo Silva

1942

Director de Tesis:

Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras

HERMOSILLO, SONORA

AGOSTO 2015

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Universidad de Sonora
División de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Industrial
Posgrado en Sustentabilidad
Maestría en Sustentabilidad
Especialidad en Desarrollo Sustentable

Hermosillo, Sonora a 04 de agosto del 2015

Dra. Nora Elba Munguía Vega
Coordinadora de Programa
Maestría en Sustentabilidad
Presente.-

Por este conducto, hago de su conocimiento que estoy de acuerdo que se realice el examen de posgrado del alumno (a) Sara Patricia Verdugo Silva con Expediente 213290027, el cual será el día 07 de agosto del 2015 en el aula 102, Edificio 5R a las 11:00 horas.

Relación de Jurados:

| | NOMBRE | FIRMA |
|--------------------|--------------------------------------|--------------|
| PRESIDENTE: | Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras | _____ |
| SECRETARIO: | Dra. Nora Elba Munguía Vega | _____ |
| VOCAL: | Dr. Javier Esquer Peralta | _____ |
| SUPLENTE: | Dra. Andrea Zavala Reyna | _____ |

A T E N T A M E N T E

MIEMBROS DEL JURADO

"Si he logrado ver más lejos, ha sido porque he subido a hombros de gigantes"

Bernardo de Chartres

A mi Moncho, mi unicornio azul.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente muchísimas gracias a mi tutor el Dr. Luis Velázquez por todo su apoyo, confianza, motivación y paciencia durante todo este proceso y por supuesto, por todas las enseñanzas brindadas. Gracias a la Universidad de Sonora por hacer posible las estancias en el extranjero, y en sí la realización de este proyecto y mis experiencias vividas durante estos dos años. Mi más sincero agradecimiento al Dr. Biagio Giannetti, la Dra. Silvia Bonilla, el Dr. Bernd Delakowitz y el Ing. Markus Will por su gran apoyo en el proceso de recolección de datos. Un agradecimiento especial a los estudiantes de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Zittau/Görlitz, Anne Wagner y Andreas Wenzel, por su apoyo logístico durante la recolección de datos en Europa; y por supuesto, gracias a todos los trabajadores de las muchas empresas que participaron en el estudio, por todas las facilidades brindadas, y gracias a toda la gente en las calles que me ayudaron a llegar a todos estos lugares. Gracias a Leonardo Coronado y Adriana Moreno por su contribución esencial con el estudio de perspectivas de movilidad social. Y por último pero no menos importante, muchísimas gracias a toda mi familia y amigos por su amor, paciencia y apoyo en las buenas, malas y muy malas.

RESUMEN

Con la finalidad de solucionar los problemas de congestión vehicular en la Unidad Regional Centro de la Universidad de Sonora (URC) siguiendo las directrices de la sustentabilidad, este trabajo pretende obtener un modelo de un sistema de transporte universitario que potencialmente mejore la movilidad del campus a través de una herramienta de evaluación que ayude a identificar las buenas prácticas (BPs) con una mayor factibilidad de réplica en el campus y por tanto, tener más probabilidades de éxito. Casos notables en relación a transporte sustentable (TS) fueron seleccionados para su examinación empírica, con el objetivo de obtener información técnica, ambiental, social, económica y climática/geográfica de cada uno de ellos y desarrollar una herramienta que ayude a identificar BPs con una mayor factibilidad de réplica en el campus. El resultado funciona como un marco de apoyo para la toma de decisiones a la hora de diseñar un transporte universitario sustentable (TUS), proporcionando un conjunto de opciones ponderadas como base para seleccionar las BPs que mejor se adapten al contexto particular del campus; puede ayudar a comparar varias opciones cuando se requiere resolver problemas urgentes en el corto plazo, o bien, hacer planes en el mediano-largo plazo, entre otras cuestiones. La herramienta de evaluación propuesta en este trabajo puede ser utilizada para evaluar otros campus universitarios como apoyo en el diseño de un TUS adaptado a cada contexto particular, es decir, adaptado a las condiciones y necesidades particulares.

ABSTRACT

In order to solve the traffic congestion on the central regional campus of the *University of Sonora* (URC) following the sustainability guidelines, this paper aims to obtain a model of a transport system that potentially achieves improvements on the campus mobility through an assessment tool that helps to identify the best practices (BPs) that are more feasible to be replicated on campus and therefore be more likely success. Sustainable transportation (TS) notable cases were selected for empirical examination in order to obtain technical, environmental, social, economic and climatic/geographic information of each of them to develop a tool that helps identify the BPs that are more feasible to be replicated on campus and support decision making on the sustainable transport system (TUS) design. The results of the BPs replication feasibility assessment, work as a framework for decision making on the TUS design by providing a cluster of weighted options as a basis to select the BPs for implementation which best suits the campus particular context; it can help to compare several options aimed to meet the same need or help to see the available options when is desired to solve urgent problems in the short term, or planning on the medium-long term, among other issues. The proposed assessment tool can be also used to evaluate any other campus since all the elements involved provide a basis for assessment that could be applied to get a model of a TUS adapted to a particular context, i.e. adapted to particular conditions and needs.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| I.- Introducción..... | 10 |
| II.- Objetivo estratégico..... | 11 |
| III.- Objetivos específicos..... | 12 |
| IV.- Análisis literario..... | 13 |
| 4.1. Sustentabilidad en los sistemas de transporte..... | 13 |
| 4.2. Estrategias para un TS..... | 15 |
| 4.3. Estrategias de reducción y alteración..... | 18 |
| 4.4. Estrategia de eficiencia..... | 20 |
| 4.5. Barreras y retos para un TS..... | 22 |
| 4.6. Casos de estudio..... | 25 |
| V.- Metodología..... | 30 |
| 5.1. Tipo de estudio..... | 30 |
| 5.2. Diseño metodológico..... | 30 |
| 5.3. Alcance..... | 30 |
| 5.4. Preguntas de investigación..... | 30 |
| 5.5. Objeto de estudio..... | 30 |
| 5.6. Selección del objeto de estudio..... | 31 |
| 5.7. Selección y tamaño de la muestra..... | 31 |
| 5.8. Instrumentos de recolección y manejo de datos..... | 31 |
| VI.- Resultados..... | 34 |
| 6.1. Modelo de Transporte Universitario Sustentable (TUS)..... | 34 |
| 6.1.1 Selección de las BP para examinación..... | 36 |
| 6.1.2. Caracterización de las BPs examinadas..... | 37 |
| 6.2. Análisis de los patrones de movilidad de la comunidad estudiantil de la URC..... | 43 |
| 6.2.1 Desplazamientos en transporte público (autobús)..... | 44 |
| 6.2.2. Desplazamientos en automóvil..... | 45 |
| 6.2.3. Desplazamientos a pie..... | 47 |
| 6.2.4. Desplazamientos en bicicleta..... | 49 |
| 6.3. Evaluación de factibilidad de réplica de las BPs en la URC..... | 50 |
| 6.4. Diseño del modelo de TUS para la URC..... | 54 |
| 6.4.1 Acciones de reducción..... | 55 |
| 6.4.2 Acciones de alteración..... | 55 |

| | |
|---|-----------|
| 6.4.3 Acciones de eficiencia..... | 56 |
| 6.5. Propuestas para la ejecución de las acciones..... | 56 |
| 6.6. Implementación de las acciones..... | 67 |
| VII.- Análisis..... | 71 |
| VIII.- Conclusiones..... | 75 |
| IX.- Recomendaciones..... | 77 |
| X.- Referencias..... | 78 |
| XI.- Anexos..... | 88 |
| ANEXO A. DESCRIPCIÓN DE LAS ACCIONES DE REDUCCIÓN..... | 88 |
| ANEXO B. DESCRIPCIÓN DE LAS ACCIONES DE ALTERACIÓN..... | 92 |
| ANEXO C. DESCRIPCIÓN DE LAS ACCIONES DE EFICIENCIA..... | 93 |
| ANEXO D. DESCRIPCIÓN DE LAS BP EXAMINADAS DE ACUERDO A LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD DE RÉPLICA..... | 97 |
| ANEXO E. FACTIBILIDAD DE RÉPLICA DE LAS BP EN LA URC..... | 136 |
| ANEXO F. PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS SOCIALES DE LAS BP..... | 137 |
| ANEXO G. PRESUPUESTO DE EQUIPO PARA LA PRODUCCIÓN Y USO DE BIODIESEL CON IMPORTACIÓN INCLUIDA..... | 142 |
| ANEXO H. DEFINICIÓN DE SIGLAS..... | 143 |

TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 4.1 Comparación de opciones de almacenamiento de Hidrógeno a bordo; referencia 5 gal. de la gasolina, lo suficiente para que un vehículo conduzca una distancia de 300 millas..... | 22 |
| Tabla 4.2 Comparación de BPs..... | 26 |
| Tabla 4.3 Costos y beneficios (basados en la mejor estimación de futuro tráfico de peatones y ciclistas) de la inversión en vías para andar y bicicleta en las ciudades de Hokksund, Hamar y Trondheim..... | 26 |
| Tabla 4.4 Costo de las emisiones del ciclo de vida por vehículo, considerando el proceso de producción del vehículo y los gases de escape (2012 USD)..... | 28 |
| Tabla 4.5 Costo de las emisiones del ciclo de vida por vehículo, considerando el proceso de producción del vehículo, los gases de escape y la producción de la fuente de energía (2012 USD)..... | 28 |
| Tabla 5.1. Criterios para la evaluación de factibilidad de réplica y sus porcentajes de peso..... | 33 |

| | |
|--|----|
| Tabla 5.2. Escala de ponderación cualitativa ligada a valores numéricos..... | 33 |
| Tabla 6.1. Selección de BPs para su examinación..... | 37 |
| Tabla 6.2. Caracterización de las BPs de la estrategia de reducción..... | 38 |
| Tabla 6.3. Caracterización de la BPs de la estrategia de alteración..... | 40 |
| Tabla 6.4. Caracterización de las BPs de la estrategia de eficiencia..... | 41 |
| Tabla 6.5. Evaluación de la factibilidad de réplica de las BP en la URC..... | 50 |
| Tabla 6.6. Propuesta de descuentos en tarifa de estacionamiento..... | 63 |
| Tabla 6.7. BPs incluidas en la propuesta de la prueba piloto..... | 68 |

FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 4.1 Emisiones de CO_2 procedentes de la quema de combustibles fósiles, por sector y por tipo de combustible..... | 14 |
| Figura 4.2 Participación de los diferentes sectores en las emisiones totales de GEI antropogénicos en 2004 en términos de CO_2 -eq..... | 15 |
| Figura 4.3 Tipología de los costos externos del transporte..... | 16 |
| Figura 4.4 Importancia relativa de cada una de las estrategias para alcanzar un TS..... | 18 |
| Figura 4.5 Hacia una trayectoria de desarrollo verde- PIB per cápita vs contribución al modo de transporte motorizado-privado..... | 20 |
| Figura 6.1 Esquema base de BPs con modelo de TUS para la URC..... | 35 |
| Figura 6.2 Modos de desplazamiento de los estudiantes de la URC..... | 44 |
| Figura 6.3 Declaraciones de los usuarios de transporte público de la URC..... | 45 |
| Figura 6.4 Declaraciones de los usuarios de automóvil de la URC..... | 46 |
| Figura 6.5 Declaraciones de los estudiantes que no usan automóvil como medio de desplazamiento..... | 46 |
| Figura 6.6 Horarios con mayor concentración de entrada y salida de estudiantes..... | 47 |
| Figura 6.7 Declaraciones de los estudiantes que se desplazan caminando a la URC..... | 48 |
| Figura 6.8 Declaraciones de los estudiantes que no se desplazan caminando a la URC..... | 48 |
| Figura 6.9 Declaraciones de los estudiantes que se desplazan en bicicleta a la URC..... | 49 |
| Figura 6.10 Mapa de metro de la ciudad de Moscú, Rusia..... | 60 |
| Figura 6.11 Ejemplificación del mapa de un sistema de BRT con una ruta central “y” y varias rutas periféricas “x”..... | 61 |

| | |
|---|----|
| Figura 6.12 Distribución de los puntos de detección de pasajeros por medio de NFC en el área de ingreso al estacionamiento..... | 64 |
| Figura 6.13 Detector del conductor con pantalla de administrador..... | 65 |

IMÁGENES

| | |
|--|----|
| Imagen 6.1 Calle dividida para circulación motorizada a la derecha y no motorizada a la izquierda en la ciudad de Ámsterdam, Países Bajos..... | 57 |
| Imagen 6.2 Estacionamiento controlado para bicicletas en la ciudad de Curitiba, Brasil..... | 59 |
| Imagen 6.3 Pasamanos separador de flujo de ascenso-descenso en el metro de la ciudad de San Pablo, Brasil..... | 62 |
| Imagen 6.4 Procesador de biodiesel Freedom Fueller..... | 66 |
| Imagen 6.5 Mapa con las principales rutas de desplazamiento de la URC..... | 70 |

I. INTRODUCCIÓN

Este estudio presenta la propuesta de un modelo de TUS, diseñado específicamente para el campus URC en base a las preferencias y necesidades de desplazamiento de la comunidad universitaria en el trayecto hogar-campus. Casos notables de BPs en relación a TS fueron seleccionados para su examinación empírica, con el objetivo de obtener información técnica, ambiental, social, económica y climática/geográfica de cada uno de ellos y desarrollar una herramienta que ayude a identificar las BPs con una mayor factibilidad de réplica en el campus para conformar un modelo de TUS para la URC.

El modelo propuesto quedó conformado por seis BPs las cuales incluyen un sistema de transporte público de calidad que ofrezca confiabilidad, seguridad, comodidad, accesibilidad, asequibilidad y capacidad, para motivar a los estudiantes a preferir el transporte público sobre el privado; la provisión de las condiciones adecuadas para el uso de transportes no motorizados, mayormente caminar y bicicleta, dada la importante cantidad de estudiantes que vive cerca del campus; un sistema de viajes compartidos para incrementar la ocupación vehicular, implementar costos de aparcamiento y carriles de ascenso y descenso rápido en la periferia del campus para reducir el número de vehículos que ingresan diariamente. También, para reducir la congestión, un desfase en los horarios de entrada y salida de los estudiantes, ya que estos presentan fuertes concentraciones en 3 periodos del día; la inclusión de combustible alternativo, biodiesel, y la tecnología necesaria para ser utilizado en los vehículos de transporte colectivo de la universidad.

Cada una de las BPs incluidas en el modelo de TUS poseen el potencial de prevenir, eliminar y/o reducir los impactos negativos a la salud y al ambiente originados por los actuales modos de transportación vehicular de la comunidad universitaria, y al realizar una evaluación de factibilidad de replica para obtener un modelo de TUS específico para la URC, el potencial de contribución se incrementa considerablemente.

II. OBJETIVO ESTRATÉGICO

Contribuir a la sustentabilidad, diseñando un modelo de transporte universitario que prevenga, elimine y/o reduzca los impactos negativos originados por la trasportación vehicular de la comunidad universitaria sobre la salud y el medio ambiente local y global en el corto, mediano y largo plazo como legado de las actuales a las futuras generaciones.

III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis literario del estado del arte de los sistemas de transporte sustentable.
- Examinar casos de interés concernientes a la aplicación de diversas estrategias de transporte sustentable alrededor del mundo.
- Diseñar un sistema conceptual de transporte universitario que provea una movilidad segura, confiable, económica, eficiente, equitativa, menos contaminante y asequible para las generaciones actuales y futuras.
- Evaluar la factibilidad técnica, ambiental, social y financiera de operar el sistema de transporte sustentable en la Universidad de Sonora.

IV. ANÁLISIS LITERARIO

4.1. Sustentabilidad en los sistemas de transporte

Es indudable que el transporte va de la mano con el desarrollo económico de cualquier sociedad (Sarkar & Pratiti, 2011) por ser un factor esencial para la industrialización, la movilización de las personas y proporcionar acceso a bienes y servicios (OECD, 1998); pero por otro lado, también contribuye al agotamiento de los recursos naturales y genera diversos tipos de contaminación que derivan en problemas ambientales y de salud (Wu & Dunn, 1995). Es en este contexto donde se origina la búsqueda del equilibrio entre estos dos aspectos; un transporte funcional y amigable con el medio ambiente, siguiendo las directrices de la sustentabilidad.

De acuerdo con Black (2010), aún no existe un acuerdo político o científico en la definición de Transporte Sustentable, sin embargo existen varias propuestas que derivan del concepto de Desarrollo Sustentable de la Organización de las Naciones Unidas (1987). Algunas de estas definiciones fueron compiladas por Litman (2013), quien resalta como una de las más aceptadas, la de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (2001), mejor conocida como la OECD por sus siglas en inglés, que lo precisa como aquel que no ponga en peligro la salud pública o de los ecosistemas y que satisfaga las necesidades de acceso consistente con (a) el uso de recursos renovables por debajo de sus tasas de regeneración, y (b) la utilización de los recursos no renovables por debajo de los índices de desarrollo de los sustitutos renovables.

Siguiendo esta línea y basada en la definición de Dalkmann & Huizenga (2010), los gobiernos de 9 países de América Latina, incluido México, acordaron la suya en el Foro de Transporte Sostenible de América Latina (2011), como sigue: TS es, *"La prestación de servicios e infraestructura para la movilidad de bienes y personas; necesaria para el desarrollo económico y social, la mejora de la calidad de vida y la competitividad. Estos proveen movilidad segura, confiable, económica, eficiente, equitativa y asequible; mientras mitigan los impactos negativos sobre la salud y el medio ambiente local y global en el corto, mediano y largo plazo sin comprometer el desarrollo de las generaciones futuras"*.

Un tema central en el desarrollo del TS a nivel mundial es la reducción de las emisiones de Dióxido de Carbono (CO_2) por ser este el principal Gas de Efecto Invernadero (GEI) debido a la magnitud de su liberación y el tiempo de residencia en la atmósfera (Lashof & Ahuja, 1990). Después de la generación de energía eléctrica, el sector transporte es el segundo mayor contribuyente a las emisiones de CO_2 provenientes de la quema de combustibles fósiles, Figura 4.1, representando un 22% de las emisiones globales de CO_2 en 2008 (IEA, 2010) y un 13.1% de las emisiones totales de GEI, Figura 4.2.

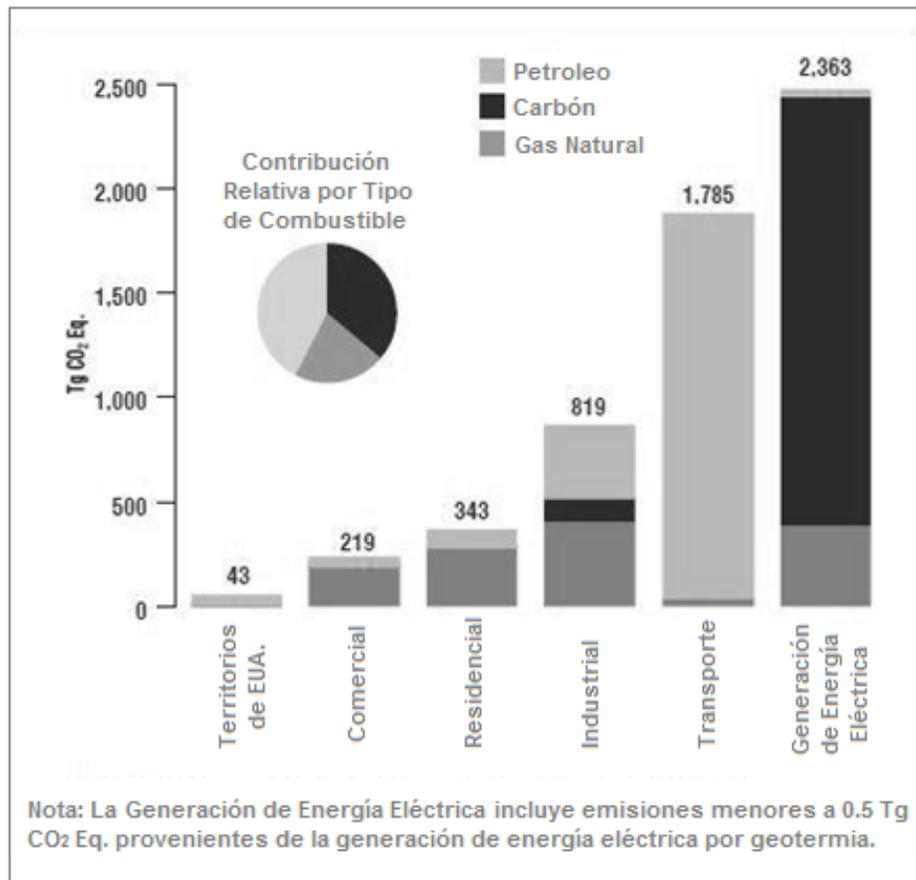


Figura 4.1 Emisiones de CO_2 procedentes de la quema de combustibles fósiles, por sector y por tipo de combustible.

Fuente: EPA (2010)

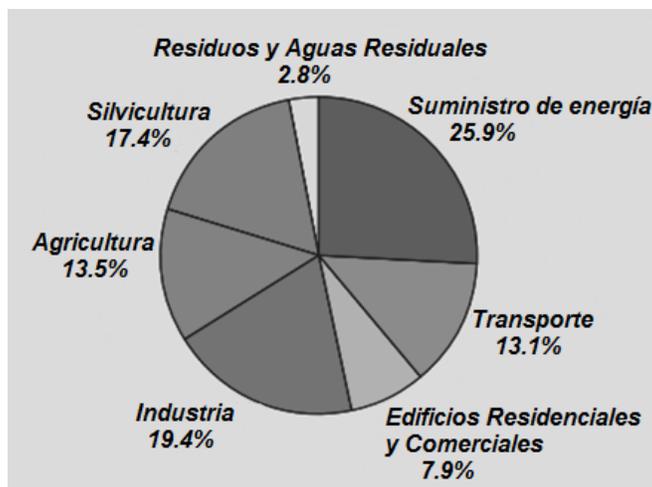


Figura 4.2 Participación de los diferentes sectores en las emisiones totales de GEI antropogénicos en 2004 en términos de CO₂-eq. (Silvicultura incluye la deforestación).

Fuente: IPCC (2007)

Es común en la literatura concerniente a la contaminación atmosférica, la aseveración de que los GEI de origen antropogénico concentrados en la atmósfera han ocasionado un aumento de la temperatura en la superficie de la tierra (Oreskes, 2004), que se entiende como cambio climático (United Nations, 1992) y provoca devastadores efectos en la sociedad, el medio ambiente y la economía; que consecuentemente afectarán a cada uno de los individuos del planeta (Maslin, 2007). Esta variación del clima global ha generado una creciente preocupación pública y científica que ha alentado cambios en los sistemas de transporte y en la forma en que los individuos toman decisiones sobre las necesidades de desplazamiento y las opciones de modos de viaje (Stewart & Prillwitz, 2012); aunque por otro lado, existen también investigadores que no concuerdan con esta visión consensuada, argumentando que no se cuenta con información suficiente para llegar a conclusiones convincentes (Miller & Spoolman, 2010).

4.2. Estrategias para un TS

A sabiendas de que el TS persigue la integración de los aspectos ambiental, económico y social (Loo, 2008), es importante identificar las estrategias que ayuden a lograr múltiples objetivos y evitar aquellas que resuelven solo un problema de transporte y agravan otros; como lo sería una estrategia que reduzca el consumo de energía y las emisiones contaminantes; pero al mismo tiempo aumente el tráfico, la congestión, los accidentes y los costos de consumo (Batta, ca. 2004). Para lograr una estrategia integral, eficiente a

largo plazo y que mejor se adapte a cada caso específico; es necesario considerar las fuentes (recursos) disponibles, las condiciones del sitio (Shiau, 2013) y realizar un análisis de las externalidades mostradas en la Figura 4.3.

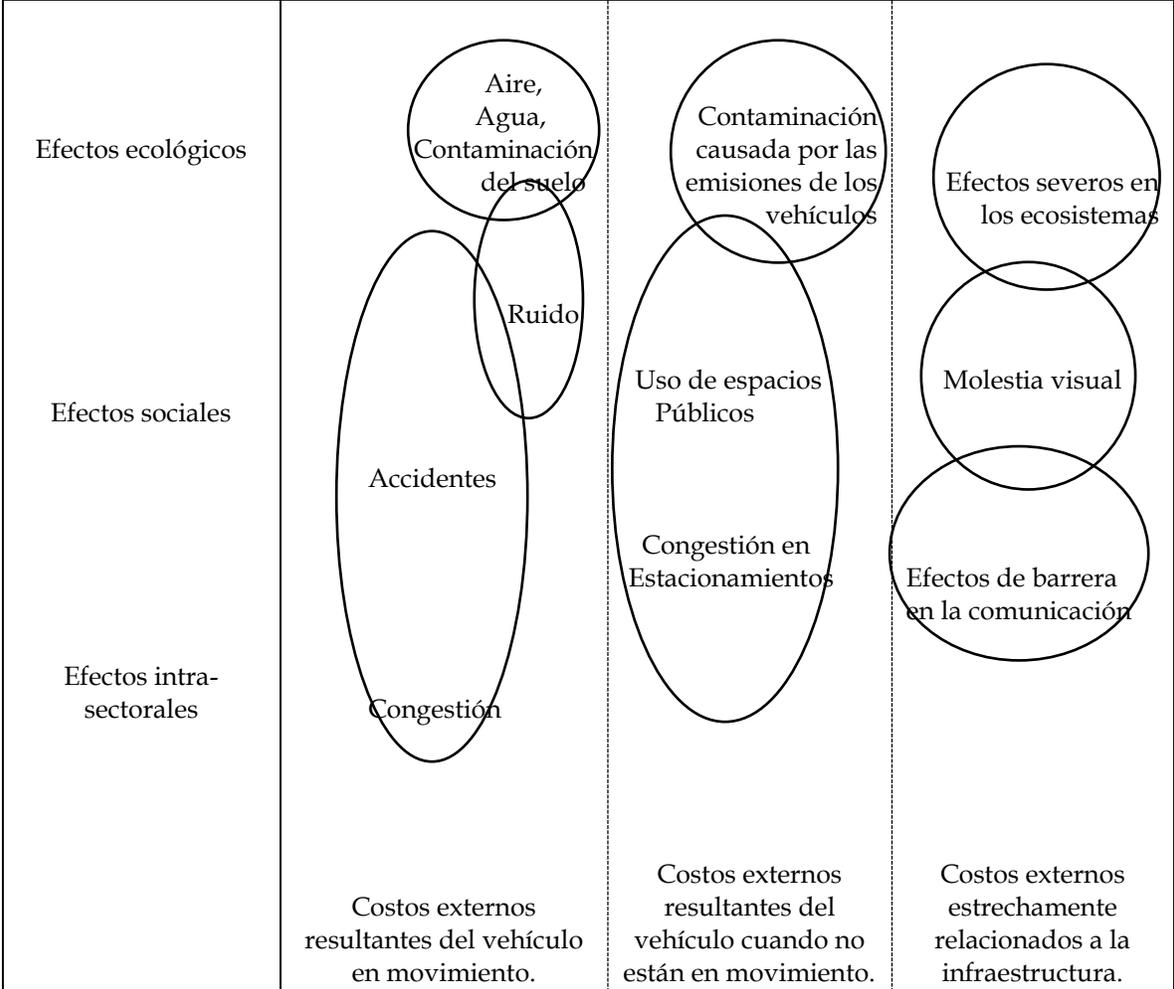


Figura 4.3 Tipología de los costos externos del transporte.

Fuente: Verhoef (1996)

La literatura revela la clasificación de las tres estrategias principales para lograr un TS: reducción, alteración y eficiencia; también conocido como paradigma avoid-shift-improve (Hidalgo & Huizenga, 2013; Dalkmann & Brannigan, 2011; Shiau, 2012). La estrategia de reducción evalúa las necesidades de traslado con el fin de disminuir el consumo de energía y el volumen de transporte (Shiau, 2013); la estrategia de alteración promueve el cambio de transporte individual a colectivo, aumentando así la tasa de ocupación; y por último la estrategia de eficiencia se basa en el desarrollo tecnológico, principalmente para

la obtención de energía limpia, ya sea por la modificación parcial o total del combustible o del sistema motor (Streimikiene et al., 2013).

De acuerdo a la jerarquía de la protección ambiental, la Prevención de la Contaminación se encuentra en la cima (Hirschhorn & Oldenburg, 1991), hallada en la literatura inglesa como *Pollution Prevention*, *PP* o *P2*; ésta práctica busca la fuente del problema, para cambiarla y así, prevenir, eliminar o reducir el problema desde su origen (Oldenburg & Geiser, 1997). Las tres estrategias se apegan a este principio: reducción (previene), alteración (reduce) y eficiencia (elimina y reduce); pero las primeras dos, presentan una menor complejidad operativa y no requieren una gran inversión de capital, motivo por el cual resulta conveniente abordarlas en primer orden y subsiguientemente, la estrategia de eficiencia (Steg & Gifford, 2005).

Otro motivo para abordar las estrategias en ese orden, en acuerdo con Gondo (2010), es su naturaleza conductual (reducción y alteración) y tecnológica (eficiencia), pues si no se modifican primero los patrones de conducta, los efectos mitigantes logrados por la innovación tecnológica se pueden ver opacados por el incremento del uso del transporte motorizado (OECD, 1996). Este desequilibrio en el que la tecnología logra producir un vehículo capacitado para reducir las emisiones, pero los patrones de conducta incrementan el uso, argumentando utilizar un vehículo amigable con el medio ambiente, es un fenómeno que se conoce como efecto de rebote o principio de Jevons (Berkhout et al., 2000), donde las ganancias económicas, ambientales y sociales, esperadas como producto de la innovación tecnológica, se tornan negativas (Greene, 1992).

La OECD (2000) muestra en un estudio, la importancia relativa de cada una de las estrategias para lograr un TS como puede verse en la Figura 4.4, dejando claro que la de eficiencia es la de mayor importancia, pero insuficiente para alcanzar por sí sola la sustentabilidad en el transporte. Esta postura es apoyada por Sager et al. (2011), quienes consideran que la reducción de las emisiones de GEI es también una cuestión de conducta y no solo de tecnología.

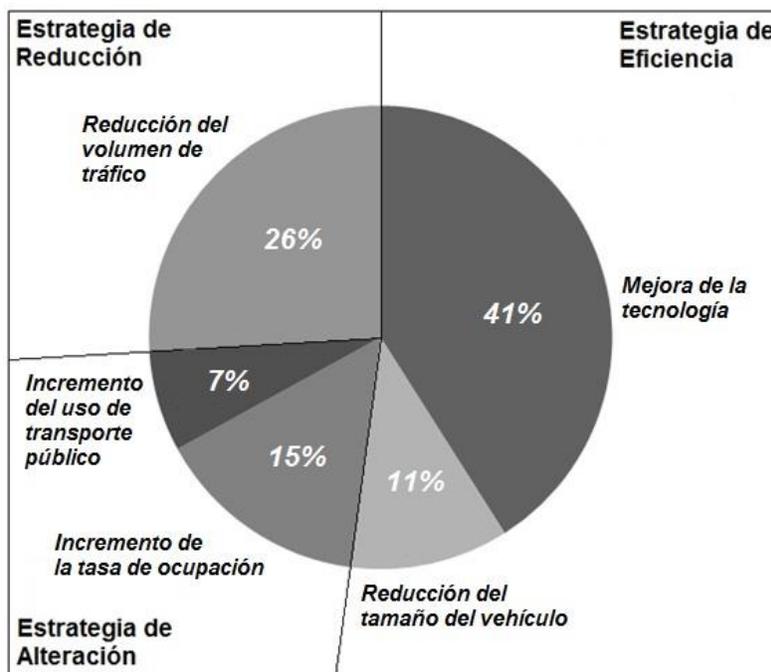


Figura 4.4 Importancia relativa de cada una de las estrategias para alcanzar un TS.

Fuente: OECD (2000), citada por Holden & Gilpin (2013).

4.3. Estrategias de reducción y alteración

La estrategia de reducción busca disminuir el volumen del transporte y el consumo de energía, en armonía con las estrategias de alteración y eficiencia (Holden & Gilpin, 2013). Su campo de acción se basa en dos líneas principales (Hidalgo & Huizenga, 2013): i) evaluar las necesidades de traslado para evitar viajes innecesarios y ii) el acceso a modelos de transporte no motorizado (TNM), cambiando de un patrón de completa dependencia de los vehículos motorizados (VM) hacia uno multimodal que incluya los TNM (Rastogi, 2011); siendo indispensable en la planeación de estos, considerar los factores subjetivos (aceptabilidad social, sentimiento de inseguridad, etc.) y objetivos (rapidez, topografía, clima, seguridad, etc.) que influyen en los usuarios para aceptar esta transición (Transport of London, 2004).

Los TNM pueden ser competitivos en tiempo, con los VM para trayectos cortos; por ejemplo, hasta 0.8 km para andar y hasta 5 km para ciclismo (Dill & Gliebe, 2008; NHTS, 2009). Tomando como referencia la estadística del continente europeo, en la mayoría de las ciudades, al menos el 30% de los trayectos realizados en automóvil cubren distancias

inferiores a 3 km, y el 50%, de menos de 5 km (CE, 2002); por lo tanto, el potencial de los TNM no es despreciable para desplazamientos urbanos cotidianos (Eltit, 2011). Adicionalmente se ha encontrado que el incremento de la congestión por VM, reduce la ventaja de velocidad que estos poseen sobre el TNM (Pendakur et al., 1995).

El uso del TNM ofrece la posibilidad de reducir los gastos de salud pública, los costos de mantenimiento de carreteras, problemas de estacionamiento, la congestión y accidentes de tráfico; previene daños a la propiedad y al ambiente (Rastogi, 2011), entre otras externalidades del transporte, ver Figura 4.3. Aunado a esto, se estima que pueden desplazar de 4 a 15% de las emisiones de CO_2 , CO , COV_s y NO_x proyectadas por vehículo-pasajero (Komanoff et al., 1993).

La estrategia de alteración, reconoce la urgencia fundamental de cambiar los actuales patrones individualistas de transporte hacia formas colectivas (exceptuando los aviones), principalmente sistemas públicos que incrementen el uso de autobuses, trenes y tranvías; los cuales proporcionan mayor eficiencia energética que los automóviles e incrementan las tasas de ocupación (Dalkmann & Sakamoto, 2011).

En vista de la renuencia de los usuarios a renunciar a la comodidad del automóvil, surge una buena práctica para reducir el tráfico y el consumo de energía; el viaje compartido, mejor, conocido como *carpooling* (Noland et al., 2006); donde un grupo de individuos con horarios y rutas en común, comparten viaje en el vehículo privado de alguno de ellos, generalmente hacia sus sitios de trabajo; turnándose de conductor (por ejemplo, uno cada semana) o compartiendo gastos (Minett & Pearce, 2011).

En algunas ciudades estadounidenses se fijaron carriles especiales de alta ocupación (mínimo tres ocupantes por vehículo), HOV, por su acrónimo en inglés que definen *High Occupancy Vehicle*, para fomentar el *carpooling* (Konishi & Mun, 2010), pero han sido acusados de ralentizar el flujo vehicular (Yang & Huang, 1999). Hay quienes critican esta práctica argumentando que usuarios del transporte público se mudaron al *carpooling* incrementando con ello el número de vehículos en circulación (VDOT, 2006).

Quienes han obtenido mejores resultados en la aplicación de BPs, derivadas de la estrategia de alteración, revelan que un elemento clave del éxito es la planeación y diseño

de la ciudad para una movilidad de alta calidad, especialmente a través de transporte público y de una infraestructura adecuada para el uso del TNM (Dalkmann & Sakamoto, 2011); dejando claro que el desacoplar el uso intensivo del automóvil en nada se contrapone con el crecimiento económico; como lo muestra la Figura 4.5, donde la Asociación Internacional de Transporte Público identifica 3 patrones principales en el uso de vehículos motorizados-privados en relación con el Producto Interno Bruto (PIB).

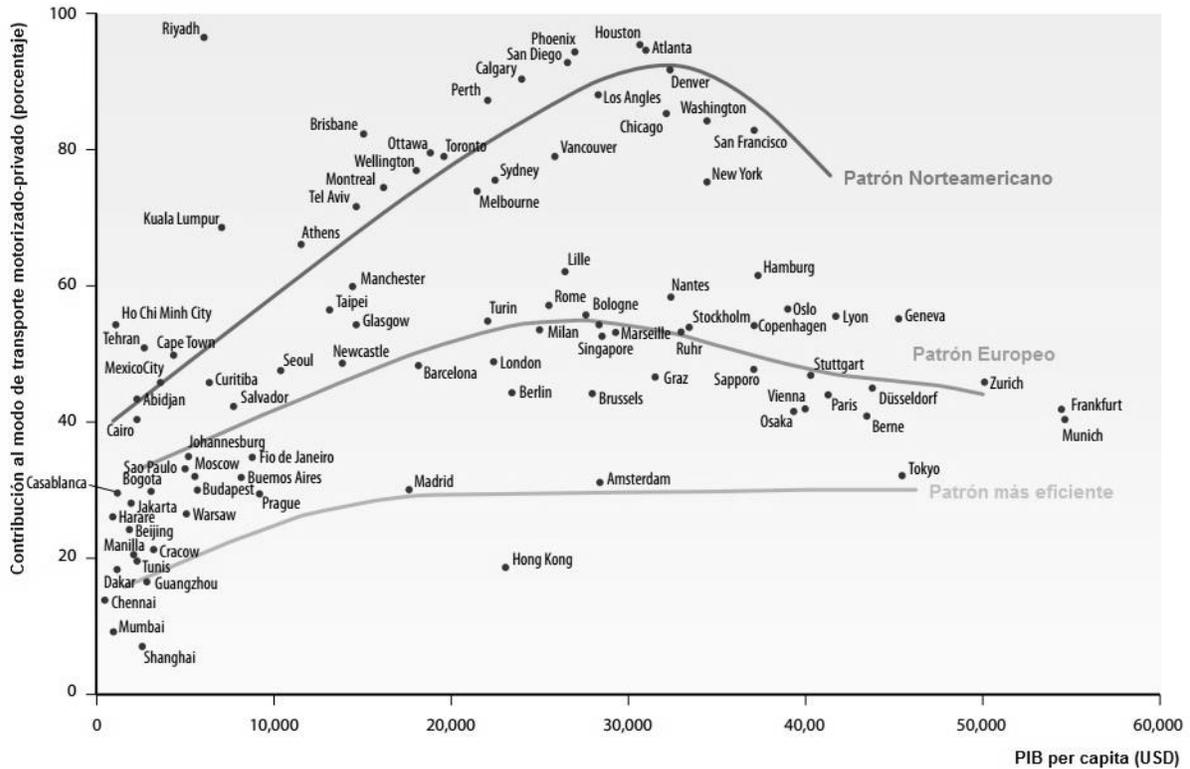


Figura 4.5 Hacia una trayectoria de desarrollo verde- PIB per cápita vs contribución al modo de transporte motorizado-privado.

Fuente: UITP (2006), citada en Dalkmann & Sakamoto (2011).

4.4. Estrategia de eficiencia

La estrategia de eficiencia comúnmente aborda el concepto de tecnología en un sentido “duro”, refiriéndose al desarrollo de vehículos y combustibles, pero es importante hacer la notación de que su parte “blanda”, que abarca el desarrollo de logísticas, tiene un gran peso en la consecución de la eficiencia de un sistema de transporte (Holden & Gilpin,

2013). Esta estrategia, en su sentido duro, puede subdividirse en: el uso de tecnología convencional novedosa y el uso de tecnología alternativa (Holden, 2007), pero dado que varios estudios han concluido que mejorar la eficiencia de los vehículos convencionales de gasolina (VC), no es una solución sustentable a largo plazo, el desarrollo se ha visto mayormente inclinado a la tecnología alternativa (Contestabile et al., 2011).

El aumento de las emisiones de GEI y los límites del suministro de petróleo, han inducido el desarrollo de tecnologías de baja emisión de carbono y libres de carbono (IEA, 2012). Al evaluar las opciones de mitigación de los GEI en el transporte, la International Energy Agency considera 3 tecnologías que se acercan a producir cero emisiones de gases de escape del motor (*tailpipe*): i) vehículo eléctrico de batería (VEB), ii) vehículo eléctrico de celda de combustible de hidrógeno (VECC) y iii) biocombustibles; que contribuyen significativamente a mejorar la calidad del aire urbano (Offer et al., 2010).

El utilizar un VEB en lugar de un VC puede acarrear múltiples beneficios tales como la reducción de los GEI, del smog urbano y de la dependencia de los combustibles fósiles (Graver et al., 2011); pero adicionalmente, estos se distinguen entre las otras dos tecnologías por proporcionar mayor eficiencia en la conversión de energía y mejor desempeño en el manejo (Hui-Kuan et al., 2013), convirtiéndolos en una alternativa viable, capaz de proporcionar movilidad sustentable (Natural Resources Defense Council, 2007).

Del mismo modo, los VECC han sido considerados una alternativa viable para reemplazar a los VC, por los atributos del hidrógeno sobre los combustibles fósiles (Rifkin, 2002), el cual posee el potencial de funcionar a alta eficiencia emitiendo únicamente vapor de agua como gas de escape (Hussain et al., 2007). Otras ventajas de los VECC incluyen el poder ser recargados en un corto periodo de tiempo (si se cuenta con una estación de recarga), similar a un VC, de 5 a 10 minutos para un rango de 300 millas (Reichmuth, 2013); y representan una buena opción en vehículos grandes con largos recorridos por ser más ligeros y con rangos de operación diez veces más largos que los VEB, además de los beneficios adicionales de emitir menos calor y ruido (FUEL CELLS 2000, 2013).

La tercera tecnología en cuestión, que concierne a los biocombustibles, posee una relevancia sobre las otras dos, por ser una opción de abastecimiento para los países más

pobres (Holden & Gilpin, 2013). Sin embargo, existe un gran debate por el hecho de cultivar biomasa para la producción de biocombustibles, ante la evidente escases de alimentos en el mundo (UNEP, 2009); dilema que puede ser descartado al utilizar biomasa en su fase residual (Glithero et al., 2013; Larsen et al., 2013), acarreado un triple beneficio adicional a la obtención de biocombustible, que incluye la obtención de biofertilizante (digestato) como subproducto, la disminución del volumen de residuos (y con ello sus efectos nocivos) y de las grandes cantidades de CO₂-eq. que hubiesen sido liberadas a la atmósfera con la descomposición de esta biomasa a la intemperie (Kong et al., 2013; Amiri et al., 2013).

4.5. Barreras y retos para un TS

En la búsqueda de su objetivo, las estrategias para un lograr un sistema de TS se enfrentan a diversas barreras y retos de tipo tecnológico, económico y social (Greene & Wegener, 1997). Al abordar las barreras tecnológicas y económicas, los VECC y los VEB presentan similitudes que impiden su trascendencia (Tollefson, 2008). En el caso de los VECC, el transporte y almacenamiento del hidrógeno son los factores más críticos (Satyapal et al., 2007). Debido a su baja Densidad Energética (DE), un tanque de hidrógeno a presión ambiente, para almacenar la energía equivalente a un tanque de gasolina (con una DE de 6 kWh/L) requeriría más de 3000 veces su volumen; incluso con las mejoras tecnológicas solo se ha llegado a obtener una DE de 2.7 kWh/L (Gupta, 2008). En la tabla 4.1 se puede observar el volumen del hidrógeno en diferentes opciones de almacenamiento y compararse con el de la gasolina (Kukkone & Shelef, 1992).

Tabla 4.1 Comparación de opciones de almacenamiento de Hidrógeno a bordo; referencia 5 gal. de la gasolina, lo suficiente para que un vehículo conduzca una distancia de 300 millas.

| Combustible | Energía Total (MJ) | Peso de Combustible (Kg) | Peso del Tanque (Kg) | Peso Total del Sistema de Combustible (Kg) | Volumen (gal.) |
|--|--------------------|--------------------------|----------------------|--|----------------|
| 5 gal. de gasolina | 662 | 14 | 6.4 | 20.4 | 5 |
| Hidrógeno líquido (20 K) | 662 | 4.7 | 18.6 | 23.3 | 47 |
| 1.2 wt% H ₂ almacenado en híbrido de metales FeTi | 662 | 4.7 | 549.3 | 554 | 50 |
| Hidrógeno comprimido (207-690 bar) | 662 | 4.7 | 63.6-86.3 | 68.3-91 | 108-60 |

Fuente: Kukkone & Shelef (1992)

Las principales barreras tecnológicas de los VEB son las cortas distancias recorridas por cada ciclo de carga (Oscar et al., 2010) y el tamaño/peso de la batería; ya que estos resultan de 7-15% más pesados que un VC con Motor de Combustión Interna (MCI) y el tiempo que requiere el proceso de recarga, el cual debe realizarse cada 3 días considerando un recorrido aproximado de 27 millas/día (Hui-Kuan et al., 2013) y puede tomar de 3 a 12 horas dependiendo de la tecnología de la batería (Offer et al., 2010); generando un temor frecuente en los usuarios, de quedarse varados en algún sitio sin la posibilidad de recargar (Carley et al., 2013; Kurani et al., 1996).

En cuestiones económicas, cuando se compara el costo de la automoción con MCI, \$25-35/kW, expresado en USD, contra el de los sistemas de los VECC, se estima que estos duplican cinco veces la cifra (\$125-175/kW), incluso cuando se aplican técnicas de ahorro con la fabricación en grandes volúmenes (Gupta, 2008); en los VEB, se eleva aún más (\$500-750/kWh) por la logística de recarga y por el elevado costo de las baterías, siendo este un elemento determinante en su viabilidad económica (Pesaran et al., 2007); lo cual vuelve a estas últimas dos tecnologías, difícilmente competitivas (IEA, 2007; McKinsey, 2010; EPRI, 2005). El precio de un VEB es alrededor de un 70% superior al de un VC (Ford, 2013), pero se prevé que caiga significativamente para el 2020 (IEA, 2012).

En la sección anterior se expresaron las razones por las cuales los VEB y los VECC pueden ofrecer una importante oportunidad para la descarbonización (Streimikiene et al., 2013). Sin embargo, para una evaluación representativa de estas tecnologías es necesario totalizar las emisiones generadas durante todo su ciclo de vida y no solo los gases de escape (US Department of Energy, 2010); agregando en consideración, las emisiones del proceso de producción de los componentes del vehículo, desde la extracción de la materia prima hasta el descarte, y las emisiones del proceso de producción de energía; es en este último proceso donde se considera la producción del combustible o su equivalente (Hui-Kuan et al., 2013).

Desafortunadamente, para el caso de los VECC, cuyo combustible es el hidrógeno; este en su mayoría se encuentra en forma de agua (H_2O), y al no existir fuentes naturales de su forma molecular (H_2), requiere de energía para ser sintetizado, la cual actualmente proviene en un 96% de fuentes fósiles (Gupta, 2008). Mismo caso de los VEB, donde el 81% de la energía eléctrica que constituye su fuente de propulsión, proviene de fuentes

no renovables de acuerdo a datos globales del 2008 proporcionados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (2011a); siendo uno de los grandes retos para estas tecnologías el descarbonizar la producción de sus combustibles, lo cual requeriría una gran inversión en tecnología e infraestructura (Offer et al., 2010).

Los desafíos a los que se enfrentan los biocombustibles varían de una generación a otra, ya que estas difieren en el tipo de materia prima utilizada (Ganduglia, 2009). La principal barrera de los de primera generación es la posible competencia con la producción alimentaria, incluyendo precios y uso de suelo (Mohr & Raman, 2013). La segunda generación intentó solucionar este problema con el uso de residuos y cultivos no alimenticios, pero se enfrentó al alto costo del traslado y almacenamiento de la biomasa, comparado con su baja DE (Melero et al., 2012). La tercera y cuarta generación, con la introducción de transgénicos se enfrentan principalmente a la incertidumbre de las consecuencias ambientales (Castillo, 2009).

Adicionalmente existen otras barreras para los biocombustibles, independientemente de la generación a la que pertenezcan; como es, que algunas variedades de biocombustibles no ofrecen una ganancia neta de energía, esto es que se requiere más energía para producir los combustibles que la que proporcionan (UNEP, 2009). Otra de suma importancia es que en su mayoría, la producción de biocombustibles depende del uso de combustibles fósiles para la cosecha, la producción y la distribución (IPCC, 2011b).

Las barreras sociales abarcan las de tipo cultural, institucional y político; las primeras dependen del bagaje cultural arraigado en los individuos que influye en su toma de decisiones y su forma de resolver problemas (Vigar, 2000). Existe una tendencia general de percibir las estrategias conductuales para un TS, como fuertes limitantes de la libertad de movimiento (Poortinga et al., 2003) y de asociarlas con esfuerzo adicional o reducción de confort (Gardner & Stern, 1996). Las barreras político-institucionales son a veces más complejas porque requieren la coordinación entre diferentes entidades al considerar la legislación vigente, planes nacionales y compromisos internacionales (Ley, 2013).

Motivar a los usuarios a cambiar de las actuales tendencias de transporte a un sistema de TS es una labor complicada precisamente porque los beneficios resultantes son de naturaleza social más que individual (Buenstorf and Cordes, 2009); y además, en muchos

de los casos, los beneficios individuales empezarían a evidenciarse años después de realizar los cambios; y persuadir a los consumidores a que paguen costos inmediatos por beneficios a largo plazo, no es una tarea fácil (Krause et al., 2013).

4.6. Casos de estudio

Después de indagar y reflexionar sobre las ventajas y dificultades que entraña la aplicación de las diversas estrategias orientadas a la consecución de un sistema de TS, resulta de gran utilidad ejemplificar con experiencias reales los resultados de adoptar BPs. Por tal motivo, a continuación se describen brevemente diferentes casos, de comunidades en diversas partes del mundo en busca de sistemas de transporte que armonicen con el concepto de TS.

Las ciudades hindúes están abrumadas por la congestión vehicular y los costos asociados a todos los sectores de la sociedad como resultado del incremento de la motorización; la calidad del aire local se está deteriorando, lo que resulta en consecuencias graves para la salud y significativamente más altos índices de accidentes (MoEF, 2009). Ante esta situación, Paladugula & Rathi (2013) realizaron un análisis del impacto que generaría una organización específica con la aplicación de BPs, en la ciudad de Bangalore, basadas en las estrategias de reducción y alteración, para disminuir la demanda de viajes hacia los sitios de trabajo; en términos de kilómetros recorridos, uso de energía y emisiones de CO_2 .

Los resultados se muestran en la Tabla 4.2; donde la práctica 1 corresponde a trabajar desde casa un día al mes, la práctica 2 comprime la semana laboral de 5 a 4 días (incrementando las horas de trabajo por día) y la práctica 3 propone (con apoyo de una herramienta de información geográfica) 6 rutas a las cuales todos los empleados podrían adaptarse para implementar *carpooling*; cada una de las prácticas es comparada con la demanda actual de transporte y se incluyen también los impactos de combinar estas prácticas (Paladugula & Rathi, 2013). El estudio concluye que la combinación de estas BPs tiene el potencial de reducir sustancialmente la congestión vehicular, las emisiones de CO_2 y los problemas derivados de las mismas.

Tabla 4.2 Comparación de BPs.

| BP para administrar la demanda de viajes | No. de días laborales al año | km recorridos | Total de energía utilizada (L) | Total de emisiones (Ton. de CO ₂) | Reducción de km/energía/emisiones (%) |
|---|------------------------------|---------------|--------------------------------|---|---------------------------------------|
| Demanda actual de transporte | 231 | 120582 | 4740 | 11 | 0 |
| Práctica 1 (trabajar desde casa) | 219 | 114318 | 4683 | 10.4 | 5 |
| Práctica 2 (comprimir la semana laboral) | 183 | 95526 | 3913 | 8.7 | 26 |
| Práctica 3 (<i>carpooling/vanpooling</i>) | 231 | 90125 | 3692 | 8.2 | 33 |
| Práctica (1&3) | 219 | 85443 | 3500 | 7.8 | 41 |
| Práctica (2&3) | 183 | 71397 | 2924 | 6.5 | 69 |

Fuente: Paladugula & Rathi (2013b)

Otro caso que expone los beneficios de la implementación de BPs para un TS, es el análisis costo-beneficio realizado por Saelensminde (2004), de la implementación de vías para peatones y ciclistas en tres ciudades Noruegas (Hokksund, Hamar y Trondheim), tomando en cuenta la inseguridad, los efectos de salud y otros costos externos del transporte motorizado; la Tabla 4.3 muestra los beneficios y costos de la inversión requerida para este proyecto. Se estima que con el desarrollo de estas vías, se inducirá en un 20% a realizar viajes andando y en bicicleta (considerando solo los viajes que no se hubiesen realizado en caso de no existir dichas vías y no los viajes que se realizan actualmente usando otros medio de transporte) y un 15% de los viajes con trayectos menores a 5 kilómetros, realizados actualmente en automóvil o transporte público, serán reemplazados por viajes en bicicleta o andando (Lodden, 2002).

Tabla 4.3 Costos y beneficios (basados en la mejor estimación de futuro tráfico de peatones y ciclistas) de la inversión en vías para andar y bicicleta en las ciudades de Hokksund, Hamar y Trondheim.

| Beneficios y componente de costos | Hokksund | Hamar | Trondheim |
|--|----------|-------|-----------|
| Beneficio de las vías para andar y bicicleta (valor actual) | | | |
| Accidentes (asumiendo que no hay cambios) | 0 | 0 | 0 |
| Tiempo de viaje (asumiendo que no hay cambios) | 0 | 0 | 0 |
| Reducción de inseguridad para los actuales peatones | 0.588 | 0.378 | 15.064 |
| Reducción de inseguridad para los actuales ciclistas | 1.33 | 0.854 | 55.748 |
| Reducción de inseguridad para los nuevos futuros peatones | 0.07 | 0.056 | 1.918 |

| | | | |
|--|---------------|---------------|----------------|
| Reducción de inseguridad para los nuevos futuros ciclistas | 0.49 | 0.322 | 14.098 |
| Reducción de costos de transporte escolar infantil | 0.364 | 0.154 | 0.504 |
| Reducción de costos relacionados con enfermedades y dolencias leves, y absentismo breve. | 2.338 | 4.956 | 37.688 |
| Reducción de costos relacionados con enfermedades y dolencias graves | 13.678 | 28.924 | 220.136 |
| Reducción de costos externos relacionados con el transporte motorizado | 1.316 | 2.8 | 17.416 |
| Reducción de costos de aparcamiento para empleados | 1.33 | 4.844 | 60.676 |
| BENEFICIO TOTAL | 21.504 | 43.288 | 423.248 |
| Costos de las vías para andar y bicicleta (valor actual) | | | |
| Costos de capital | 3.304 | 2.212 | 84 |
| Costos de mantenimiento | 0.224 | 0.14 | 5.53 |
| Impuestos, 20% de los costos de presupuesto | 0.7 | 0.476 | 17.906 |
| COSTOS TOTALES | 4.228 | 2.828 | 107.436 |
| Beneficio neto/razón de costo | 4.09 | 14.34 | 2.94 |

Unidad: millones de USD

Fuente: adaptada de Saelensminde (2004b)

En Hidaka, una pequeña ciudad de Japón, en búsqueda de una buena práctica basada en la estrategia de alteración, se aplicaron encuestas para conocer las razones por las cuales los usuarios rechazan el autobús; éstas arrojaron el número de unidades y los tiempos de operación como las causas principales (Santoso et al., 2012); el incrementar el número de autobuses haría el servicio más frecuente, otros estudios (Currie & Wallis, 2008; Eriksson et al., 2008; Tyrinopoulos & Antoniou, 2008; Kingham et al., 2001) concuerdan con esta propuesta; pero dado que ello requería una fuerte y arriesgada inversión inicial, se optó por mejorar la puntualidad y los tiempos de transferencia, lo cual no representaba un costo adicional y se identificó como un factor crucial (Cools et al., 2009; Beirao & Cabral, 2007).

El tiempo de transferencia fue ajustado a 5 minutos aproximadamente en horas pico y alrededor de 10 minutos en horas de menor afluencia, comparado con los más de 15 minutos que requería anteriormente esta misma actividad, y adicionalmente se inauguró un aparcamiento para bicicletas en la estación para facilitar los trayectos de algunos usuarios cuyos hogares están alejados; los resultados mostraron que se puede esperar

un incremento de hasta un 14% de los usuarios del autobús, de los cuales, la mayoría utilizaba anteriormente un vehículo motorizado (Santoso et al., 2012).

En otro caso, la Universidad de Carolina del Norte, realizó un análisis económico-ambiental para medir la asequibilidad de los VEB como una opción de TS. Aunque los costos económico-ambientales de las emisiones del proceso de producción en conjunto con los gases de escape de los VEB estén muy por debajo de los de un VC (Tabla 4.4), al considerar las emisiones de producción de la fuente de energía (energía eléctrica para el VEB y gasolina para el VC), estas pueden representar más del 50% del costo total de las emisiones para los VEB, dependiendo del método de generación de energía eléctrica para recargar la batería; la Tabla 4.5 muestra 3 posibles escenarios (siendo el pesimista el que utiliza métodos más contaminantes y el optimista el que utiliza métodos más limpios); obteniendo como resultado que los costos de las emisiones (efectos de salud e impacto ambiental, expresados en USD) de los VEB contra las de los VC, son generalmente 22-27% más bajos (optimista), 2-20% más altos (modesto) y 28-59% más altos (pesimista); en tanto que para el usuario, con los créditos fiscales que ofrece el gobierno de Estados Unidos, el costo de la vida de un VEB no debería suponer más del 5% del costo de un VC (Hui-Kuan et al., 2013).

Tabla 4.4 Costo de las emisiones del ciclo de vida por vehículo, considerando el proceso de producción del vehículo y los gases de escape (2012 USD).

| Vehículo | CO | NOx | PM10 | PM2.5 | SOx | COV | GEI | Total |
|-------------|-------------|------------|------------|--------------|--------------|-------------|---------------|----------------|
| VC* | 166 (6%) | 41 (2%) | 64 (2%) | 165 (6%) | 331 (12%) | 118 (4%) | 1811 (67%) | 2696 (100%) |
| VEB* | 11 (1%) | 32 (2%) | 85 (6%) | 212 (15%) | 603 (42%) | 83 (6%) | 419 (29%) | 1445 (100%) |

* Los números dentro del paréntesis son los porcentajes de emisión individual relativa al costo total de las emisiones.

Fuente: adaptada de Hui-Kuan et al. (2013b)

Tabla 4.5 Costo de las emisiones del ciclo de vida por vehículo, considerando el proceso de producción del vehículo, los gases de escape y la producción de la fuente de energía (2012 USD).

| Vehículo | Optimista | Moderado | Pesimista | Fuente de energía (moderado), % |
|------------|-----------|----------|-----------|---------------------------------|
| VC | 2896 | 3096 | 3296 | 13 |
| VEB | 2160 | 3716 | 5273 | 61 |

Fuente: adaptada de Hui-Kuan et al. (2013c)

En cuanto a biocombustibles se refiere, un caso que ejemplifica el éxito del uso de la biomasa en fase residual, es el sistema de producción de biogás en la ciudad de Linköping, Suecia; que por medio de 2 plantas de ciclo combinado (calor y energía) brinda movilidad al 100% de su transporte público (autobuses y camiones recolectores de basura), con una generación en conjunto de 77 GWh/año y una pequeña entrada externa de hasta 1.3 GWh/año (de gas natural) para cubrir los picos de la demanda durante el invierno; la producción de biogás está basada en residuos de: la industria alimenticia, la agricultura, los rastros, plantas tratadoras de agua y algunas granjas locales (Amiri et al., 2013).

A lo largo de esta sección se han discutido tendencias, estrategias y BPs acerca de la necesidad de incorporar los principios de sustentabilidad a los sistemas de transporte, dado que en la actualidad este sector es generador de fuertes impactos ambientales, económicos y sociales; estableciendo una base conceptual sólida sobre el estado del arte de un TS ante la imperiosa necesidad de integrar esos principios en los sistemas de transporte regionales y locales.

V. METODOLOGÍA

5.1. Tipo de estudio

El estudio es de tipo mixto, de naturaleza cualitativa y cuantitativa. Cualitativa por incluir el análisis descriptivo de los patrones de movilidad de las poblaciones, los factores que influyen en la toma de decisiones de modos de viaje de las personas, y cuantitativa por contener información estadística de las condiciones técnicas, ambientales, sociales económicas y climático-geográficas de los casos de estudio para su posterior comparación con las del objeto de estudio.

5.2. Diseño metodológico

El diseño del estudio es de tipo transeccional descriptivo, ya que las BPs se observaron en un periodo de tiempo actual y se describieron sus elementos o tecnologías en su ambiente natural, es decir, sin una manipulación deliberada.

5.3. Alcance

El alcance de este proyecto es la obtención de un modelo de TUS para la URC, al término de un periodo de dos años, en julio del 2015.

5.4. Preguntas de investigación

¿Qué elementos debe contener un sistema de transporte universitario para ser considerado sustentable?

¿Un sistema de transporte universitario, potencialmente previene, elimina y/o reduce los impactos negativos a la salud y al ambiente contribuyendo con ello a la movilidad sustentable de la comunidad universitaria?

5.5. Objeto de estudio

Elementos para un sistema de transporte universitario sustentable.

5.6. Selección del objeto de estudio

En base a los criterios descritos en la sección 5.7 se seleccionó un conjunto de experiencias alrededor del mundo en relación a BPs de TS, las cuales fueron examinadas *in situ* y posteriormente se evaluó la factibilidad de su réplica en la URC.

5.7. Selección y tamaño de la muestra

El muestreo fue por conveniencia, ya que la muestra estuvo conformada por todas las experiencias o BPs seleccionadas por su utilidad para el estudio, lo cual se determinó bajo los siguientes criterios:

1. Recomendación de un experto
2. Identificación en la literatura
3. Sospecha del investigador
4. Factibilidad de examinación
5. Viabilidad de examinación

Cada uno de los criterios 1,2 y 3 otorga un fundamento para considerar de interés la examinación *in situ* de una BP, pero los criterios 4 y 5 determinaron que la examinación se llevara a cabo. Bastaba con que solo uno de los tres primeros criterios se cumpliera para que una BP pudiera ser seleccionada, bajo el entendido de que era preferible que se cumplieran todos ellos. En cambio el cumplimiento de los criterios 4 y 5 fue indispensable porque sin importar el grado de interés que posea una BP, si no es factible y viable, no es posible realizar la examinación.

5.8. Instrumentos de recolección y manejo de datos

Una vez que una BP fue seleccionada se procedió a su examinación. El método para obtener la información difirió de una BP a otra; dependiendo de su tipología, las de reducción y alteración requirieron mayor observación y reconocimiento del sitio, ya que estas en su mayoría forman parte de la infraestructura urbana; mientras que las de eficiencia precisaron más de visitas guiadas y entrevistas con los profesionales del área, por su naturaleza industrial y tecnológica. También las facilidades de acceso para

entrevistar a los expertos variaron de una BP a otra; en los casos en que este método no fue posible, se buscaron otros medios de acceso a la información, como correo electrónico y solicitud de información documentada.

En el proceso de obtención de datos en campo, incluyendo fotografías como un instrumento importante de documentación, el registro y manejo de la información se hizo utilizando el programa *Microsoft Excel*, donde se caracterizó y describió cada una de las BPs, identificando el tipo de estrategia a la que corresponde, sus elementos o tecnologías componentes, y a su vez, las acciones que se llevan a cabo en cada una de ellas, las cuales fueron segregadas por tipo en las categorías: infraestructura, administración y educación.

Debido a que cada lugar en el mundo opera bajo diferentes condiciones financieras, sociales y ambientales, no existe una tecnología o práctica en TS que sea una buena opción para todos; por tal motivo, a la hora de hacer una selección hay un conjunto de factores que son los que más influyen para tomar una decisión. Los más recurrentes son los 14 criterios descritos en la tabla 5.1, mismos que han sido utilizados por diversas autoridades públicas de la Unión Europea en la evaluación opciones en tecnologías y combustibles alternativos para el transporte (CLEAN FLEETS, 2014).

Los criterios fueron clasificados bajo los cinco rubros de factibilidad a evaluar; técnica, ambiental, social, económica y climática/geográfica; donde a cada uno de ellos se le asignó la misma proporción de importancia (20%) y cada uno de los criterios componentes reciben una fracción equitativa de ese porcentaje, basado en el método EWA (Equal Weight Aggregation) de ponderación equitativa de las variables, que de acuerdo a la opinión de los diseñadores de índices de sustentabilidad, es la forma más transparente de combinar la información de las tres dimensiones en una sola medida, y ha sido ampliamente utilizado en el desarrollo de varios índices de agregación conocidos (Dobranskyte-Niskota et al., 2009).

Los datos cualitativos y cuantitativos obtenidos en campo, concernientes a cada uno de estos criterios, fueron la base para inferir una ponderación cualitativa, utilizando la escala ordinal: *altamente favorable*, *moderadamente favorable* o *desfavorable*; a la cual, con la finalidad de obtener un resultado numérico, se ligaron los factores 1, 0.5 y 0

respectivamente (tabla 5.2). Posteriormente se multiplicó el factor obtenido por el porcentaje de peso de cada criterio, para de esta forma obtener un porcentaje general de factibilidad de réplica de cada uno de los elementos de las BPs. Los resultados también se presentaron utilizando gráficos.

Tabla 5.1. Criterios para la evaluación de factibilidad de réplica y sus porcentajes de peso.

| Criterios de factibilidad | | | Peso | | |
|---------------------------|-----|---------------------------------------|-------|-----|------|
| Técnica | C1 | Diseño | 10% | 20% | 100% |
| | C2 | Insumos | 10% | | |
| Ambiental | C3 | Emisiones de CO_2eq , NO_x y/o PM | 20% | 20% | |
| Social | C4 | Confiabilidad | 2,86% | 20% | |
| | C5 | Seguridad | 2,86% | | |
| | C6 | Comodidad | 2,86% | | |
| | C7 | Accesibilidad | 2,86% | | |
| | C8 | Asequibilidad | 2,86% | | |
| | C9 | Capacidad | 2,86% | | |
| Económica | C10 | Demanda | 2,86% | 20% | |
| | C11 | Costos | 10% | | |
| Climática/ geográfica | C12 | Subsidios y/o incentivos | 10% | 20% | |
| | C13 | Topografía | 10% | | |
| | C14 | Clima | 10% | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.2. Escala de ponderación cualitativa ligada a valores numéricos.

| Ponderación | Factor |
|-------------------------|--------|
| Altamente favorable | 1 |
| Moderadamente favorable | 0.5 |
| Desfavorable | 0 |

Fuente: Elaboración propia

VI. RESULTADOS

6.1. Modelo de Transporte Universitario Sustentable (TUS)

En base a todas las BPs identificadas en la literatura y principalmente las BPs que fueron examinadas en su sitio, se generó un esquema que propone una gama de opciones que atienden las diversas estrategias para la obtención de un TS, en base al cual realizó una evaluación de la factibilidad de réplica para cada una de las BPs en la URC para generar un modelo de TUS específico para esta institución; no obstante, este esquema ofrece una base de evaluación que pudiera ser aplicada en cualquier campus para obtener un TUS adaptado a su contexto particular, es decir, adecuado a sus condiciones y necesidades.

El esquema (Figura 6.1) presenta las BPs clasificadas por estrategia y organizadas en niveles, donde el primero incluye todas las BPs que fueron identificadas en la literatura, el segundo nivel todas las que fueron examinadas *in situ*, y por último un tercer nivel, resultado de una evaluación de los dos niveles anteriores, donde se ubican las BPs que se han distinguido por tener una mayor factibilidad de réplica en la URC.

Se puede distinguir en la figura 6.1, como dos BPs identificadas en la literatura no fueron examinadas *in situ*, sin embargo, una de ellas fue propuesta para su réplica en la URC. Únicamente una BP que se examinó y se propuso, no fue identificada en la literatura. Tres BPs identificadas y examinadas no fueron propuestas tras la evaluación, y cuatro BPs pasaron por los tres niveles al ser identificadas, examinadas y propuestas.

| | | NIVEL 1: IDENTIFICADAS EN LA LITERATURA | NIVEL 2: EXAMINADAS IN SITU | NIVEL 3: CON MAYOR FACTIBILIDAD DE RÉPLICA PARA LA URC | |
|------------|------------------------|---|--|--|--|
| ESTRATEGIA | REDUCCIÓN | BP1: REDES CICLOVIARIAS Y PEATONALES | INFRAESTRUCTURA PEATONAL | INFRAESTRUCTURA PEATONAL | INFRAESTRUCTURA PEATONAL |
| | | | INFRAESTRUCTURA CICLOVIARIA | INFRAESTRUCTURA CICLOVIARIA | INFRAESTRUCTURA CICLOVIARIA |
| | | BP2: AUTOMÓVIL COMPARTIDO | AUTOMÓVIL COMPARTIDO (CARSHARING) | AUTOMÓVIL COMPARTIDO (CARSHARING) | |
| | | BP3: SISTEMA DE ASCENSO Y DESCENSO DE ESTUDIANTES EN LAS ESCUELAS | | AGILIZACIÓN DE ASCENSO Y DESCENSO DE ESTUDIANTES | AGILIZACIÓN DE ASCENSO Y DESCENSO DE ESTUDIANTES |
| | ALTERACIÓN | BP4: AUTOBUSES DE TRÁNSITO RÁPIDO | AUTOBÚSES DE TRÁNSITO RÁPIDO | AUTOBÚSES DE TRÁNSITO RÁPIDO | AUTOBÚSES DE TRÁNSITO RÁPIDO |
| | | BP5: SISTEMAS FÉRREOS | SISTEMAS FÉRREOS (METRO, TRENES Y TRANVÍAS) | | |
| | | BP6: VIAJES COMPARTIDOS | VIAJES COMPARTIDOS (CARPOOLING) | | VIAJES COMPARTIDOS (CARPOOLING) |
| | EFICIENCIA | BP7: AUTOBUSES CON TECNOLOGÍAS Y/O COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS | VEHÍCULO MOTOR BODIESEL | VEHÍCULO MOTOR BODIESEL | VEHÍCULO MOTOR BODIESEL |
| | | | VEHÍCULO MOTOR BIOETANOL | VEHÍCULO MOTOR BIOETANOL | |
| | | | VEHÍCULO MOTOR BIOGÁS | VEHÍCULO MOTOR BIOGÁS | |
| | | | VEHÍCULO MOTOR TOTALMENTE ELÉCTRICO | VEHÍCULO MOTOR TOTALMENTE ELÉCTRICO | |
| | | | VEHÍCULO MOTOR CELDAS DE COMBUSTIBLE (HIDRÓGENO) | VEHÍCULO MOTOR CELDAS DE COMBUSTIBLE (HIDRÓGENO) | |
| | | | VEHÍCULO ELÉCTRICO-DIESEL | VEHÍCULO ELÉCTRICO-DIESEL | |
| | | | VEHÍCULO ELÉCTRICO-GNC | VEHÍCULO ELÉCTRICO-GNC | |
| | | | TROLEBÚS | | |
| | | BP8: ELABORACIÓN DE BODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL USADO | PRODUCCIÓN Y USO DE BODIESEL | PRODUCCIÓN Y USO DE BODIESEL | PRODUCCIÓN Y USO DE BODIESEL |
| | | BP9: BIOETANOL COMO COMBUSTIBLE | PRODUCCIÓN Y USO DE BIOETANOL | PRODUCCIÓN Y USO DE BIOETANOL | |
| | | BP10: ELECTROMOVILIDAD | PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS | PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS | |
| | TOTAL DE BPs POR NIVEL | | 9 BPs | 8 BPs | 6 BPs |

Figura 6.1 Esquema base de BPs con modelo de TUS para la URC.

Fuente: Elaboración propia

6.1.1 Selección de las BPs para examinación

El proceso de selección de las BPs a examinar se registró en la tabla 6.1, donde las ocho BPs propuestas fueron seleccionadas para su examinación *in situ* de acuerdo a los criterios establecidos en la sección 5.7. El uso de redes ciclovias y peatonales fue examinado en Brasil, en las ciudades de Sorocaba, Curitiba, San Pablo y Río de Janeiro; en Alemania se examinó en las ciudades de Berlín y Friburgo; en tanto que en los Países Bajos la examinación se llevó a cabo en la ciudad de Ámsterdam. El sistema de autobús de tránsito rápido (BRT) se examinó en la ciudad que fue la cuna de esta práctica, Curitiba, Brasil. En San Pablo, Brasil, fue examinado en el colegio Pioneiros, el sistema de agilización de ascenso y descenso de estudiantes, utilizado comúnmente en otras instituciones de educación básica, media y media superior de esta ciudad. En la ciudad de Sorocaba, Brasil, se examinó la elaboración de biodiesel a partir de aceite vegetal previamente usado, en un proyecto de una usina móvil con producción a pequeña escala; mientras que en San Pablo, Brasil se examinó la producción y uso de bioetanol como combustible a gran escala, por ser una práctica que se aborda en todo el país. Dresden y Friburgo en Alemania, y Barcelona en España, fueron las ciudades donde se examinó la práctica de automóvil compartido o *carsharing*. Estocolmo y Linköping en Suecia, Barcelona en España y la ciudad de Ámsterdam en los Países Bajos, fueron los sitios seleccionados para la examinación de autobuses con el uso de diversas tecnologías y/o combustibles alternativos. Por último Ámsterdam, Países Bajos, fue la ciudad selecta para examinar la práctica de la electromovilidad, abarcando no solo los vehículos sino incluyendo la infraestructura y sus sistemas de recarga en conjunto.

Tabla 6.1. Selección de BPs para su examinación.

| BP | | Criterios de selección para examen | | | | |
|--|---|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------|--------|
| Descripción | Ubicación | Recomendación de un experto | Identificación en la literatura | Sospecha del investigador | Factible | Viable |
| Redes cicloviarias y peatonales | Sorocaba, Curitiba, San Pablo, Río de Janeiro, Berlín, Friburgo y Ámsterdam | x | x | x | x | x |
| Autobuses de tránsito rápido | Curitiba | x | x | x | x | x |
| Sistema de ascenso y descenso de estudiantes en las escuelas | San Pablo | x | | x | x | x |
| Elaboración de biodiesel a partir de aceite vegetal usado | Sorocaba | x | x | x | x | x |
| Bioetanol como combustible | San Pablo | x | x | x | x | x |
| Automóvil compartido | Dresden, Friburgo y Barcelona | x | x | x | x | x |
| Autobuses con tecnologías y/o combustibles alternativos | Barcelona, Ámsterdam, Estocolmo y Linköping | x | x | x | x | x |
| Electromovilidad | Ámsterdam | x | x | x | x | x |

Fuente: Elaboración propia

6.1.2. Caracterización de las BPs examinadas

Se identificó el tipo de estrategia a la que corresponde cada una de las BPs (reducción, alteración o eficiencia), sus elementos o tecnologías componentes, y a su vez, las acciones que se llevan a cabo en cada una de ellas, las cuales fueron segregadas por tipo en las categorías: infraestructura, administración y educación.

a) BPs de reducción

Los componentes de las BPs que corresponden a la estrategia de reducción están concentrados en la tabla 6.2. La descripción de las acciones de reducción se encuentran contenidas en el ANEXO A.

Tabla 6.2. Caracterización de las BPs de la estrategia de reducción.

| Buena práctica | Tecnologías/ elementos | Acciones | |
|----------------------------------|--|--|---|
| Redes cicloviarias y peatonales. | Sistemas de bicicletas compartidas, ciclosendas, sendas y zonas peatonales, estacionamientos para bicicletas | Administración | Políticas de movilidad que favorezcan a los medios no motorizados |
| | | | Vigilancia de la seguridad de pedestres y ciclistas. |
| | | Educación | Programas de capacitación: percepción de riesgos y reglamento de tránsito |
| | | | Programas de motivación al uso de la bicicleta |
| | | Infraestructura | Sistemas de bicicletas compartidas |
| | | | Infraestructura pedestre adecuada |
| | | | Conexiones entre las ciclovias urbanas y las de los campus universitarios |
| | | | Buena conexión de las ciclovias con otros medios de transporte, especialmente con el transporte colectivo |
| | | | Sistemas de aparcamiento de bicicletas |
| | | | Zonas de tráfico lento |
| Administración | Desfasar horarios de salida entre los estudiantes para reducir el congestionamiento vehicular | | |
| | Personal de apoyo para agilizar el proceso de ascenso y descenso | | |
| | Infraestructura | Carril exclusivo de ascenso y descenso | |
| Automóvil compartido | Sistema de automóvil compartido | Administración | Plataforma virtual de gestión de vehículos |
| | | Educación | Publicidad de los beneficios y promoción del uso del sistema |
| | | Infraestructura | Oficinas matriz de alquiler de vehículos |
| | | | Puntos exclusivos de obtención y entrega de vehículos, distribuidos por la ciudad |
| | | | Centros de mantenimiento de vehículos |
| | | Vehículos equipados con TI | |

Fuente: Elaboración propia

El sistema de redes cicloviarias y peatonales incluye toda la infraestructura cicloviaria (ciclovías, ciclobandas, vías compartidas, cicloviías operacionales, estacionamientos para bicicletas, sistemas de bicicletas compartidas, señalamiento y algunas otras instalaciones para el uso y beneficio de los ciclistas), así como la infraestructura pedestre (aceras, senderos, etc.), las cuales se complementan mutuamente de forma muy importante y deben estar estratégicamente conectadas para su buen funcionamiento, además de cumplir con una serie de características que influyen en un mayor número de usuarios (Asfar et al., 2015). El sistema también incluye la implementación de algunas cuestiones administrativas y, programas de capacitación y motivación encaminados a incrementar el uso y la calidad del sistema.

El sistema de agilización de ascenso y descenso de estudiantes es utilizado en el Instituto Pioneros, en la ciudad de San Pablo y en otras instituciones de educación básica, media y media superior de esta ciudad para evitar problemas de tráfico como congestionamientos, embotellamientos, accidentes y ganar tiempo para que los estudiantes no lleguen tarde a sus clases por este motivo (Clean Air Carolina, 2015). Como beneficio adicional, es posible una reducción en las emisiones al tener una menor cantidad de automóviles detenidos por periodos de tiempo más largos, con los motores encendidos.

El sistema de automóvil compartido o *carsharing* consiste en el uso de una flota colectiva de vehículos, utilizados por múltiples usuarios, pero de forma individual. El automóvil compartido otorga un ahorro al usuario en diversos costos respecto al vehículo privado propio, como los que corresponden a combustible, seguro y mantenimiento; resultando económicamente conveniente, siempre que no se haga un uso intensivo (ZIPCAR, 2015). Este sistema pretende reducir el número de vehículos en circulación y con ello la emisión de gases contaminantes, el consumo de recursos, las tasas de accidentalidad y los problemas de aparcamiento. El *carsharing* también fomenta la alteración de medios de transporte al combinarse favorable y convenientemente con el transporte público.

b) BPs de alteración

Los componentes de las BPs que corresponde a la estrategia de alteración están concentrados en la tabla 6.3. La descripción de las acciones de alteración se encuentran contenidas en el ANEXO B.

Tabla 6.3. Caracterización de la BPs de la estrategia de alteración.

| Buena práctica | Tecnologías/ elementos | Acciones | |
|----------------------------|---|-----------------|---|
| Autobús de tránsito rápido | Sistema de autobuses de tránsito rápido | Administración | Vigilancia de la seguridad de los usuarios de transporte colectivo |
| | | | Elevación de costos de aparcamiento para desincentivar el uso de automóvil |
| | | Educación | Programas de motivación al uso de transporte colectivo |
| | | Infraestructura | Infraestructura pedestre adecuada |
| | | | Buena conexión de las estaciones de transporte colectivo con la infraestructura pedestre y ciclovitaria |
| | | | Cumplir con ciertas especificaciones de diseño tanto en el vehículo como en las estaciones |

Fuente: Elaboración propia

Nacido justamente en la ciudad de Curitiba y operando desde 1974 hasta el día de hoy, el BRT es un sistema de transporte masivo, mejor conocido como BRT por sus siglas en inglés (*bus rapid transit*), que funciona sobre ruedas como el resto de los autobuses, pero se distingue por ciertas características especiales en su diseño; tanto en las unidades, las estaciones y el modo de operar; que le permiten ofrecer un servicio de alta calidad; dada por altas frecuencias, altas velocidades, alta capacidad, confort y costo-efectividad (Nikitas & Karlsson, 2015).

c) BPs de eficiencia

Los componentes de las BPs que corresponden a la estrategia de eficiencia están concentrados en la tabla 6.4. La descripción de las acciones de eficiencia se encuentran contenidas en el ANEXO C.

Tabla 6.4. Caracterización de las BPs de la estrategia de eficiencia.

| Buena práctica | Tecnologías/ elementos | Acciones | |
|---|---|-----------------|--|
| Elaboración de biodiesel a partir de aceite vegetal usado | Producción y uso de biodiesel | Administración | Puntos estratégicos de recolección |
| | | | Conexiones con la industria |
| | | | Cooperativa de recolección |
| | | Educación | Programa educacional (proceso de elaboración de biodiesel) y motivacional para la participación de la comunidad |
| Infraestructura | planta de producción móvil para facilitar la difusión del programa a la comunidad, llevándola a distintos puntos de la ciudad | | |
| | Suministro de energía autosuficiente: celdas fotovoltaicas y generador de energía a base de biodiesel para el funcionamiento de la planta de producción | | |
| Bioetanol como combustible | Producción y uso de bioetanol | Administración | Normas brasileñas asociadas a los procesos productivo de etanol |
| | | Educación | campañas de publicidad para informar el impacto positivo del uso de bioetanol e inducir su elección como combustible |
| | | Infraestructura | Plantas de producción de bioetanol |
| | | | Recursos agrícolas (plantación de caña de azúcar) Instalaciones y equipo de suministro de combustible |
| Autobuses con tecnologías y/o combustibles alternativos | Híbridos eléctrico-GNC/Diesel, Gas Natural Comprimido (GNC), Eléctricos, Hidrógeno, Biometano, Bioetanol, Biodiesel, Trolebuses | Administración | Medidas de seguridad especiales |
| | | Educación | Publicidad de los beneficios del sistema |
| | | Infraestructura | Vehículos (autobuses) modificados |
| | | | Estaciones de suministro de combustible Sistema de producción de combustible |
| Electromovilidad | Puntos de recarga para vehículos eléctricos | Administración | Subsidios para la adquisición de vehículos eléctricos |
| | | | Permiso gubernamental de recarga |
| | | | Proveedores particulares de puntos de recarga |

| | | | |
|--|--|-----------------|--|
| | | | Facilidades de aparcamiento para vehículos eléctricos |
| | | Educación | Publicidad de los beneficios del sistema |
| | | Infraestructura | Puntos de recarga |
| | | | Estacionamientos <i>Park & Ride</i> para alternar el automóvil con el transporte colectivo |

Fuente: Elaboración propia

El uso de biodiesel como combustible reduce las emisiones contaminantes en comparación con los combustibles fósiles, y si además, este es elaborado a partir de aceite vegetal (de cocina) usado, se obtiene un doble beneficio al evitar el complejo tratamiento que es necesario realizar a los aceites para ser descartados sin que contaminen el medio ambiente (Farooq et al., 2015; Glithero et al., 2013; Larsen et al., 2013). Por tal motivo la prefectura de Sorocaba en San Pablo, en conjunto con la Universidad de Sorocaba, han lanzado un proyecto para la producción de biodiesel en una usina móvil que trae beneficios a ambas partes, así como a la comunidad entera. Este proyecto además de generar biodiesel, es base de investigación científica para diferentes usos del subproducto glicerina, difunde educación ambiental a la población y reduce costos en las plantas tratadoras de agua de la prefectura.

La producción y uso de bioetanol en Brasil constituye uno de los programas más importantes a nivel mundial de combustible comercial renovable (AGMRC, 2009). El creciente interés en el uso de etanol como fuente de energía proviene de la necesidad de reemplazar (al menos en parte) los combustibles fósiles y de reducir las emisiones contaminantes; y su producción en territorio brasileño a base de caña de azúcar ha resultado económicamente viable y con un significativo potencial de expansión (SUGAR CANE, 2015).

Los autobuses son los vehículos responsables de un gran porcentaje de la movilización de las personas diariamente, y son también altos consumidores de combustibles fósiles, principalmente diesel. Sin embargo, actualmente está disponible una amplia gama de combustibles y tecnologías alternativas en diferentes niveles de madurez técnica y de mercado para estos vehículos (APTA, 2013; TMB, 2012b).

La moción de vehículos por medio de energía eléctrica o mejor conocida como electromovilidad, está adquiriendo cada vez más importancia en las agendas políticas de todo el mundo, por ser considerada una forma eficaz de reducir las emisiones contaminantes producidas por el transporte (EUROPEAN COMMISSION, 2012). Debido a que en la actualidad la variedad de vehículos eléctricos viene determinada por la capacidad de acumulación de la batería, la infraestructura de recarga provista es un elemento clave para el éxito de la electromovilidad. *Ámsterdam elektrisch* (Ámsterdam eléctrica), es una iniciativa del ayuntamiento de la ciudad de Ámsterdam para mejorar la calidad del aire urbano, brindando facilidades a los ciudadanos para alentar el uso de esta tecnología (Gemeente Ámsterdam, 2015).

6.2. Análisis de los patrones de movilidad de la comunidad estudiantil de la URC

En el periodo marzo-abril 2014 se aplicó una encuesta en la URC que permitió conocer las perspectivas sociales de movilidad, identificar los patrones y preferencias de los estudiantes en los desplazamientos desde sus hogares hacia el campus universitario y viceversa (Coronado, 2014; Moreno, 2014). En los resultados obtenidos destacan algunas aseveraciones que son datos clave a considerar para la evaluación de factibilidad social de las tecnologías/elementos del TUS en la URC y para identificar oportunidades potenciales de mejoras de movilidad.

Los resultados indican que 93.68% de los desplazamientos realizados por los estudiantes se realizan en medios de transporte motorizados, de los cuales el 51.07% se realizan en transporte público y 42.61% en automóvil, dejando solo un pequeño 6.32% correspondiente a desplazamientos en medios no motorizados, a los que corresponden un 5.81% a desplazamientos caminando y 0.5% en bicicleta (Figura 6.2).

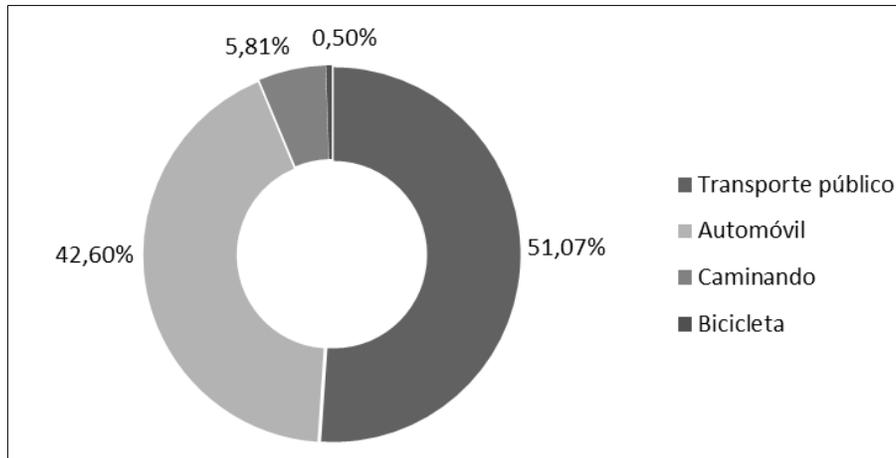


Figura 6.2 Modos de desplazamiento de los estudiantes de la URC.

Fuente: Elaboración propia

6.2.1 Desplazamientos en transporte público (autobús)

El 62.82% de los estudiantes que se desplazan en transporte público declararon que su principal razón para hacerlo es que no tienen otra opción, mientras que otros encuentran algunos atributos; el 40.39% de los estudiantes indica como razón principal un precio accesible y el 22.74% que las rutas se adecuan a sus necesidades; sin embargo, tanto los usuarios como los reacios declaran que el transporte público presenta algunas deficiencias en su servicio, destacando entre las principales que el tiempo de espera de la unidad y del recorrido son muy extensos, que no siempre hace la parada cuando se le solicita y que las condiciones de confort de las unidades son muy pobres; casi el 90% de los estudiantes declaró que estaría dispuesto a pagar un monto mayor al que paga actualmente para obtener calidad en el servicio (Figura 6.3).

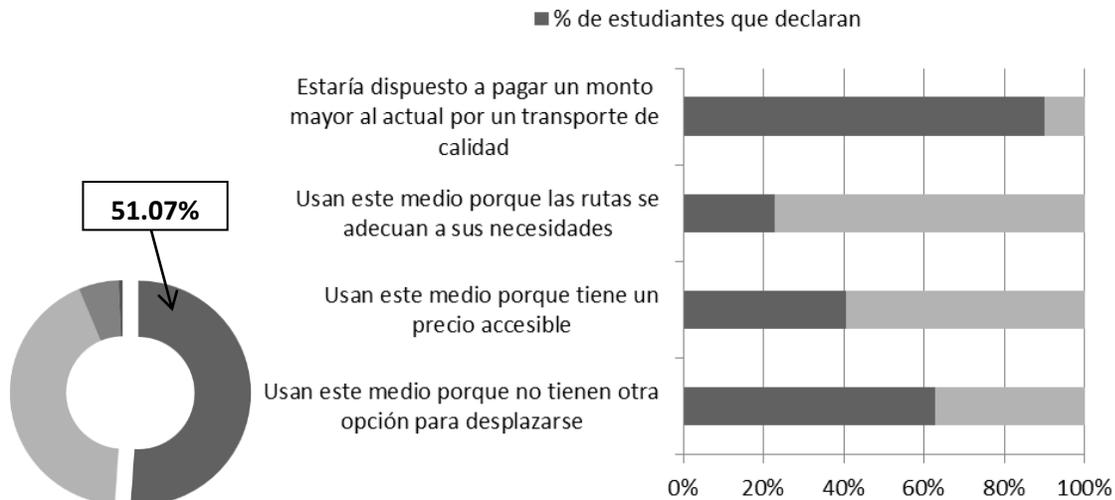


Figura 6.3 Declaraciones de los usuarios de transporte público de la URC.

Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Desplazamientos en automóvil

Las figuras 6.4 y 6.5 muestran algunos resultados de los estudiantes encuestados acerca de sus preferencias en relación al uso del automóvil; se observa que el 60.35% de los estudiantes que optan por usar el automóvil como medio para desplazarse afirman que su preferencia está basada principalmente en la rapidez en la que pueden realizar el recorrido de sus hogares al campus, el 47.74% en la flexibilidad de horario y el 35.58% en la disposición que poseen del vehículo; la comodidad y la seguridad también son reconocidos y apreciados como factores que el automóvil brinda sobre otros medios de transporte. El 12.16% de los usuarios de automóvil recorren una distancia menor a 3 km para desplazarse de sus hogares a la universidad, y el 45.5% recorre una distancia entre 3 y 6km. Actualmente el 69.82% de los vehículos que ingresan al campus están ocupados por menos de 3 personas.

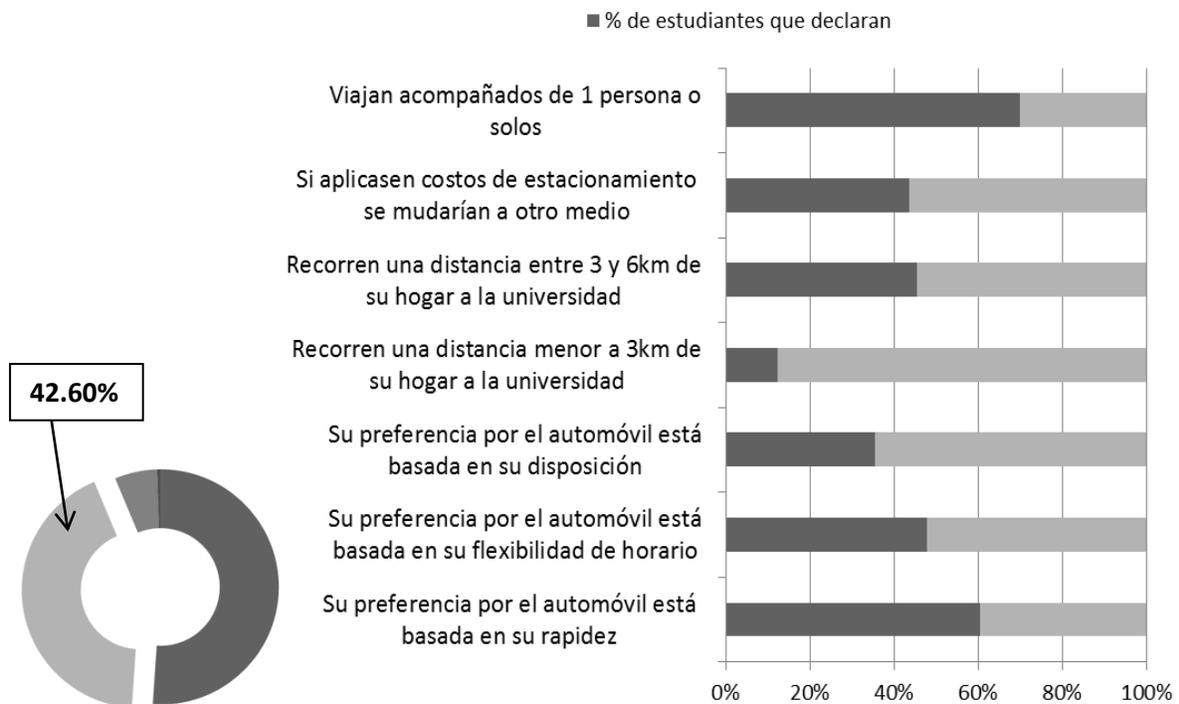


Figura 6.4 Declaraciones de los usuarios de automóvil de la URC.

Fuente: Elaboración propia

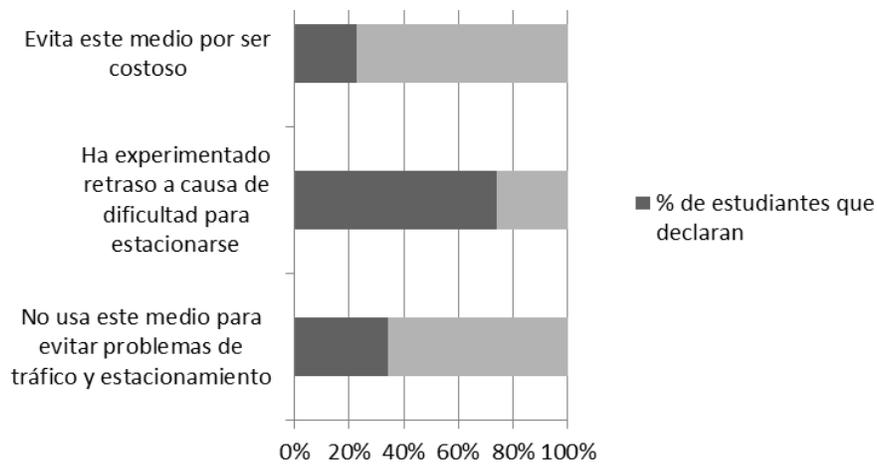


Figura 6.5 Declaraciones de los estudiantes que no usan automóvil como medio de desplazamiento.

Fuente: Elaboración propia

Los usuarios califican como moderados los costos de utilizar el automóvil; en tanto que del porcentaje de estudiantes que no utilizan este medio, solo el 22.77% lo evita por ser costoso, pero en el supuesto de que se aplicaran cargos por estacionamiento el 43.69% de los usuarios afirma que se mudarían a utilizar otro medio, mayormente transporte público. Un importante 34.45% de los reacios a usar automóvil alegan que prefieren evitar

problemas de tráfico y estacionamiento; de hecho, un 73.87% de los usuarios afirma haber experimentado problemas de retraso en sus clases a causa de dificultades para estacionarse.

Las horas pico en cuestión de congestión vehicular en el campus se dan entre las 7:00 y 8:00 horas, donde el 62.16% de los estudiantes está entrando a sus clases; y en los lapsos de las 13:00 a las 14:00 horas y de las 19:00 a las 20:00 horas, donde un 30.18% y un 41.40% de los estudiantes respectivamente está saliendo de sus clases (Figura 6.6).

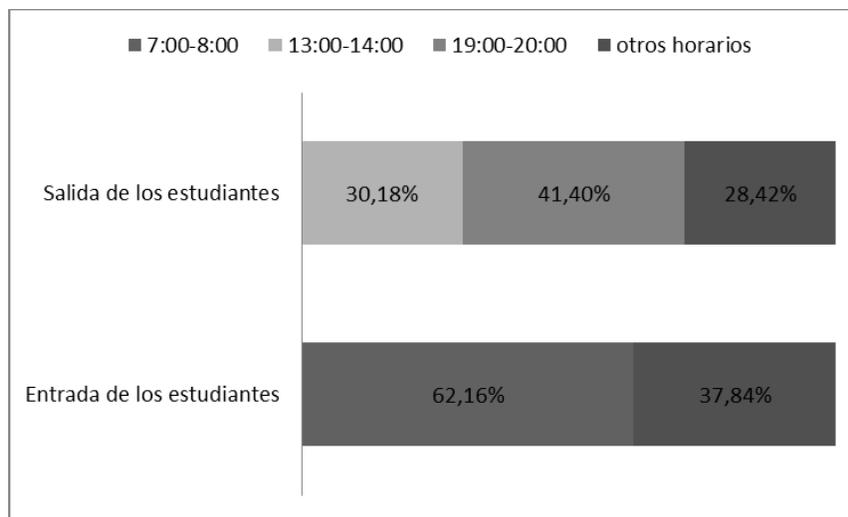


Figura 6.6 Horarios con mayor concentración de entrada y salida de estudiantes.

Fuente: Elaboración propia

6.2.3. Desplazamientos a pie

La figura 6.7 muestra las principales razones conocidas por las cuales los estudiantes se desplazan caminando, que corresponden en un 41.66% a la práctica actividad física, 39.28% la cercanía de sus hogares con el campus y 36.9% que no les genera ningún costo monetario; por el lado contrario, la figura 6.8 muestra las principales razones de los estudiantes que se rehúsan a usar este medio; 27.18% indica como principal motivo el vivir alejado de la universidad y 27.43% considera el clima inadecuado para los desplazamientos a pie.

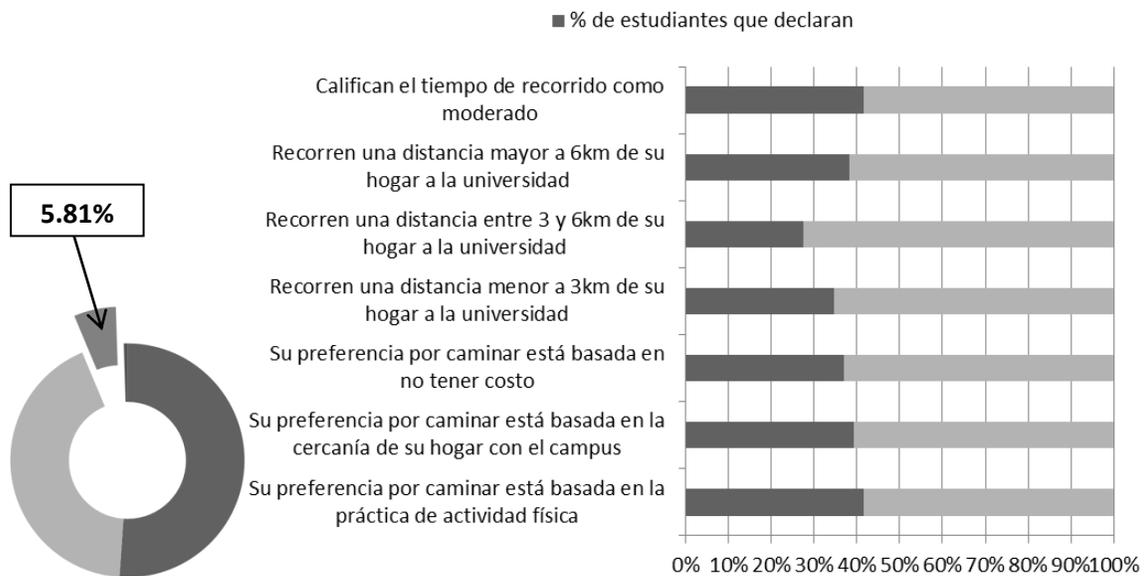


Figura 6.7 Declaraciones de los estudiantes que se desplazan caminando a la URC.

Fuente: Elaboración propia

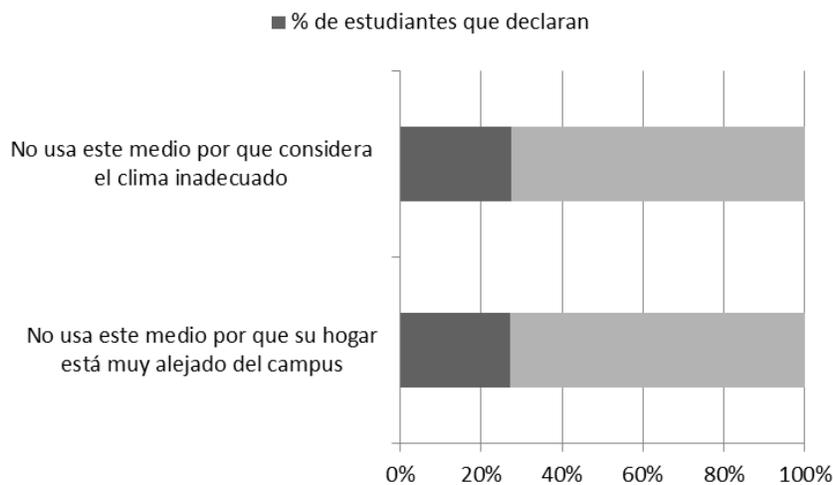


Figura 6.8 Declaraciones de los estudiantes que no se desplazan caminando a la URC.

Fuente: Elaboración propia

El 34.52% de los desplazamientos a pie corresponden a distancias menores a 3km, el 27.38% son desplazamientos con distancias de 3 a 6km y el 38.1% restante se desplaza más de 6km. El 41.67% de los peatones califican el tiempo de recorrido como moderado, a pesar de que el 65.48% de ellos recorre distancias mayores a 3km.

6.2.4. Desplazamientos en bicicleta

El pequeño porcentaje de estudiantes que se desplazan en bicicleta declara que las principales razones conocidas para elegir este medio de transporte son 87.48% la práctica de actividad física, 56.24% la economía y 31.25% la cercanía de su hogar con la universidad, como se muestra en la figura 6.9, y califican los factores tiempo de recorrido, seguridad, comodidad y economía, de moderados a muy buenos. En oposición, los estudiantes que se rehúsan a desplazarse en bicicleta tienen diversas razones cuyos pesos porcentuales están muy equilibrados y hacen referencia a la falta de seguridad, de infraestructura adecuada, de respeto al ciclista, de condiciones climáticas favorables para esta práctica y falta del vehículo mismo.

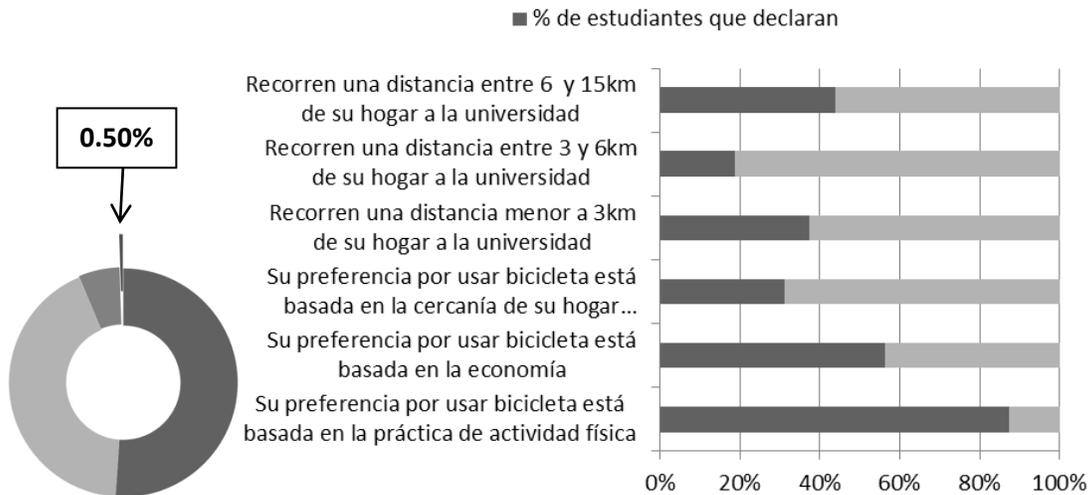


Figura 6.9 Declaraciones de los estudiantes que se desplazan en bicicleta a la URC.

Fuente: Elaboración propia

El 37.5% de los ciclistas recorre distancias menores a 3km y el 18.75% distancias de 3 a 6km, el otro 43.75% recorre de 6 a 15km. de En el caso hipotético de que se pusieran bicicletas a disposición para su uso dentro del campus, el 74% de los estudiantes afirma que las usaría.

6.3. Evaluación de factibilidad de réplica de las BPs en la URC

La información obtenida durante la examinación de las BPs (ANEXO D) fue la base para evaluar los catorce criterios de factibilidad de réplica (tabla 5.1); especialmente la factibilidad técnica, ambiental y económica; para la factibilidad climática/geográfica se incluyeron en consideración las condiciones climatológicas y topográficas de la zona donde se ubica el campus. Mientras que la evaluación de la factibilidad social fue basada principalmente en los resultados del estudio de perspectivas sociales de movilidad en la URC (Coronado, 2014; Moreno, 2014) presentados en la sección anterior.

Dado que la ponderación para cada criterio fue resultado de hacer inferencias, y sobre todo los criterios sociales pueden admitir ambigüedad, se incluyó un anexo que detalla brevemente el porque del valor asignado a cada criterio social (ANEXO F).

Tras haber analizado los patrones de movilidad de la comunidad estudiantil de la URC, los resultados generaron sospecha de que una BPs identificada en la literatura (nivel 1) que no fue llevada a examinación (nivel 2), “Viajes compartidos”, podía ser altamente factible y se resolvió incluirla en la evaluación. Todos los criterios fueron evaluados en cada una de las BPs y se obtuvo un porcentaje general de factibilidad de réplica para cada una de ellas, como se muestra en la tabla 6.5.

Tabla 6.5. Evaluación de la factibilidad de réplica de las BPs en la URC.

| Buena Práctica | Tecnología/elemento | CRITERIOS DE FACTIBILIDAD DE RÉPLICA | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----|---------|-----|---------------------------------|---|---------------|-----|
| | | Técnica | | | | Ambiental | | Social | |
| | | C1 | | C2 | | C3 | | C4 | |
| | | Diseño | | Insumos | | Emisiones de CO2 eq, NOx y/o PM | | Confiabilidad | |
| Redes cicloviarias y peatonales | Sistema de bicicletas compartidas | 10% | 0,5 | 10% | 0,5 | 20% | 1 | 2,86% | 0,5 |
| | Ciclosendas | 10% | 1 | 10% | 1 | 20% | 1 | 2,86% | 0,5 |
| | Sendas y zonas peatonales | 10% | 1 | 10% | 1 | 20% | 1 | 2,86% | 0,5 |

| | | | | | | | | | |
|--|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|
| | Estacionamientos para bicicletas | 10% | 1 | 10% | 1 | 20% | 1 | 2,86% | 1 |
| Sistema de ascenso y descenso de estudiantes en las escuelas | Sistema de agilización de ascenso y descenso de estudiantes | 10% | 1 | 10% | 1 | 20% | 1 | 2,86% | 0,5 |
| Automóvil compartido | Sistema de automóvil compartido | 10% | 0,5 | 10% | 0,5 | 20% | 1 | 2,86% | 0,5 |
| Autobús de tránsito rápido | Sistema de autobuses de tránsito rápido | 10% | 1 | 10% | 1 | 20% | 1 | 2,86% | 1 |
| Viajes compartidos | Sistema de viajes compartidos (carpooling) | 10% | 1 | 10% | 1 | 20% | 1 | 2,86% | 0,5 |
| Elaboración de biodiesel a partir de aceite vegetal usado | Producción y uso de biodiesel | 10% | 1 | 10% | 1 | 20% | 1 | 2,86% | 1 |
| Bioetanol como combustible | Producción y uso de bioetanol | 10% | 0,5 | 10% | 0 | 20% | 1 | 2,86% | 1 |
| Autobuses con tecnologías y/o combustibles alternativos | Híbridos eléctrico-GNC/Diesel | 10% | 0,5 | 10% | 0 | 20% | 1 | 2,86% | 0 |
| | Gas Natural Comprimido (GNC) | 10% | 0,5 | 10% | 0,5 | 20% | 0,5 | 2,86% | 0 |
| | Eléctricos | 10% | 0 | 10% | 0 | 20% | 1 | 2,86% | 0 |
| | Hidrógeno | 10% | 0 | 10% | 0 | 20% | 1 | 2,86% | 0 |
| | Biometano | 10% | 0,5 | 10% | 0 | 20% | 1 | 2,86% | 0 |
| | Bioetanol | 10% | 0 | 10% | 0 | 20% | 1 | 2,86% | 0 |
| | Biodiesel | 10% | 1 | 10% | 1 | 20% | 1 | 2,86% | 0 |
| Electromovilidad | Trolebuses | 10% | 0,5 | 10% | 0 | 20% | 1 | 2,86% | 0 |
| | Puntos de recarga para vehículos eléctricos | 10% | 0,5 | 10% | 0,5 | 20% | 1 | 2,86% | 0 |

| CRITERIOS DE FACTIBILIDAD DE RÉPLICA | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----|-----------|---|---------------|-----|---------------|-----|-----------|---|---------|-----|
| Social | | | | | | | | | | | |
| C5 | | C6 | | C7 | | C8 | | C9 | | C10 | |
| Seguridad | | Comodidad | | Accesibilidad | | Asequibilidad | | Capacidad | | Demanda | |
| 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 1 | 2,86% | 1 |
| 2,86% | 0 | 2,86% | 0 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 1 | 2,86% | 0 | 2,86% | 0 |
| 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 1 | 2,86% | 1 | 2,86% | 0,5 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| 2,86% | 1 | 2,86% | 1 | 2,86% | 1 | 2,86% | 1 | 2,86% | 1 | 2,86% | 0 |
| 2,86% | 1 | 2,86% | 1 | 2,86% | 1 | 2,86% | 1 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 1 |
| 2,86% | 1 | 2,86% | 1 | 2,86% | 0 | 2,86% | 0 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 1 |
| 2,86% | 1 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 1 | 2,86% | 1 |
| 2,86% | 0,5 | 2,86% | 1 | 2,86% | 1 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 1 | 2,86% | 0,5 |
| 2,86% | 1 | 2,86% | 1 | 2,86% | 1 | 2,86% | 1 | 2,86% | 1 | 2,86% | 1 |
| 2,86% | 1 | 2,86% | 1 | 2,86% | 0 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 |
| 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 1 |
| 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 1 |
| 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 1 |
| 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 1 |
| 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 1 |
| 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 1 |
| 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 1 |
| 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 | 2,86% | 1 |
| 2,86% | 1 | 2,86% | 1 | 2,86% | 0 | 2,86% | 0 | 2,86% | 0,5 | 2,86% | 0 |

| CRITERIOS DE FACTIBILIDAD DE RÉPLICA | | | | | | | | PORCENTAJE GENERAL DE FACTIBILIDAD DE RÉPLICA |
|---|-----|--------------------------|---|----------------------|---|-------|-----|--|
| Económica | | | | Climática/geográfica | | | | |
| C11 | | C12 | | C13 | | C14 | | |
| Costos | | Subsidios y/o incentivos | | Topografía | | Clima | | |
| 10% | 0,5 | 10% | 1 | 10% | 1 | 10% | 0,5 | 71% |
| 10% | 0,5 | 10% | 1 | 10% | 1 | 10% | 0,5 | 76% |
| 10% | 0,5 | 10% | 1 | 10% | 1 | 10% | 0,5 | 81% |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|------------|
| 10% | 1 | 10% | 1 | 10% | 1 | 10% | 1 | 97% |
| 10% | 1 | 10% | 0 | 10% | 1 | 10% | 1 | 87% |
| 10% | 0 | 10% | 0 | 10% | 1 | 10% | 1 | 61% |
| 10% | 0 | 10% | 1 | 10% | 1 | 10% | 1 | 84% |
| 10% | 1 | 10% | 1 | 10% | 1 | 10% | 1 | 94% |
| 10% | 0,5 | 10% | 1 | 10% | 1 | 10% | 1 | 95% |
| 10% | 0 | 10% | 0,5 | 10% | 1 | 10% | 0,5 | 56% |
| 10% | 0 | 10% | 1 | 10% | 1 | 10% | 1 | 62% |
| 10% | 0,5 | 10% | 1 | 10% | 1 | 10% | 1 | 62% |
| 10% | 0 | 10% | 1 | 10% | 1 | 10% | 1 | 57% |
| 10% | 0 | 10% | 1 | 10% | 1 | 10% | 1 | 57% |
| 10% | 0 | 10% | 1 | 10% | 1 | 10% | 1 | 62% |
| 10% | 0 | 10% | 1 | 10% | 1 | 10% | 1 | 57% |
| 10% | 0,5 | 10% | 1 | 10% | 1 | 10% | 1 | 82% |
| 10% | 0 | 10% | 1 | 10% | 1 | 10% | 1 | 62% |
| 10% | 0 | 10% | 1 | 10% | 1 | 10% | 1 | 67% |

Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos para cada una de las tecnologías o elementos, en orden descendente, fueron los siguientes:

- **Estacionamientos para bicicletas** **97%**
- **Producción y uso de biodiesel** **95%**
- **Sistema de viajes compartidos** **94%**
- **Sistema de agilización de ascenso y descenso de estudiantes** **87%**
- **Sistema de autobuses de tránsito rápido** **84%**
- **Biodiesel (autobús)** **82%**
- **Sendas y zonas peatonales** **81%**
- **Ciclosendas** **76%**

El ANEXO E presenta los datos en forma gráfica.

6.4. Diseño del modelo de TUS para la URC

En base al valor porcentual obtenido para cada uno de los elementos de las BPs es posible distinguir cual posee una mayor factibilidad de réplica en comparación con otro y así, integrar una propuesta de un modelo de TUS para la URC (Figura 6.1) con una mayor probabilidad de éxito.

El diseño del modelo propuesto consideró los nueve elementos con el mayor valor porcentual en la evaluación, correspondientes a seis BPs, los cuales figuran la inclusión de autobuses funcionando con biodiesel, operando en un sistema de tránsito rápido y cuyo combustible sea producido del aceite vegetal usado de la región. Incluye también un sistema de agilización de ascenso y descenso de estudiantes, una plataforma virtual para la gestión de viajes compartidos, y una significativa mejora en la infraestructura peatonal y cicloviaria con la adición y/o mejora de las sendas y zonas peatonales, ciclosendas, estacionamientos de bicicletas y un sistema de bicicletas compartidas intracampus. La decisión de incluir en el modelo propuesto solo los primeros nueve elementos y dejar de lado el resto de ellos, fue basada en el hecho de que a partir del décimo elemento y en adelante, hay un salto significativo referente a cuestiones técnicas y económicas para la implementación de los mismos; y dado que la URC requiere soluciones en el corto-mediano plazo, se marcó una línea entre los primeros nueve elementos que conforman el

modelo y el resto de ellos, que quedan como propuestas de implementación en el mediano-largo plazo.

Al cotejar las BPs incluidas en este modelo con la información de la sección 6.1.2, se obtuvieron 27 acciones necesarias para lograr un TUS en la URC.

6.4.1 Acciones de reducción

- A1. Instituir políticas de movilidad que favorezcan a los medios no motorizados.
- A2. Vigilar la seguridad de pedestres y ciclistas.
- A3. Desfasar horarios de entrada y salida entre los estudiantes para reducir el congestionamiento vehicular.
- A4. Construir un carril exclusivo de ascenso y descenso rápido de estudiantes y emplear personal de apoyo para agilizar el proceso.
- A5. Impartir programas de capacitación en percepción de riesgos y reglamento de tránsito para automovilistas, ciclistas y peatones.
- A6. Utilizar publicidad educacional y motivacional para el uso de la bicicleta.
- A7. Crear una infraestructura pedestre adecuada.
- A8. Generar buenas conexiones entre las ciclosendas urbanas y las del campus universitario.
- A9. Mejorar el sistema de aparcamiento de bicicletas.
- A10. Convertir las calles del campus en zonas de tráfico lento para los automóviles, velocidad máxima 30km/hr.
- A11. Conceder un mayor espacio en las calles del campus para la circulación de bicicletas.
- A12. Crear facilidades para ciclistas (servicios).
- A13. Implementar un sistema de bicicletas compartidas para su uso dentro del campus.

6.4.2 Acciones de alteración

- A14. Vigilar la seguridad de los usuarios de transporte colectivo.
- A15. Elevar los costos de aparcamiento para desincentivar el uso de automóvil.

- A16. Utilizar publicidad educacional y motivacional para el uso de transporte colectivo.
- A17. Implementar un sistema de autobuses de tránsito rápido para estudiantes y personal de la universidad, que los transporte desde distintos puntos de la ciudad hacia el campus y viceversa.
- A18. Generar una buena conexión entre las estaciones de transporte colectivo y, la infraestructura pedestre y cicloviaria.
- A19. Crear una plataforma virtual donde los estudiantes puedan realizar la gestión necesaria para compartir el viaje de trayecto de su hogar al campus o viceversa, con otros estudiantes que vivan en su misma zona o queden dentro de su ruta.

6.4.3 Acciones de eficiencia

- A20. Establecer puntos estratégicos de recolección de aceite usado para la elaboración de biodiesel.
- A21. Crear una cooperativa de recolección de aceite usado para la producción de biodiesel.
- A22. Tomar medidas de seguridad especiales para la producción, manejo y almacenamiento de biodiesel.
- A23. Utilizar publicidad educacional y motivacional, acerca del proceso de producción, uso y beneficios del biodiesel.
- A24. Construir una planta de producción de biodiesel.
- A25. Emplear un sistema de suministro de energía autosuficiente para la planta de producción de biodiesel: celdas fotovoltaicas y generador de energía a base de biodiesel para su funcionamiento.
- A26. Adquirir vehículos (autobuses) adecuados para el uso de biodiesel.
- A27. Construir una estación de suministro de combustible (biodiesel).

6.5. Propuestas para la ejecución de las acciones

En base al conocimiento empírico adquirido durante la examinación de las BPs y al obtenido mediante el análisis literario, se plantearon ideas o sugerencias para la ejecución de algunas de las acciones descritas en la sección anterior, integradoras de las seis BPs que conforman el modelo de TUS para la URC.

Redes cicloviarias y peatonales

Aplicar una distribución radial de estacionamiento, la cual propone mudar en su mayoría a las periferias las áreas para aparcar los vehículos motorizados, buscando que el núcleo o punto central del área de concurrencia sea totalmente peatonal. Esta es una tendencia muy usual para disminuir el congestionamiento vehicular y fomentar el uso de transporte público y transporte no motorizado, y podría seguirse en el campus universitario, tornando las zonas centrales y de mayor movimiento en zonas más seguras y cómodas, evitando los conflictos de obstrucción de flujo entre automovilistas y peatones, los cuales actualmente son causantes de pérdida de tiempo, estrés, incremento del congestionamiento vehicular y con ello de las emisiones contaminantes y el gasto de energía.

La A11 propone un mayor espacio para la circulación de las bicicletas, una opción para lograrlo es diseñar un mapa de conexiones estratégicas para comunicar todas las áreas del campus por medio de ciclosendas, para las cuales, se podría eliminar en las zonas necesarias una línea de estacionamiento para automóviles y destinarlo como espacio exclusivo de circulación para medios no motorizados como bicicletas, monopatín, patines, patineta, etc. Tal como se ha hecho en algunas ciudades europeas, donde en ciertas calles se ha sacrificado un carril de circulación motorizada para destinarlo a la no motorizada (Imagen 6.1).



Imagen 6.1 Calle dividida para circulación motorizada a la derecha y no motorizada a la izquierda en la ciudad de **Ámsterdam, Países Bajos.**

Fuente: Elaboración propia

La A12 propone crear facilidades para los ciclistas, ya que entre más facilidades le sean provistas al estudiante, más atractivo será el uso de la bicicleta.

- a) La implementación de vestidores y casilleros pueden ser una medida para contrarrestar algunas barreras que disminuyen el uso de la bicicleta (la Universidad de San Pablo, campus San Carlos, tiene proyectado implementar estos elementos).
- b) Un taller mecánico para bicicletas dentro del campus operado por alumnos que realicen trabajo social, aprovechando el conocimiento de las licenciaturas afines.
- c) La universidad puede brindar facilidades a los estudiantes para adquirir una bicicleta, como ya lo hacen algunas universidades europeas que integran el programa MOST (Mobility Management Strategies for the next decades) que dan la posibilidad a los estudiantes de nuevo ingreso de adquirir una bicicleta de forma gratuita, la cual, pasado un periodo de 3 años debe ser regresada a la universidad, o si el estudiante desea conservarla pagará una cantidad módica por ella (alrededor de 25 euros). Otro ejemplo es la ciudad de Montevideo, donde una asociación civil sin fines lucrativos, implementó un programa titulado “libera tu bici” que tiene como objetivo darle uso a bicicletas que están actualmente en desuso (sin importar las condiciones en que estas se encuentren). Se ha montado un taller de reparación el cual trabaja únicamente con recursos de los miembros y aportaciones voluntarias de externos. Allí ellos reciben bicicletas en donación y las adecuan para ser usadas nuevamente. Las personas que no cuentan con recursos para comprar una bicicleta pueden acudir al taller a solicitar una, y de no haber disponibilidad en el momento son colocados en una lista de espera.
- d) El mejorar el sistema de estacionamiento para bicicletas como indica la A9 podría incluir sistemas controlados y automatizados, donde los estudiantes puedan dejar su vehículo con una mayor confianza de que este permanecerá íntegro en su ausencia. Este tipo de estacionamientos son muy utilizados sobre todo en zonas de baja vigilancia, alta concurrencia y acceso a todo público (Imagen 6.2); y serían de gran utilidad en los puntos de parada del sistema de autobuses. De esta forma, los estudiantes pudieran desplazarse desde sus hogares hacia el punto de autobús más cercano y dejar su vehículo en un almacenamiento seguro hasta su regreso.



Imagen 6.2 Estacionamiento controlado para bicicletas en la ciudad de Curitiba, Brasil.

Fuente: GAZETA DO POVO (2013)

Un sistema de bicicletas compartidas intracampus como propone la A13, podría ser de gran utilidad para los estudiantes que requieren realizar grandes desplazamientos dentro del campus en un horario limitado, sobre todo si este contiene estaciones en puntos estratégicos que conecten las áreas distantes como la escuela de medicina, el centro de idiomas, el gimnasio universitario, la biblioteca central, entre otros.

Sistema de ascenso y descenso de estudiantes en las escuelas

La construcción de uno o más carriles de ascenso y descenso rápido en las periferias del campus como indica la A4, evitarían la entrada de vehículos que no pretenden permanecer dentro de las instalaciones universitarias con otra finalidad adicional a la de dejar o recoger estudiantes, pero que sí contribuyen a incrementar el congestionamiento vehicular y sus nocivas consecuencias. A diferencia del caso de estudio, en el caso particular de la URC no sería necesario el mismo tipo y cantidad de personal de apoyo; bastaría con un vigilante por carril, al menos en el periodo inicial que podría considerarse de capacitación, el cual vigile que los automovilistas realicen las acciones correctas para que el tráfico fluya a la velocidad esperada.

Autobuses de tránsito rápido

Un sistema de autobuses de tránsito rápido exclusivo para los desplazamientos de la comunidad de la URC desde distintos puntos de la ciudad hacia el campus y viceversa, como indica la A17, sería una buena oportunidad para ofrecer un transporte público de calidad, con horarios, rutas, cobertura y tarifas que brinden un servicio funcional y accesible. La logística de las rutas deberá seguir un diseño que proporcione la cobertura necesaria de la ciudad para brindar servicio a toda la comunidad, con el menor número de paradas y kilómetros de trayecto posibles; es decir, un diseño óptimo.

El diseño de las rutas del metro de Moscú, en Rusia sigue una forma muy valiosa de tomarse en consideración cuando varias rutas de distintas zonas intentan llegar a un punto en común (Figura 6.10). En el caso de la URC, para evitar que todas las rutas “x” recorran una larga trayectoria que finalice en el campus, aumentando con ello la posibilidad de congestión; una opción sería una ruta central “y” que esté conectada con todas las rutas de la periferia en algún punto y que sea la única que ingrese al campus, siguiendo una forma similar a la de un reloj de arena cuyo punto central sea la URC (Figura 6.11).



Figura 6.10 Mapa de metro de la ciudad de Moscú, Rusia.

Fuente: MOSCOW METRO (2014)

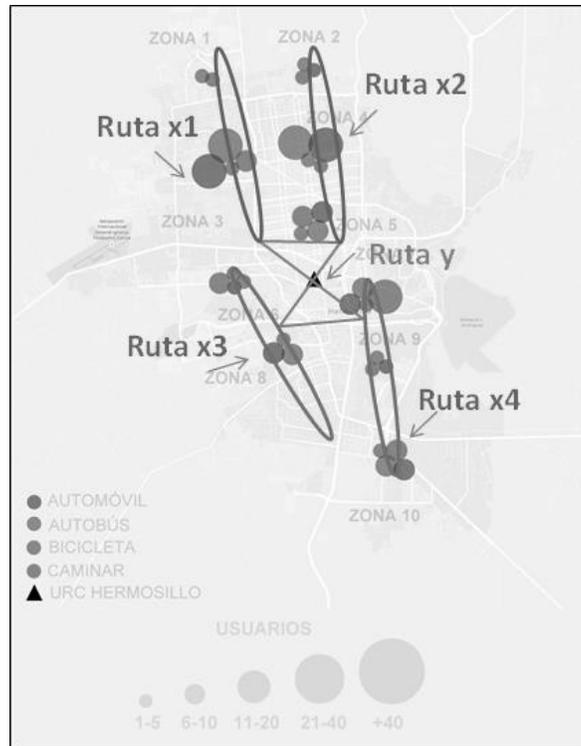


Figura 6.11 Ejemplificación del mapa de un sistema de BRT con una ruta central “y” y varias rutas periféricas “x”.

Fuente: Adaptado de Moreno (2014b)

Cumpliendo con las características de un BRT y con la cantidad de unidades necesarias este sistema ofrecería un servicio rápido con tiempos de espera muy cortos entre un autobús y otro. El diseño propuesto anteriormente también representa una opción para disminuir el número de vehículos requeridos para la cobertura de los tiempos y la posibilidad de destinar autobuses más pequeños para las rutas “x” y autobuses más grandes, quizás articulados o biarticulados para la ruta “y”.

La forma en que se realiza el proceso de ascenso y descenso de personas cuando la unidad se detiene en un punto de parada, es crucial para determinar la rapidez del servicio, ya que esto puede influir considerablemente en el tiempo del recorrido. Por tal motivo, algunas de las características de un BRT están dirigidas a disminuir el tiempo en que se lleva a cabo este proceso; una plataforma de embarque a la altura del piso de la unidad, el cobro del pasaje antes de posicionarse en dicha plataforma y el periodo de tiempo fijo y limitado para el ascenso-descenso. En relación a estas características, el sistema de metro de San Pablo, opera con una particularidad adicional que bien podría

aplicarse para el sistema de autobuses; se trata de un pasamanos separador de flujo, que queda posicionado exactamente frente a la unidad, permitiendo que el proceso de ascenso-descenso se realice al mismo tiempo, sin obstrucciones (Imagen 6.3).



Imagen 6.3 Pasamanos separador de flujo de ascenso-descenso en el metro de la ciudad de San Pablo, Brasil.

Fuente: Elaboración propia

Resulta de suma importancia que el servicio de transporte público ofrezca comodidad y facilidades al usuario. Los puntos de parada del sistema de autobuses deben estar debidamente acondicionados para ofrecer un tiempo de espera confortable y seguro. El utilizar la tecnología a favor, podría requerir de acciones muy sencillas y brindar grandes beneficios, como dotar a las unidades con un sistema de rastreo GPS, de tal manera que los estudiantes puedan ubicar las unidades y calcular la hora en la que pasarán por su punto de parada más cercano; ofrecer conexión Wi-Fi en todos los autobuses, entre otras.

Actualmente no existe un sistema controlado de estacionamiento para los estudiantes en la URC y el servicio es totalmente gratuito, por tanto, la A15 consistiría en asignar una tarifa por aparcar un automóvil dentro del campus. Esta es una acción muy común en los campus de grandes universidades estadounidenses, donde parte del dinero recaudado es destinado para proporcionar a los estudiantes pasajes gratis o con descuento para el autobús como una medida para incentivar el uso de transporte colectivo y desincentivar el del automóvil. En el caso de la URC el dinero obtenido por cobro de aparcamiento podría destinarse a desarrollar el resto de los elementos del modelo de TUS.

Los estudiantes que deseen usar el servicio de estacionamiento pasarían por un proceso de registro como conductores en el cual, su credencial de identidad universitaria se tornaría una tarjeta inteligente (TAI) o *smart card*, insertando dentro de la misma un chip que permita almacenar crédito y ser identificado por el sistema automatizado de ingreso al estacionamiento. La recarga de crédito se podría realizar en alguna máquina dentro de la universidad y en algunos otros puntos estratégicos, tal como actualmente se hace con las tarjetas de sistema de autobús urbano.

Para el caso de visitantes y proveedores, se destinaría una pequeña área para su uso exclusivo; acción que además, podría contribuir a la disminución de congestionamientos al evitar que los vehículos comerciales, en ocasiones de grandes dimensiones, obstaculicen el flujo vial.

Sistema de viajes compartidos (carpooling)

Incentivar a los estudiantes a que compartan su viaje es otra oportunidad potencial para disminuir el número de automóviles que ingresan diariamente al campus. Considerando un sistema de estacionamiento controlado en función, con una tarifa fija por día; se podrían ofrecer descuentos proporcionales al número de personas por vehículo, como un estímulo para aumentar la ocupación (Tabla 6.6). El conductor que viaja solo pagaría la tarifa completa y al aumentar el número de acompañantes, aumentaría con ello el porcentaje de descuento; considerando que en promedio un automóvil tiene 5 plazas, se consideraría como vehículo lleno el que cuente con 5 ocupantes, acción que se premiaría con el exoneramiento de pago o 100% de descuento.

Tabla 6.6. Propuesta de descuentos en tarifa de estacionamiento.

| No. de ocupantes por vehículo | % de descuento en la tarifa por día |
|--------------------------------------|--|
| 1 (conductor) | 0% |
| 2 | 25% |
| 3 | 50% |
| 4 | 75% |
| 5 | 100% |

Fuente: Elaboración propia

Al igual que los estudiantes que siguieron un proceso de registro como conductores y tornaron su credencial universitaria una TAI, todos los que deseen participar en los viajes compartidos como acompañantes, también deben hacerlo si desean obtener los beneficios de descuento en la tarifa de estacionamiento.

Para la identificación del número de ocupantes, se propone en el área de ingreso al estacionamiento, cuatro puntos de detección por medio de un sistema de NFC (Near Field Communication) al nivel de cada una de las puertas de los pasajeros, con la finalidad de agilizar el proceso (Figura 6.12).



Figura 6.12 Distribución de los puntos de detección de pasajeros por medio de NFC en el área de ingreso al estacionamiento.

Fuente: Elaboración propia

El detector del conductor difiere de los demás por ser el administrador del ingreso (Figura 6.13), este contiene una pantalla donde se irán mostrando los nombres de los estudiantes conforme se vayan identificando con sus TAI, e indicará el saldo con el que cuenta cada uno y la cantidad total a pagar dependiendo del número de pasajeros detectados. El sistema dividirá el cargo entre el número de pasajeros con saldo suficiente para pagar una fracción y lo indicará en la pantalla. Una vez terminado este proceso, el conductor

oprimirá un botón físico “pagar” como aceptación y automáticamente se realizará el cargo, se abrirá la barrera vehicular y el sistema se reiniciará para el ingreso del siguiente vehículo. El botón “salir” se utilizará en caso de presentarse un error en la detección de las TAI o que por alguna otra razón se desee reiniciar la pantalla.



Figura 6.13 Detector del conductor con pantalla de administrador (los nombres y valores son ficticios con fines de ejemplificación).

Fuente: Elaboración propia

Otra de las funciones del detector del conductor, es la de identificarlo como tal y permitir que durante el resto del día, únicamente su TAI proporcione un acceso libre al estacionamiento, al ser identificado por el sistema como conductor de un vehículo con servicio de estacionamiento previamente pagado. Para la salida del estacionamiento se sugiere adicionar picos poncha llantas para evitar que los automóviles ingresen por esa área en dirección contraria.

Para facilitar el encontrar a otras personas que quieran compartir viaje, actualmente se utilizan plataformas virtuales de gestión; y se propone la creación de una plataforma universitaria segura, a la que únicamente los estudiantes tengan acceso identificándose con su correo universitario, y puedan crear un perfil con fotografía donde proporcionen datos relevantes para este fin, como zona y colonia de residencia, si están en busca de conductor o de acompañantes, horarios de entrada y salida, etc. Esto como una base para que los estudiantes con rutas, horarios u otros factores afines, puedan entrar en contacto y organizarse para compartir su viaje.

Autobuses con tecnologías y/o combustibles alternativos (biodiesel)

Para la obtención del biodiesel que se utilizaría como combustible para los autobuses, se propone la creación de una planta de producción en la universidad, cuyo procesador puede ser construido por los estudiantes de carreras afines u obtenerse previamente fabricado (Imagen 6.4), actualmente el mercado cuenta con diversas opciones de precios y capacidades. La idea es que sean los mismos estudiantes los que se encarguen de realizar todo el proceso; desde la obtención del aceite vegetal usado que es la materia prima, realizando gestiones para recuperar el aceite de desecho de grandes y pequeños generadores, estableciendo puntos estratégicos de colecta y llevando a cabo campañas de recolección que incluyan publicidad educativa y de concientización; hasta el manejo del procesador para producir el biodiesel. La intención es que se aproveche todo el conocimiento y la mano de obra calificada de los estudiantes de diferentes áreas que estén interesados y/o deseen realizar horas de servicio social.



Imagen 6.4 Procesador de biodiesel Freedom Fueler.

Fuente: HOME BIODIESEL KITS (2012)

Sugerencias generales

Algunas universidades europeas del programa MOST han desfasado con diferencias de 10 a 15 minutos los horarios de salidas entre los estudiantes, en inclusive también entre los diferentes departamentos de personal; esto con la finalidad de reducir congestiones para salir del campus, especialmente en las horas pico. El incrementar la cantidad de horas virtuales de clase, especialmente en estas horas de conflicto, podría igualmente ayudar a reducir esta problemática.

Para lograr una mayor participación, la forma en la que se incita a los alumnos para que se involucren en las diferentes prácticas debe estar mediada por publicidad atractiva y muy ligada al uso de la tecnología. Por ejemplo, darle un nombre llamativo al sistema de transporte, que cada elemento tenga su logotipo distintivo; crear una página web y una aplicación (App) interactiva para dispositivos móviles, donde los estudiantes puedan obtener información del sistema, conocer sus beneficios, realizar gestiones de uso, etc. Para esto podría aprovecharse el conocimiento, las habilidades y el interés de los estudiantes de carreras afines a las ciencias de la comunicación, el diseño gráfico y los sistemas computacionales.

6.6. Implementación de las acciones

De las seis BPs propuestas en el modelo de TUS para la URC, se dio inicio en el periodo 2015-1 al proceso de implementación de cuatro de ellas (Tabla 6.7), para lo cual se estableció como primer paso, realizar una prueba piloto consistente en una demostración real para la comunidad universitaria, del uso de estas BPs en la URC. La espera de la resolución de los procesos administrativos para las solicitudes de presupuesto y autorizaciones de rectoría ralentizaron el proceso de implementación, posponiendo la adquisición de materiales y equipo, y el inicio de las actividades concernientes.

Tabla 6.7. BPs incluidas en la propuesta de la prueba piloto.

| BPs propuestas en el modelo | BPs propuestas en la prueba piloto |
|---|---|
| Redes cicloviarias y peatonales | ✓ |
| Sistema de ascenso y descenso de estudiantes en las escuelas | |
| Autobuses de tránsito rápido | |
| Viajes compartidos | ✓ |
| Autobuses con tecnologías y/o combustibles alternativos (biodiesel) | ✓ |
| Elaboración de biodiesel a partir de aceite vegetal usado | ✓ |

Fuente: Elaboración propia

Viajes compartidos

En lo concerniente a la BP de viajes compartidos se solicitó el apoyo de *BlaBlaCar*, la cual es una empresa ya consolidada, presente en 19 países con más de 20 millones de usuarios, que ofrece la asesoría y los recursos necesarios para implementar un sistema de viajes compartidos o *carpooling* en una organización. En el caso de las instituciones educativas, el servicio no representa ningún costo ni para la institución misma, ni para los usuarios del sistema.

El equipo de *BlaBlaCar* apoyará a la Universidad en cada una de las etapas de implementación, para lo cual, la empresa ya tiene una estrategia establecida. Se pretende que la plataforma quede lista para el uso de la comunidad de la URC en el transcurso del 2015.

Autobuses con tecnologías y/o combustibles alternativos (biodiesel)

La URC cuenta con una flota de 18 autobuses para usos diversos, siendo el principal y más frecuente, los viajes que se realizan diariamente de la URC a la escuela de agricultura y viceversa. Se analizaron los motores de cada uno de estos vehículos obteniendo como resultado que ninguno de ellos aceptaba más de B05 (5% biodiesel) sin necesidad de modificaciones mecánicas. Sin embargo, dos autobuses de la marca Mercedes Benz, modelo OM904LA, cumplen con las características necesarias para ser

adecuados al uso de biodiesel mediante un *kit de adaptación* prefabricado, específico para ese modelo de autobús; el presupuesto se incluye en el ANEXO G. Una propuesta sería adaptar esos dos autobuses, y que para las compras posteriores de vehículos se considere dentro de las características la compatibilidad con el uso de biodiesel, lo cual no necesariamente tiene una relación con un aumento en el precio.

Elaboración de biodiesel a partir de aceite vegetal usado

Para la obtención del biodiesel, se propone la creación de una planta de producción en la universidad con la adquisición de un procesador, también prefabricado, con una capacidad de 80 galones por hora y sistema *drywash* para que el biodiesel salga listo para ser utilizado directamente; el presupuesto se incluye en el ANEXO G . El aceite vegetal que será la materia prima, puede ser de desecho de grandes y pequeños generadores industriales y comerciales de la región; o bien extraerse de algún cultivo que se adapte a las condiciones climáticas del sitio, o que ya se produzca actualmente como el nim y la *jatropha*.

Redes cicloviarias y peatonales

La propuesta esta conformada por tres partes. La primera consiste en la implementación de ciclovías o rutas para bicicleta que conecten los puntos principales de la URC, complementando a los actuales andadores peatonales, los cuales deberán mantenerse en buenas condiciones para su uso y en caso de ser necesario realizar algunas mejoras para que estos sean confortables (amplios, antiderrapantes, con buen amortiguamiento de la pisada; de materiales y colores que no se calienten demasiado, de preferencia sombreados y con disponibilidad en ciertos puntos de resguardarse de la lluvia, etc.). La segunda consiste en estaciones automatizadas de préstamo de bicicletas distribuidas en diferentes puntos del campus donde los usuarios podrán tomar las bicicletas y devolverlas después de su recorrido. La tercera y última, considera una edificación de usos múltiples como centro de promoción al uso de la bicicleta, con un espacio destinado para estacionamiento controlado, un taller mecánico para reparaciones menores, vestidores y lockers para los ciclistas, un área de exposiciones y una oficina para realizar gestiones administrativas tales como registro al programa de préstamos y almacenamiento de bicicletas.

Para la prueba piloto se propone que las rutas de las ciclovías proyectadas funcionen inicialmente en la modalidad de “ciclovías operacionales”, ubicadas por las principales rutas de desplazamiento (Imagen 6.5) los días viernes (dada la menor afluencia de vehículos en comparación con el resto de la semana), es decir, las sendas serán señalizadas para su uso como ciclovías los días viernes y el resto de la semana seguirán con su funcionamiento habitual, ya sea como carriles de circulación automovilística o como estacionamiento de automóviles. De esta forma el proyecto se iría introduciendo de forma gradual y la comunidad puede irse adaptando más suavemente a los cambios.

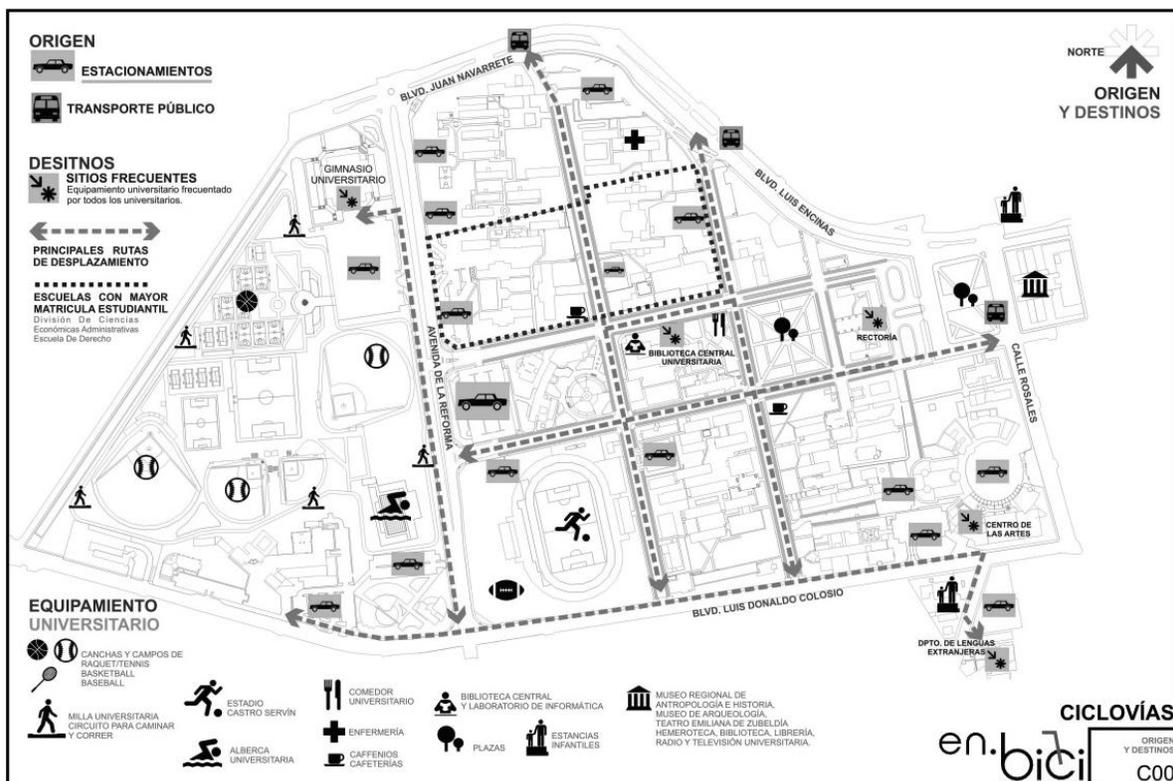


Imagen 6.5 Mapa con las principales rutas de desplazamiento de la URC.

Fuente: Jiménez (2011)

VII. ANÁLISIS

El esquema obtenido de las BPs funciona como una base para realizar una evaluación de factibilidad de réplica de acuerdo a las condiciones, necesidades y preferencias del sitio y obtener un conjunto de opciones ponderadas para seleccionar las que mejor se adapten a cada contexto particular. Este método permite comparar varias opciones que atiendan la misma necesidad y realizar selecciones jugando con el marcador, por ejemplo, dependiendo si se le quiere dar mayor peso-importancia a la cuestión económica o ambiental, si se requiere una opción para resolver un problema urgente a corto plazo, o si por el lado contrario se desea hacer una planeación para un proyecto de varias fases a mediano-largo plazo, entre otras cuestiones.

El modelo de TUS para la URC compuesto por seis BPs fue obtenido de esta forma, y en febrero 2015 se dio inicio al proceso de implementación de cuatro de las seis BPs propuestas, estableciendo como primera meta, realizar una prueba piloto consistente en una demostración para la comunidad universitaria del uso de estas BPs. La intención era que esta pudiera llevarse a cabo antes de que finalizase el ciclo escolar en junio 2015, pero la espera de la resolución de los procesos administrativos para las solicitudes de presupuesto y autorizaciones de rectoría ralentizaron el proceso de implementación, posponiendo la adquisición de materiales y equipo, y el inicio de las actividades concernientes. El grado en que la dirección de la institución apoya al proyecto y permite que quede bien arraigado en las políticas, procedimientos y prácticas que formalizan sus métodos y conceptos, aseguran su existencia continua (Gudmundsson et al., 2012). Sin embargo, para alcanzar el éxito es fundamental la participación de todos los grupos internos de interés, incluyendo directivos, administrativos, docentes, estudiantes y personal de mantenimiento (Button, 2008).

Dado que más del 90% de la población estudiantil de la URC actualmente prefiere desplazarse en medios motorizados, ofrecer un transporte público de calidad es una gran área de oportunidad para desincentivar el uso del automóvil (Streimikiene, 2013; Shiau, 2013; Santos, 2012), tanto por la importante cantidad de estudiantes que actualmente se desplazan utilizando este medio como por los estudiantes automovilistas que anteponen la falta de calidad en el servicio como razón para no mudarse al transporte público.

No obstante, el fomento al uso de los medios no motorizados es indispensable en un sistema de TS (Dalkmann & Sakamoto, 2011), y la URC tiene un área de oportunidad para ello, ya que más de la mitad de los estudiantes recorren distancias menores a 6km para desplazarse de sus hogares al campus; y aunque las condiciones climáticas de la ciudad de Hermosillo son muy extremosas durante el verano y por tanto inconvenientes para el uso de transportes no motorizados, al menos la mitad del año sí son favorables para el uso de estos medios, y adicionalmente la topografía plana de la ciudad es óptima para el uso del transporte no motorizado. El que exista todo un sistema de infraestructura peatonal y cicloviaria en buenas condiciones disponible para su uso, representa una gran opción para el transporte multimodal y la reducción del consumo de energía (Holden & Gilpin, 2013; Rastogi, 2011), así como también para la reducción de la población vehicular en el campus para todos esos meses del año en que las condiciones son propicias para salud y comodidad del usuario.

Mediante la evaluación de factibilidad de réplica para la URC se acotó la gama de opciones que ofrece el esquema, obteniendo un modelo de TUS para elaborar un plan de trabajo más factible; ya que aunque algunas BPs han sido caso de éxito en muchos sitios, las ventajas y desventajas de implementación varían dependiendo del contexto; como es el caso del trolebús, los autobuses eléctricos y automóviles eléctricos, cuya ventaja ambiental es muy grande al potencialmente reducir el 100% de las emisiones por el tubo de escape (Graver et al., 2011; CLEAN FLEETS, 2014), pero al considerar que la energía eléctrica consumida por la URC proviene en más de un 70% de fuentes fósiles (SENER, 2012), esta ventaja se reduce considerablemente.

Otro ejemplo es el caso de los autobuses impulsados con bioetanol, donde la producción de este combustible representa una desventaja, ya que no ha logrado hasta ahora ser rentable en el país por diversas cuestiones de tipo económicas, tecnológicas y legislativas (Becerra, 2008), y aunado a eso, el uso de estos autobuses representa una fuerte dependencia tecnológica de Suecia, al ser este el único país que produce los vehículos y el aditivo indispensable para su funcionamiento (ELTIS, 2011).

Una vez obtenido el modelo de TUS, no todas las BPs presentan el mismo nivel de dificultad para ser implementadas, algunas es posible iniciar su proceso en el corto plazo, como fue el caso de las cuatro BPs incluidas en la propuesta de la prueba piloto; mientras

que otras BPs involucran proyectos de grandes magnitudes y tienen que ser planeadas y trabajadas en un lapso de tiempo mayor a cargo de grupos multidisciplinarios, como es el caso de los autobuses de tránsito rápido (ITDP, 2010), el cual pudiese ser un proyecto por etapas en cuyo desarrollo hay mucho espacio para futuras investigaciones de diferentes disciplinas.

Es importante que en la implementación de las BPs no se le reste importancia a las acciones de tipo administrativas y educacionales, porque si bien las acciones de infraestructura suelen ser las más distintivas e ineludibles, las anteriores son un complemento necesario para el óptimo funcionamiento de las BPs (Holden & Gilpin, 2013). Por ejemplo en el caso del modelo de TUS para la URC, tanto el sistema peatonal y ciclovial, como el sistema de autobuses de tránsito rápido necesitan de políticas internas de movilidad que favorezcan a los medios no motorizados, vigilancia de la seguridad, capacitación en el reglamento de tránsito y programas motivacionales.

Algunos beneficios resultantes de la implementación de las BPs para un TUS suelen ser de naturaleza colectiva más que individual (Buenstorf and Cordes, 2009) y en muchas ocasiones los beneficios personales no son perceptibles sino hasta largo plazo; como sería el caso de un individuo cuyo problema respiratorio ha desaparecido tras dos años de que el transporte público de su ciudad empezó a funcionar con energía renovable, pero por otro lado está un individuo que nunca ha sufrido problemas respiratorios e igualmente tuvo que pagar el aumento en la tarifa de transporte por ser ambientalmente amigable.

Los consumidores tienen una resistencia a pagar costos inmediatos como los cambios en sus rutinas, levantarse una hora más temprano para usar el transporte público, un aumento en la tarifa de transporte, pagar una cuota de estacionamiento, etc., a cambio de beneficios que se verán reflejados a largo plazo (Krause et al., 2013); por lo cual un detalle indispensable a cuidar en cualquier BP a implementar es incentivar al usuario con beneficios adicionales a corto plazo, como por ejemplo ofrecer facilidades tecnológicas y económicas. Además, es muy importante dejar claro en la publicidad y promoción de los servicios que la libertad de movimiento y confort no se verán reducidos (Poortinga et al., 2003; Gardner & Stern, 1996) para que esto no sea motivo de renuencia.

Para poder obtener un modelo de TUS para otro campus universitario, es necesario realizar un estudio de los patrones de movilidad de su propia comunidad universitaria y conocer las condiciones climatológicas y topográficas del sitio, ya que estos datos son indispensables para la evaluación de factibilidad de réplica, en conjunto con el ANEXO D, el cual contiene información de cada una de las BPs contenidas en el esquema, necesaria para la evaluación de la factibilidad técnica, ambiental y económica.

VIII. CONCLUSIONES

Cada una de las BPs incluidas en el esquema como opciones para conformar un modelo de TUS poseen el potencial de prevenir, eliminar y/o reducir los impactos negativos a la salud y al ambiente originados por los actuales modos de transportación vehicular de la comunidad universitaria, y al realizar una evaluación de factibilidad de replica para obtener un modelo de TUS específico para la URC, el potencial de contribución se incrementa considerablemente.

Declaraciones hechas por los estudiantes de la URC revelaron el gran potencial que tienen algunas BPs, como un transporte público de calidad que ofrezca confiabilidad, seguridad, comodidad, accesibilidad, asequibilidad y capacidad, para motivar a los estudiantes a preferir el transporte público sobre el privado; o proveer las condiciones adecuadas para el uso de transportes no motorizados, mayormente caminar y bicicleta, dada la importante cantidad de estudiantes que vive cerca del campus.

Incrementar la ocupación vehicular como lo hace el *carpooling*, implementar costos de aparcamiento y carriles de ascenso y descenso rápido en la periferia del campus, son otras formas potenciales para reducir el número de vehículos que ingresan al campus diariamente. También, para reducir la congestión, puede implementarse un desfase en los horarios de entrada y salida de los estudiantes, ya que estos presentan fuertes concentraciones en 3 periodos del día. Actualmente está disponible para los distintos tipos de vehículos, una amplia gama de combustibles y tecnologías alternativas en diferentes niveles de madurez técnica y de mercado cuyo potencial de contribución a la sustentabilidad debe ser aprovechado.

Los resultados de la evaluación de factibilidad de réplica de las BPs, funcionan como un marco para la toma de decisiones, proveyendo una serie de opciones ponderadas como una base para seleccionar las BPs que mejor se adapten a cada contexto particular; esta base puede ayudar a comparar las diferentes opciones y hacer selecciones jugando con la importancia que se desee dar a cada dimensión (económica, social y ambiental); o dependiendo la urgencia de resolver un problema, una BP que solucione el problema en el corto plazo, o quizás hacer una planeación a mediano-largo plazo, entre otras cuestiones.

En este estudio se generó un modelos de TUS específico para la URC, sin embargo, todos los elementos y la metodología utilizados, proveen una plataforma de evaluación que pudiera ser aplicada en otro campus universitario para obtener un TUS adaptado a su contexto particular, es decir, adaptado a sus condiciones y necesidades.

IX. RECOMENDACIONES

1. En la implementación de cualquier BP, realizar la introducción de forma gradual para que la comunidad puede irse adaptando suavemente a los cambios; evitar que la primera impresión del usuario sea negativa y pueda afectar su disposición a participar.
2. No hay que limitarse a las BPs que presentan facilidades para su implementación en el corto plazo; las BPs que involucran grandes proyectos ofrecen beneficios de la misma magnitud, y aunque tienen que ser planeadas y trabajadas en un lapso de tiempo mayor, brindan un importante espacio para futuras investigaciones de diferentes disciplinas y se pueden ir trabajando por etapas a cargo de grupos multidisciplinarios.
3. Es importante identificar las BPs que ayuden a lograr múltiples objetivos y evitar aquellas que resuelven solo un problema de transporte y agravan otros. Para lograr seleccionar una BP integral, eficiente a largo plazo y que mejor se adapte a cada caso específico, es necesario siempre considerar los recursos disponibles, las condiciones del sitio y, las preferencias y necesidades de los usuarios.
4. Para la evaluación representativa de una BP es necesario ver hacia atrás y hacia delante, considerar los impactos generados durante todo su ciclo de vida y no solo en el tiempo presente, solo de esa forma se puede conocer el beneficio real o absoluto.
5. La combinación de las diferentes estrategias en el diseño de un sistema de transporte es de suma importancia, ya que ninguna ha demostrado alcanzar por sí sola la sustentabilidad en el transporte, pues el éxito del TS es también una cuestión de conducta y no solo de tecnología. Si no se modifican primero los patrones de conducta, los efectos mitigantes logrados por la innovación tecnológica se pueden ver opacados.
6. Las universidades son fuente de mano de obra muy calificada, y además de una gran diversidad de disciplinas. Todo este conocimiento, talento y disposición tiene que ser aprovechado para el desarrollo de proyectos multidisciplinarios.

X. REFERENCIAS

- AGMRC, 2009. *Brazil's ethanol industry*. [Online]. Available at: <http://www.agmrc.org/renewable_energy/ethanol/brazils-ethanol-industry/> [Accessed 10 Jun 2015].
- Amiri, S, Karlsson, B, & Henning, D 2013, 'Simulation and introduction of a CHP plant in a Swedish biogas system', *Renewable Energy*, 49, p. 242-249, Scopus®, EBSCOhost, viewed 7 June 2014.
- Amiri, S., Henning, D., Karlsson, B., 2013. Simulation and introduction of a CHP plant in a Swedish biogas system. *Renewable Energy*. 49 pp. 242-249.
- AMSTERDAM.NL, 2014. *Alles over opladen van elektrische wagens*. [Online]. Available at: <<http://www.amsterdam.nl/parkeren-verkeer/amsterdam-elektrisch/opladen/>> [Accessed 02 Jun 2014].
- AMSTERDAM.NL, 2014b. *Subsidie voor het laten aanleggen van een oplaadpunt voor elektrische wagens*.
- AMSTERDAM.NL, 2014c. *Subsidie elektrische voertuigen voor bedrijven*. [Online]. Available at: <<http://www.amsterdam.nl/parkeren-verkeer/luchtkwaliteit/slim-schoon-stad/stimuleringsregeling/subsidie-elektrische/>> [Accessed 02 Jun 2014].
- automobiles. *Appl. Thermal Eng.*, 27, pp. 2294–2299.
- ANC Greasenergy, 2015. *MERCEDES-BENZ-OM904 - kit de conversión SVO/WVO/PPO*. [Online]. Available at: <http://www.greasenergy-shop.com/epages/63102114.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/63102114/Products/82500904/SubProducts/82500904-0001> [Accessed 12 Jun 2015].
- APTA, 2013. *More than 35% of U.S. Public Transit Buses Use Alternative Fuels or Hybrid Technology*. [Online]. Available at: <http://www.apta.com/mediacenter/pressreleases/2013/Pages/130422_Earth-Day.aspx> [Accessed 10 Jun 2015].
- Asfar, B., Nikjooy, G., M.Y, Y., 2015. The Consequences of the Physical-Environmental Factors on Encouraging Pedestrian and Cycling Activities in UPM Campus, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6 pp. 15-19.
- AVANCAR, 2014. *¿Avancar realmente para mí?* [Online]. Available at: <<http://www.avancar.es/is-it>> [Accessed 03 Jun 2014].
- Ayuntamiento de Barcelona, 2014. *The city has 20 new hybrid buses*. [Online]. Available at: <http://w110.bcn.cat/portal/site/Home/menuitem.14f90aeeb15793636d5d05f320348a0c?id=22919&vgnextoid=0f8da66329b83410VgnVCM1000001947900aRCRD&vgnextchannel=0f8da66329b83410VgnVCM100001947900aRCRD&lang=en_GB> [Accessed 27 May 2014].
- BALTIC ECOREGION, 2010. *Bioenergy from waste: Biogas production model*. [Online]. Available at: <<http://www.baltic-ecoregion.eu/downloads/BFW.pdf>> [Accessed 07 Jun 2014].
- Batta, R., Pathak, R., ca. 2004. Road Transport in Himachal Pradesh: Policy Options for Sustainable Transportation. 15 (1) pp. 98-117.
- BBB, 2012. Baltic Biogas Bus. *Gas bus technology and operational experiences in Helsinki area*. [Online]. Available at: <http://www.balticbiogasbus.eu/web/Upload/Use_of_biogas/Act_6_1/WP6%201%20FINAL.pdf> [Accessed 07 Jun 2014].
- BBB, 2012b. Baltic Biogas Bus. *Production and supply of biogas in the Stockholm region*. [Online]. Available at: <http://www.balticbiogasbus.eu/web/Upload/Supply_of_biogas/Act_4_6/Production%20and%20supply%20of%20biogas%20in%20the%20Stockholm%20region.pdf> [Accessed 07 Jun 2014].
- BBB, 2012c. Baltic Biogas Bus. *Towards a sustainable public transport system in Stockholm*. [Online]. Available at: <https://www.tartu.ee/data/Biogaasibusside_kasutamise_kogemused_Stockholmist-L.Hallgren.pdf> [Accessed 10 Jun 2014].
- Becerra, L., 2008. La industria del etanol en México. *Economía UNAM*. [Online]. Available at: <<http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econunam/pdfs/16/06luisarmando.pdf>> [Accessed 27 Jul 2015].
- Beim, M., Haag, M., 2010. *Freiburg's way to sustainability: the role of integrated urban and transport planning*. [Leaflet] May 2010 ed. Institut für Mobilität & Verkehr: Technische Universität Kaiserslautern.

- Beirao, G., Cabral, J.A.S, 2007. Understanding attitudes towards public transport and private car: a qualitative study. *Transport Policy*. 14 (6) pp. 478–489.
- Berkhout, P.H.G., Muskens, J.C., Velthuisen, J.W., 2000. Defining the rebound effect. *Energy Policy*. 28 pp. 425–432.
- BIKE RIO, 2012. *Bike Rio em números*. [Online] Available at: <<http://www.terra.com.br/noticias/infograficos/bike-rio/>> [Accessed 23 April 2014].
- Black, W, 2010. Sustainable Transportation: Problems and Solutions. *Guilford Press*: New York.
- BNDES, 2008. (Brazilian Development Bank) *Bioetanol de caña de azúcar: una energía para el desarrollo sostenible*. Available at: <http://www.bioetanoldecana.org/es/download/resumo_executivo.pdf > [Accessed 23 April 2014].
- Brazil Institute, 2007. *The global dynamics of biofuels potential: supply and demand for ethanol and biodiesel in the coming decade* [Online] Available at: <http://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/Brazil_SR_e3.pdf> [Accessed 23 April 2014].
- Buenstorf, G., Cordes, C., 2009. Can sustainable consumption be learned? A model of cultural evolution. *Ecological Economics* 67 pp. 646–657.
- Button, C., 2008. Towards carbon neutrality and environmental sustainability at CCSU. *International Journal of Sustainability in Higher Education*. 10 (3), pp. 279-286.
- BYD, 2013. *BYD wins Schiphol contract: 35 pure electric buses for airside services*. [Online] Available at: <<http://www.byd.com/news/news-169.html>> [Accessed 27 May 2014].
- Carley, S., Krause, R.M., Lane, B.W., Graham, J.D., 2013. Intent to purchase a plug-in electric vehicle: a survey of early impressions in large US cities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 18 pp. 39–45.
- Castillo, S., 2009. Viabilidad de los biocombustibles: biodiesel y bioetanol. UCLM. [Online] Available at: <<http://www.uclm.es/profesorado/scastillo/NUEVA%20WEB-PAC/cap%EDtulo%201.%20Estudio%20viabilidad%20biocombustibles.pdf>> [Accessed 26 December 2013].
- CE, 2002. Comisión Europea, DG Medio Ambiente. *En bici, hacia ciudades sin malos humos*. [Online] Available at: <http://ec.europa.eu/environment/archives/cycling/cycling_es.pdf> [Accessed 29 December 2013].
- City of Amsterdam, 2010. Amsterdam electric: Action plan. [Online] Available at: <file:///C:/Users/Sara/Downloads/ae_avereecityawardapplicationdef.pdf> [Accessed 02 Jun 2014].
- CITY OF COPENHAGEN, 2012. *Bicycle statistics*. [Online]. Available at: <<https://subsite.kk.dk/sitecore/content/Subsites/CityOfCopenhagen/SubsiteFrontpage/LivingInCopenhagen/CityAndTraffic/CityOfCyclists/CycleStatistics.aspx>> [Accessed 28 May 2014].
- CIVITAS, 2013. *Dresden Germany*. [Online] Available at: <<http://www.civitas.eu/content/dresden>> [Accessed 04 may 2014].
- Clean Air Carolina, 2015. *Best Practices Guide for School Carpool Lines*. [Online]. Available at: <<http://cleanaircarolina.org/wp-content/uploads/2010/09/CAC-Best-Practices-Guide.pdf>> [Accessed 10 Jun 2015].
- CLEAN FLEETS, 2014. *Clean Buses – Experiences with Fuel and Technology Options*. [Online]. Available at: <http://www.clean-fleets.eu/fileadmin/files/Clean_Buses_-_Experiences_with_Fuel_and_Technology_Options.pdf> [Accessed 27 May 2014].
- Contestabile, M., Offer, G., Slade, R., Jaegar, F., 2011. *Battery electric vehicles, hydrogen fuel cells and biofuels. Which will be the winner?*. ICEPT Working Paper. Imperial College Centre for Energy Policy and Technology. Available at: <<https://workspace.imperial.ac.uk/icept/Public/Battery%20electric%20vehicles%20biofuels%20hydrogen%20fuel%20cell%20which%20will%20be%20the%20winner.pdf> > [Accessed 22 December 2013].
- Cools, M., Moons, E., Janssens, B., Wets, G., 2009. Shifting towards environment-friendly modes: profiling travelers using Q-methodology. *Transportation*. 36 pp. 437–453.
- Coronado, L., 2014. *Perspectivas de movilidad y logística urbana para un transporte universitario sustentable*. Tesina de posgrado. Hermosillo, Departamento de ingeniería Industrial, Especialidad en Desarrollo Sustentable, Universidad de Sonora.
- Cummins, 2014. *Biodiesel FAQ*. [Online]. Available at: <<http://cumminsengines.com/biodiesel-faq>> [Accessed 12 Jun 2015].

- Currie, G., Wallis, I., 2008. Effective ways to grow urban bus markets—a synthesis of evidence. *Journal of Transport Geography*. 16 pp. 419–429.
- Dalkmann, H., & Sakamoto, K., 2011. *Transport: Investing in energy and resource efficiency*. Green economy report. UNEP. [Online] Available at: <http://www.unep.org/transport/lowcarbon/newsletter/pdf/GER_10_Transport.pdf> [Accessed 24 December 2013].
- Dalkmann, H., Brannigan, C., 2011. *Module 5e. Sustainable transport: A sourcebook for policy-makers in developing cities*. GTZ. Available at: <<http://www.sutp.org/en-dn-th5>> [Accessed 22 December 2013].
- Dalkmann, H., Huizenga, C., 2010. *Advancing sustainable, low carbon through the GEF, a STAP advisory document*. GEF-UNEP. Available at: <<http://www.thegef.org/gef/sites/thegef.org/files/publication/STAP-Sustainable%20transport.pdf>> [Accessed 28 November 2013].
- Dill, J., Giebe, J., 2008. Understanding and measuring bicycling behaviour: A focus on travel time and route choice, Oregon Transportation Research and Education Consortium (OTREC). [Online] Available at: <http://pdxscholar.library.pdx.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1027&context=usp_fac> [Accessed 25 December 2013].
- Dobranskyte-Niskota, A., Perujo, A., Jesinghaus, J., Jensen, P., 2009. *Indicators to Assess Sustainability of Transport Activities*. Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, European Commission. [Online] Available at: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/802/1/sust_transp_ind_report_final.pdf> [Accessed 26 October 2014].
- ELTIS, 2011. *Ethanol buses in Stockholm*. [Online]. Available at: <http://www.eltis.org/PDF/generate_pdf.php?study_id=1146&lan=en> [Accessed 07 Jun 2014].
- ELTIS, 2011b. *More than 400 ethanol buses in Stockholm (Sweden)* [Online]. Available at: <http://eltis.org/index.php?id=13&lang1=en&study_id=2575> [Accessed 07 Jun 2014].
- Eltit, V., 2011. Transporte urbano no motorizado: el potencial de la bicicleta en la ciudad de Temuco. *Revista INVI*. 26 pp. 153-184.
- EMTA, 2011. *News from the cities*. [Online]. Available at: <http://www.emta.com/IMG/pdf/news_43.pdf> [Accessed 27 May 2014].
- ENEA, 2011. Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development. *CarSharing results from Germany*. [Online]. Available at: <http://www.enea.it/it/enea_informa/events/momocar9giu11/Loose_EvaluationWorkshopRome09.06.2011.pdf> [Accessed 02 May 2014].
- ENVIRONMENT & HEALTH ADM, 2013. *Clean vehicles in Stockholm*. [Online]. Available at: <http://www.clean-fleets.eu/fileadmin/files/presentation_bremen_-_Stockholm-Ericson.pdf> [Accessed 07 Jun 2014].
- ENVIRONMENT & HEALTH ADM, 2013b. *Clean vehicles in Stockholm, Imagen, Biodiesel buses*. [Online]. Available at: <http://www.clean-fleets.eu/fileadmin/files/presentation_bremen_-_Stockholm-Ericson.pdf> [Accessed 11 Jun 2014].
- EPA, 2010. *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 – 2008, Figura, Emisiones de CO₂ procedentes de la quema de combustibles fósiles, por sector de uso final y por tipo de combustible*. [Online] Available at: <http://www.epa.gov/climatechange/Downloads/ghgemissions/508_Complete_GHG_1990_2008.pdf> [Accessed 03 November 2013].
- EPRI—Electric Power Research Institute, 2005. *Batteries for Electric Drive Vehicle— Status 2005: Performance, Durability, and Cost of Advanced Batteries for Electric, Hybrid Electric, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles* [Online] Available at: <<http://www.epri.com/search/Pages/results.aspx?k=Advanced%20Batteries%20for%20Electric-Drive%20Vehicles:%20A%20Technology%20and%20Cost-Effectiveness%20Assessment%20for%20Battery%20Electric%20Vehicles,%20Po>> [Accessed 29 November 2013].
- Eriksson, L., Friman, M., Garling, T., 2008. Stated reasons for reducing work-commute by car. *Transportation Research Part F*, 11. pp. 427–433.

- ESSENT, 2014. *Hoe werkt het?* [Online]. Available at: <https://acties.essent.nl/amsterdamelektrisch/hoe_werkt_het/hoe_werkt_het.html> [Accessed 02 Jun 2014].
- EUROPEAN COMMISSION, 1999. *cycling: the way ahead for towns and cities*. [Online]. Available at: <http://ec.europa.eu/environment/archives/cycling/cycling_en.pdf> [Accessed 28 May 2014].
- EUROPEAN COMMISSION, 2012. ELECTROMOBILITY – *Guiding Europe's journey towards greener transport*. [Online]. Available at: <http://ec.europa.eu/research/infocentre/article_en.cfm?id=/research/star/index_en.cfm?p=ss-electromobility&calledby=infocentre&item=Countries&artid=25953&caller=SuccessStories> [Accessed 11 Jun 2015].
- FMTBUD, 2011. Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development. *Bicycle Parking at Train Stations*. [Online]. Available at: <<http://www.nationaler-radverkehrsplan.de/en/transferstelle/downloads/cye-i-06.pdf>> [Accessed 28 May 2014].
- Farooq, M., Ramli, A., Naeem, A., 2015. Biodiesel production from low FFA waste cooking oil using heterogeneous catalyst derived from chicken bones. *Renewable energy*. 76 pp. 362-368.
- Ford, 2013. *FOCUS 2014* [Online] Available at: <<http://www.ford.com/cars/focus/>> [Accessed 29 November 2013].
- FORDONSGAS, 2014. *Home*. [Online]. Available at: <http://www.fordonsgas.se/English_Home_DXNI-779_>> [Accessed 09 Jun 2014].
- Foro de Transporte Sostenible de América Latina, 2011. *Declaración de Bogotá e Objetivos de Transporte Sostenible, Bogotá. Junio 23 y 24 de 2011*. Available at: <<http://www.uncrdlac.org/fts/declaracion.html>> [Accessed 28 November 2013].
- FUEL CELLS 2000, 2013. *Benefits*. [Online] Available at: <<http://www.fuelcells.org/base.cgim?template=benefits>> [Accessed 29 December 2013].
- Ganduglia, F., 2009. Manual de biocombustibles. IICA-arpel. [Online] Available at: <http://www.fca.proed.unc.edu.ar/file.php/66/BIOCOMBUSTIBLES/Manual_Biocombustibles_ARPEL_IICA.pdf> [Accessed 27 December 2013].
- Gardner, G.T., Stern, P.C., 1996. *Environmental Problems and Human Behavior*. Pearson PLC: London.
- Gas Natural Fenosa, 2013. *The first compressed natural gas bus converted to hybrid electric is rolled out for passenger service*. [Online] Available at: <<http://www.gasnaturalfenosa.com/en/home/press+room/news/1285338473668/1358770624734/the+first+compressed+natural+gas+bus+converted+to+hybrid+electric+is+rolled+out+for+passenger+service.html>> [Accessed 27 May 2014].
- GAZETA DO POVO, 2013. *São Lourenço terá novo bicicletário, Imagen, Desde fevereiro mais de 470 bikes foram alugadas nos dois bicicletários administrados pela Bicicletaria.Net*. [Online] Available at: <<http://www.gazetadopovo.com.br/vidaecidadania/conteudo.phtml?id=1358758>> [Accessed 15 Oct 2014].
- GCC, 2012. Green Car Congress. *ABB introducing new DC fast-charger in Europe for €9,988*. [Online]. Available at: <<http://www.greencarcongress.com/2012/03/abb-20120328.html>> [Accessed 04 Jun 2014].
- Gemeente Amsterdam, 2015. *Amsterdam Elektrisch*. [Online] Available at: <<http://www.amsterdam.nl/parkeren-verkeer/amsterdam-elektrisch/>> [Accessed 10 Jun 2015].
- Glithero, N., Wilson, P., Ramsden, S., 2013. Straw use and availability for second generation biofuels in England. *Biomass & Bioenergy*. 55 pp. 311-321.
- Gondo, T., 2010. Towards a Sustainable Urban Transport System: An Analysis of the Epistemology and Planning Policy Direction for Non-Motorized Transport in Ethiopian Cities. *The IUP Journal of Infrastructure*. 8 (3).
- Graver, B.M., Frey, H.C., Choi, H.W., 2011. In-use measurement of activity , energy use, and emissions of a plug-in hybrid electric vehicle. *Environmental Science Technology* 45 (20) pp.9044–9051.
- Greene, D., Wegener, M., 1997. Sustainable transport. *Journal of transport Geography*. 5 pp. 177-190.
- Greene., D., 1992. Vehicle use and fuel economy: how big is the 'Rebound' effect? *The Energy Journal* 13(1) pp.117-143.
- Gudmundsson, H., Ericsson, E., Tight, M., Lawler, M., Envall, P., Figueroa, M., Evanth, K., 2012. The Role of Decision Support in the Implementation of "Sustainable Transport" Plans. *European Planning Studies*. 20 (2) pp. 171-191.
- Gupta, R., 2008. *Hydrogen Fuel: Production, Transport, and Storage*. CRC Press: USA

- GVB, 2014. *About GVB*. [Online]. Available at: <<http://en.gvb.nl/overgvb/Pages/OverGVB.aspx>> [Accessed 27 May 2014].
- GVB, 2014b. *About GVB, Imagen, Components of the bus 1 y 2*. [Online]. Available at: <<http://en.gvb.nl/overgvb/brandstofcelbus/Pages/Onderdelen-bus.aspx>> [Accessed 29 May 2014].
- He, A., 2013. BYD's electric bus on Big Apple's streets. *CHINA DAILY USA*. [Online]. 18 september. Available at: <http://usa.chinadaily.com.cn/epaper/2013-09/18/content_16978814.htm> [Accessed 27 May 2014].
- Hidalgo, D., Huizenga, C., 2013. Implementation of sustainable urban transport in Latin America. *Research in Transportation Economics*. 40 pp. 66-77.
- Hirschhorn, J., Oldenburg, K., 1991. *Prosperity Without Pollution: The Prevention Strategy for Industry and Consumers*. Van Nostrand Reinhold: New York.
- Holden E., Gilpin., G., 2013. Biofuels and Sustainable Transport: A Conceptual Discussion. *Sustainability*. 5 pp. 3129-3149.
- Holden, E., 2007. *Achieving Sustainable Mobility: Everyday and Leisure-Time Travel in the EU*; Ashgate: Aldershot, UK.
- HOME BIODIESEL KITS, 2012. *Biodiesel processors, Imagen, Freedom Fueler Biodiesel Processor*. [Online]. Available at: <<http://www.homebiodiesekits.com/fulofrfu.html>> [Accessed 20 Oct 2014].
- Hui-Kuan,T., JyS, W., Xiaoshuai L., 2013. Affordability of electric vehicles for a sustainable transport system: An economic and environmental analysis. *Energy Policy* 61, pp. 441-447.
- Hui-Kuan,T., JyS, W., Xiaoshuai L., 2013b. Lifetime emissions costs for vehicle upstream and tailpipe exhaust (2012 dollars), Tabla, Affordability of electric vehicles for a sustainable transport system: An economic and environmental analysis. *Energy Policy* 61, pp. 441-447.
- Hui-Kuan,T., JyS, W., Xiaoshuai L., 2013c. Lifetime combined emissions cost (2012 dollars), Tabla, Affordability of electric vehicles for a sustainable transport system: An economic and environmental analysis. *Energy Policy* 61, pp. 441-447.
- Hussain, M.M., I. Dincer and X. Li, 2007. A preliminary life cycle assessment of PEM fuel cell powered HyFLEET:CUTE, 2009. *Hydrogen Transports: Bus Technology & Fuel for Today and for a Sustainable Future*. [Online]. Available at: <http://gofuelcellbus.com/uploads/HyFLEETCUTE_Brochure_Web.pdf> [Accessed 28 May 2014].
- IEA, 2007. IEA Energy Technology Essentials: Fuel Cells. International Energy Agency.
- IEA, 2010. *CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights*. International Energy Agency: Paris.
- IEA, 2011. *Technology Roadmap: Biofuels for Transport*. [Online] Available at: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/biofuels_roadmap.pdf> [Accessed 24 Ago 2014].
- IEA, 2012. *Energy Technology Perspectives 2012, Pathways to a Clean Energy System* [Online] Available at: <<http://www.iea.org/Textbase/npsum/ETP2012SUM.pdf>> [Accessed 30 November 2013].
- INTA, 2001. *Estudios de rendimiento comparativo gasoil–biodiesel B100 y B20*. [Online] Available at: <http://www.biodiesel.com.ar/download/INTA_biodiesel.pdf> [Accessed 24 Ago 2014].
- IPCC, 2007. *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007, Figura, Participación de los diferentes sectores en las emisiones totales de GEI antropogénicos en 2004 en términos de CO₂-eq*. [online] Available at: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf> [Accessed 03 November 2013].
- IPCC, 2011b. *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*; Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press: New York, NY, USA
- ITDP, 2009. Institute for Transportation & Development Policy. Manual de bicicletários. [Online] Available at: <http://www.itdpbrasil.org.br/attachments/article/101/Manual_ASCOBIKE_Abril_2009.pdf> [Accessed 24 April 2014].
- ITDP, 2010. *Guía de Planificación de Sistemas BRT*. [Online] Available at: <<https://go.itdp.org/pages/viewpage.action?pagelId=45975189>> [Accessed 25 April 2014].
- Jerez, S.M., Torres, L.P., 2012. *Manual de diseño de infraestructura peatonal urbana (UPTC)*. [Online] Available at: <<http://es.scribd.com/doc/218701596/Manual-Diseno-Infraestructura-Peatonal-Urbana>> [Accessed 23 April 2014].
- Jiménez, D., 2011. Centro de préstamo, rutas y módulos de servicio para el uso de la bicicleta como medio de transporte interno en la Unidad Regional Centro de la Universidad de Sonora. Tesis de licenciatura.

- Hermosillo, Departamento de Humanidades y Bellas Artes, Licenciatura en Arquitectura, Universidad de Sonora.
- Kingham, S., Dickinson, J., Copsey, S., 2001. Travelling to work: will people move out of their cars. *Transport Policy*. 8 (2) pp. 151–160.
- Komanoff, C., Roelofs, C., Orcutt, J. and Ketcham, B., 1993. Environmental benefits of bicycling and walking in the United States. *Transport. Res. Rec.* 1405 pp.7–12
- Kong, L., Xiong, Y., Tian, S., Li, Z., Liu, T., Luo, R., 2013. (in press) Intertwining action of additional fiber in preparation of waste sawdust for biofuel pellets. *Biomass and Bioenergy*. (accepted for publication October 2013).
- Konishi, H., Mun, S., 2010. Carpooling and congestion pricing: HOV and HOT lanes. *Regional Science and Urban Economics*. 40 (4) pp. 173–186.
- Krause, R., Carley, S., Lane, B., Graham, J., 2013. Perception and reality: Public knowledge of plug-in electric vehicles in 21 U.S. cities. *Energy Policy*. 63 pp. 433-440.
- KTH, 2012. Royal Institute of Technology. *Biodiesel Supply Chain Dynamics*. [Online]. Available at: <https://www.kth.se/social/upload/507d4fd5f27654526500001/Biodiesel%20Supply%20Chain%20Dynamics%20_%20Mid-term%20Report.pdf> [Accessed 10 Jun 2014].
- Kukkone, C., Shelef, M., 1992. *Alternate Fuels*, National Research Council and National Academy of Engineering, National Academies Press, Washington, DC. Tabla (adaptada por Ram B. Gupta, 2008).
- Kurani, K.S., Turrentine, T., Sperling, D., 1996. Testing electric vehicle demand in 'hybrid house holds' using a reflexive survey. *Transportation Research D* 12 pp. 131–150.
- LA REPUBBLICA, 2011. *Irisbus chiude, ma assicura: "Nessuna conseguenza per il Civis"*, *Imagen, Irisbus civis*. [Online]. Available at: <http://bologna.repubblica.it/cronaca/2011/09/14/news/irisbus_chiude_ma_assicura_nessuna_conseguenza_per_il_civis-21661542/> [Accessed 11 Jun 2014].
- LA VANGUARDIA, 2014. *La nueva red de bus de Barcelona se ampliará con cuatro líneas más en septiembre de 2014*. [Online]. Available at: <<http://www.lavanguardia.com/politica/20140310/54402235629/la-nova-xarxa-de-bus-se-ampliará-con-cuatro-lineas-mas-en-septiembre-de-2014.html>> [Accessed 27 May 2014].
- Larsen, L., Rudbeck, M., Frederiksen, P., 2013. Scenarios for biofuel demands, biomass production and land use e The case of Denmark. *Biomass & Bioenergy*. 55 pp. 27-40.
- Lashof, D., Ahuja, D., 1990. Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming. *Nature* 344, pp.529–531.
- Ley, D., 2013. *ENERGÍA RENOVABLE: MÁS ALLÁ DE LA TECNOLOGÍA, EL FACTOR HUMANO Y LAS BARRERAS "NO TÉCNICAS"*. [Online] (update on 27 march 2013) Available at: <<http://latinoamericarenovable.com/?p=4345>> [Accessed 26 December 2013].
- Litman, T., 2013. *Developing Indicators for Sustainable and Livable Transport Planning*. Victoria Transport Policy Institute [online] Available at: <<http://www.vtpi.org/wellmeas.pdf>> [Accessed 28 November 2013].
- Lodden, U.B., 2002. *Potencial de las bicicletas en las ciudades y pueblos de Noruega*. TØI rapport 561/2002, Institute of Transport Economics, Oslo. [online] Available at: <<https://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%C3%98I%20rapporter/2002/561-2002/561-2002-elektronisk.pdf>> [Accessed 03 December 2013].
- Loo, B., 2008. Editorial. *International journal of sustainable transportation*. 2 pp.135–137.
- Maslin, M., 2007. *Global Warming: Causes, Effects, and the Future*. MBI: USA.
- McKinsey & Co., 2010. *A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis. The role of Battery Electric Vehicles, Plug-in Hybrids and Fuel Cell Electric Vehicles*. [Online] Available at: <http://ec.europa.eu/research/fch/pdf/a_portfolio_of_power_trains_for_europe_a_fact_based_analysis.pdf> [Accessed 30 November 2013].
- Melero J., Iglesias J., Garcia A., 2012. Biomass as renewable feedstock in standard refinery units. Feasibility, opportunities and challenges. *Energy Environ Sci*. 5:7 pp.393-420.
- Miller, T., Spoolman, S., 2010. *Environmental Science*. Cengage Learning: USA.
- Minett, P., Pearce, J., 2011. Estimating the Energy Consumption Impact of Casual Carpooling. *Energies*. 4 pp.126-139

- MOBILIZE, 2012. *Rio Preto 'desperdiça' 16 km de ciclovias*. [Online] Available at: <http://www.mobilize.org.br/noticias/3194/rio-preto-desperdica-16-km-de-ciclovias.html> [Accessed 24 April 2014].
- MoEF, 2009. Ministry of Environment and Forests Government of India. *INDIA'S GHG Emissions Profile. Results of Five Climate Modelling Studies*. [Online] Available at: http://engl.mosmetro.ru/pages/page_0.php?id_page=4 [Accessed 03 December 2013].
- Mohr & Raman, 2013. Lessons from first generation biofuels and implications for the sustainability appraisal of second generation biofuels. *Energy policy*. 63 pp. 114-122.
- Moreno, A., 2014. *Perspectivas Sociales de un Transporte Universitario Sustentable en la Universidad de Sonora*. Tesina de posgrado. Hermosillo, Departamento de ingeniería Industrial, Especialidad en Desarrollo Sustentable, Universidad de Sonora.
- Moreno, A., 2014b. *Perspectivas Sociales de un Transporte Universitario Sustentable en la Universidad de Sonora, Figura, Distribución modal de los usuarios ocasionales, por zona*. Tesina de posgrado. Hermosillo, Departamento de ingeniería Industrial, Especialidad en Desarrollo Sustentable, Universidad de Sonora.
- MOSCOW METRO, 2014. *Lines & stations, Imagen, map*. [Online] Available at: http://engl.mosmetro.ru/pages/page_0.php?id_page=4 [Accessed 15 Oct 2014].
- MOTIVA, 2010. *The State of European Car-Sharing*. [Online] Available at: http://www.motiva.fi/files/4138/WP2_Final_Report.pdf [Accessed 04 May 2014].
- Murray, A., 2000. *World Trolleybus Encyclopaedia*. Trolleybooks: UK.
- Natural Resources Defense Council, 2007. The Next Generation of Hybrid Cars: Plug-in Hybrids Can Help Reduce Global Warming and Slash Oil Dependency. [online] Available at: <https://www.nrdc.org/energy/plugin.pdf> > [Accessed 24 December 2013].
- NHTS, 2009. National Household Travel Survey, USDOT, 2009. [online] Available at: <http://nhts.orl.gov/2009/pub/stt.pdf> > [Accessed 29 December 2013].
- NICHES, 2007. *New Non-polluting and Energy Efficient Vehicles: Biogas in Captive Fleets*. [Online]. Available at: http://www.niches-transport.org/fileadmin/archive/Deliverables/D4.3b_5.8_b_PolicyNotes/14685_pn10_lift_biogas_ok_low.pdf > [Accessed 07 Jun 2014].
- Nikitas, A., Karlsson, M., 2015. A Worldwide State-of-the-Art Analysis for Bus Rapid Transit: Looking for the Success Formula. *Journal of Public Transportation*. 18 pp. 1-33.
- NL TIMES, 2013. *Electric buses coming to Schiphol, Imagen, BYD all-electric bus used in Friesland*. [Online]. Available at: <http://www.nltimes.nl/2013/07/22/electric-buses-coming-to-schiphol/> [Accessed 29 May 2014].
- Noland, R.B., Cowart, W.A., Fulton, L.M., 2006. Travel demand policies for saving oil during a supply emergency. *Energy Policy*. pp. 34, 2994–3005.
- OECD, 1996. Towards Sustainable Transportation. [online] Available at: <http://www.oecd.org/greengrowth/greening-transport/2396815.pdf> > [Accessed 29 December 2013].
- OECD, 1998. *Sustainable development and environment: A renewed effort in the OECD*. [online] Available at: <http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1010052116045#page-1> > [Accessed 20 October 2013].
- OECD, 2000. *Environmentally Sustainable Transport, futures, strategies and best practices, Synthesis Report, Figura citada en Holden & Gilpin (2013), Importancia relativa de cada una de las estrategias para alcanzar un transporte sustentable*. International est! Conference, 4th to 6th October. Vienna, Austria. Available at: <http://estest.unep.ch/phocadownload/oecd0001.pdf> > [Accessed 22 December 2013].
- Offer, G., Howey, D., Contestabile, M., Clague, R., Brandon, N., 2010. Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system. *Energy Policy* 38, pp. 24–29.
- Oldenburg, K., Geiser, K., 1997. Pollution prevention and.. or industrial ecology? *Cleaner Production* 5 pp. 103-108.
- Olsson, L., & Falde, M 2014, 'Waste(d) potential: a socio-technical analysis of biogas production and use in Sweden', *Journal Of Cleaner Production*, Scopus®, EBSCOhost, viewed 9 June 2014.
- Oreskes, N., 2004. The scientific consensus on climate change. *Science* 306, pp.1686.
- Organización de las Naciones Unidas, 1987. *Report of the World Commission on Environment and Development. General assembly resolution 42/187, 11 December 1987*. [online] Available at: <http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm> > [Accessed 28 November 2013].

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2001. *Policy Instruments for Achieving Project Environmentally Sustainable Transport*. Available <<http://www.oecd-ilibrary.org/>> [Accessed 20 October 2013].
- Oscar, P., Kruithof, T., Turkenburg, W., Faaij, A., 2010. Techno-economic comparison of series hybrid, plug-in hybrid, fuel cell and regular cars. *Journal of Power Sources* 195, pp. 6570–6585.
- ÖstgötaTrafiken, 2014. *Welcome to ÖstgötaTrafiken*. [Online] Available at: <<https://www.ostgotatrafiken.se/en/OstgotaTrafiken-in-english/>> [Accessed 07 Jun 2014].
- Paladugula, A.L., Rathi, S., 2013. Estrategies to reduce energy use for commuting by employees. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 104 pp. 952 – 961.
- Paladugula, A.L., Rathi, S., 2013b. Strategies comparison, Tabla, Estrategies to reduce energy use for commuting by employees. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 104 pp. 952 – 961.
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático, 2011a. (IPCC) *Special report on renewable energy sources and climate change mitigation*. [Online] Available at: <<http://rael.berkeley.edu/sites/default/files/IPCC%202011-%20Special%20Report%20on%20Renewable%20Energy%20Sources%20and%20Climate%20Change%20Mitigation.pdf>> [Accessed 27 December 2013].
- Pendakur, V. S., Badami, M. G., Lin, Y. R., 1995. Non-motorized transportation equivalents in urban transport planning. *Transport. Res. Rec.* 1487 pp. 49–55.
- Pesaran, A., Market, T., Tataria, H., and Howell, D., 2007. Battery requirements for plug-in hybrid electric vehicles: analysis and rationale. Paper presented at the 23rd International Electric Vehicle Symposium and Exposition (EVS-23), Anaheim, California, December 2007.
- PHOTOTRANS, 2010. *Regia Autonoma de Transport Ploiești - Ploiești, Imagen, Neoplan N6121 #826*. [Online] Available at: <http://phototrans.eu/14,450645,0,Neoplan_N6121_826.html> [Accessed 11 Jun 2014].
- PLAN NACIONAL DE CICLOVIAS, 2013. *MANUAL DE DISEÑO PARA INFRAESTRUCTURA DE CICLOVIAS*. [Online] Available at: <http://www.cicloviasecuador.gob.ec/biblioteca/doc_download/12-manual-de-diseno-para-infraestructura-de-cicloviasecuador.pdf> [Accessed 24 April 2014].
- Poortinga, W., Steg, L., Vlek, C., Wiersma, G., 2003. Household preferences for energy-saving measures. A conjoint analysis. *Journal of Economic Psychology* 24 (1), pp. 49–64.
- Rastogi, R., 2011. Promotion of non-motorized modes as a sustainable transportation option: policy and planning issues. *Current Science*. 100 pp. 1340-1348.
- Reichmuth, D., 2013. *All Eyes on Hydrogen Fuel Cell Vehicles at the LA Auto Show*. [online] Available at: <<http://blog.ucsusa.org/all-eyes-on-hydrogen-fuel-cell-vehicles-at-the-la-auto-show-308>> [Accessed 29 December 2013].
- Ricardo, 2013. *Preparing a low CO2 technology roadmap for buses*. [Online]. Available at: <<file:///C:/Users/Sara/Downloads/LowCVP-Ricardo+Bus+Roadmap+FINAL.pdf>> [Accessed 27 May 2014].
- Rifkin, J., 2002. *The Hydrogen Economy*. Penguin Putnam Inc.: New York.
- Saelensminde, K., 2004. Cost–benefit analyses of walking and cycling track networks taking into account insecurity, health effects and external costs of motorized traffic. *Transportation Research Part A*. 38 pp. 593–606.
- Saelensminde, K., 2004b. Benefits and costs (based on best estimates of future pedestrian and bicycle traffic) of investments in walking and cycling track networks in Hokksund, Hamar and Trondheim, Tabla, Cost–benefit analyses of walking and cycling track networks taking into account insecurity, health effects and external costs of motorized traffic. *Transportation Research Part A*. 38 pp. 593–606.
- Sager, J., Apte, J.S., Lemoine, D.M., Kammen, D.M., 2011. Reduce growth rate of light-duty vehicle travel to meet 2050 global climate goals. *Environ. Res. Lett.* 024018 (6pp).
- Santoso, D.S., Yajima, M., Sakamoto, K., Kubota, H., 2012. Opportunities and strategies for increasing bus ridership in rural Japan: A case study of Hidaka City. *Transport Policy*. 24 pp. 320–329.
- Sarkar, P., Pratiti, T., 2011. An approach to the development of sustainable urban transport system in Kolkata. *Sustainable Transport*. 100 pp. 1349-1361.
- Satyapal, S., Petrovic, J., Read, C., Thomas, G., Ordaz, G., 2007. The U.S. department of energy’s national hydrogen storage project: Progress towards meeting hydrogen-powered vehicle requirements. *Catal Today*. 120 pp. 246–256.

- SCANIA, 2006. *Ethanol buses: Experiences and prospects for sustainable urban transport*. [Online]. Available at: <http://www.baff.info/filer/bioethanolondon/6_scania.pdf> [Accessed 07 Jun 2014].
- SEKAB, 2011. *How we create sustainable transport*. [Online]. Available at: <<http://www.sekab.com/biofuel/ed95-for-sustainable-transport>> [Accessed 07 Jun 2014].
- SENER, 2012. *Prospectiva del sector electric 2012-2026*. [Online]. Available at: <http://sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/PSE_2012_2026.pdf> [Accessed 27 Jul 2015].
- SEPA, 2011. Swedish Environmental Protection Agency. *Biogas is on the up in Stockholm bus services*. [Online] Available at: <<http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-8535-3.pdf>> [Accessed 07 Jun 2014].
- Shiau, T., 2012. Evaluating sustainable transport strategies with incomplete information for Taipei City. *Transportation Research Part D* 17(6) pp.427–432.
- Shiau, T., 2013. Evaluating sustainable transport strategies for the counties of Taiwan based on their degree of urbanization. *Transport Policy*. 30 pp.101–108
- Steg, L., Gifford, R., 2005. Sustainable transportation and quality of life. *Journal of Transport Geography*. 13 pp. 59–69.
- Stewart, B., Prillwitz, J., 2012. Lead has become carbon dioxide: framing sustainable travel in an age of climate change. *Local Environment*. 17 (4) pp. 425–440
- Stockholms Läns Landsting, 2014. *Bättre förbindelser och ökad framkomlighet*. [Online]. Available at: <<http://www.tmr.sll.se/Vart-uppdrag/Flerpartsprojekt/Trafiksatsning-Stockholm1/Budskapet/1-Battre-forbindelser-och-okad-framkomlighet/>> [Accessed 07 Jun 2014].
- Streimikiene, D., Balezentis, T., Balezentiene, L., 2013. Comparative assessment of road transport technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 20 pp. 611–618
- SUGAR CANE, 2015. *Ethanol*. [Online]. Available at: <<http://sugarcane.org/sugarcane-products/ethanol>> [Accessed 10 Jun 2015].
- SWEDISH BIOGAS, 2011. *Reference plants: Linköping*. [Online]. Available at: <<http://www.swedishbiogas.com/index.php/en/reference-plants/sweden/lidkoeping>> [Accessed 07 Jun 2014].
- TMB, 2011. *Innovation in BARCELONA CITY: TMB experience* [Online]. Available at: <http://www.dbus.es/descargas/adjuntos-noticias/civitas/TMB_BARCELONA_Josep_Maria_Armengol.pdf> [Accessed 27 May 2014].
- TMB, 2011b. *Innovation in BARCELONA CITY: TMB experience, Imagen, Apariencia de los diferentes sistemas híbridos al desnudo*. [Online]. Available at: <http://www.dbus.es/descargas/adjuntos-noticias/civitas/TMB_BARCELONA_Josep_Maria_Armengol.pdf> [Accessed 29 May 2014].
- TMB, 2012. *La flota de autobuses urbanos de Barcelona se convierte en la más limpia de Europa* [Online]. Available at: <http://www.tmb.cat/es/c/document_library/get_file?uuid=0aa7195b-91e2-4b6b-80e7-056a31e09c5f&groupId=10168> [Accessed 27 May 2014].
- TMB, 2012b. Segon seguiment del Pla Director de Sostenibilitat Ambiental de TMB. [Online]. Available at: <http://www.tmb.cat/ca/c/document_library/get_file?uuid=a5686b16-fdd9-4b42-876b-ec3ab3696912&groupId=10168> [Accessed 11 Jun 2015].
- TMB, 2013. *The first compressed natural gas-powered bus converted into an electric hybrid joins the passenger service fleet*. [Online]. Available at: <<http://www.tmb.cat/en/sala-de-premsa/-/seccio/noticies/innovacio/noticies-bus-hibrid-gnc-passatgers-20130118-innovacio>> [Accessed 27 May 2014].
- TMB, 2014. *Presentació autobusos híbrids i avanç fase 2014 NXB*. [Online]. Available at: <http://de.slideshare.net/TMB_Barcelona/presentaci-autobusos-hbrids-i-avan-fase-2014-nova-xarxa-bus-v03?utm_source=slideshow03&utm_medium=ssemail&utm_campaign=iupload_share_slideshow> [Accessed 27 May 2014].
- Tollefson, J., 2008. Car industry: charging up the future, *Nature News*, pp. 236–440.
- Transport of London, 2004. *CREATING a chain reaction*. [online] Available at: <<http://www.tfl.gov.uk/static/corporate/media/newscentre/archive/4383.html>> [Accessed 25 December 2013].
- TROLLEY, 2013. Transport Mode Efficiency Analysis: *Comparison of financial and economic efficiency between bus and trolleybus systems*. [Online]. Available at: <[86](http://www.trolley-</p>
</div>
<div data-bbox=)

- project.eu/fileadmin/user_upload/download/TROLLEY_WP4_Transport_Mode_Efficiency_Analysis_Bus_vs_Trolleybus.pdf> [Accessed 11 Jun 2014].
- TWENERGY, 2012. *Nuevos autobuses híbridos en Málaga*. [Online]. Available at: <<http://twenergy.com/coches-electricos/nuevos-autobuses-hibridos-en-malaga-68>> [Accessed 27 May 2014].
- Tyrinopoulos, Y., Antoniou, C., 2008. Public transit user satisfaction: variability and policy implications. *Transport Policy*. 15. pp. 260–272.
- UITP, 2006. Hacia una trayectoria de desarrollo verde, Figura, PIB per capita vs contribución al modo de transporte motorizado-privado. [online] Available at: <http://www.unep.org/transport/lowcarbon/newsletter/pdf/GER_10_Transport.pdf> [Accessed 24 December 2013].
- UNEP, 2009. *Towards a Sustainable Production and Use of Resources: Assessing Biofuels*; United Nations Environmental Programme: Nairobi, Kenya [Online] Available at:<http://www.unep.org/PDF/Assessing_Biofuels.pdf> [Accessed 03 December 2013].
- UNICA, 2007. *Produção e uso do Etanol combustível no Brasil*. [Online]. Available at: <http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/publicacoes/etanol/producao_etanol_unica.pdf> [Accessed 23 April 2014].
- United Nations, 1992. *Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. [online] Available at: <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>> [Accessed 03 November 2013].
- US Department of Energy, 2010. *The Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation (GREET) Model*. Argonne National Laboratory, Washington, DC. Available at: <<http://greet.es.anl.gov/>> [Accessed 23 December 2013].
- VA DE BIKE, 2014. *Ciclovia, ciclofaixa, ciclorrota e espaço compartilhado*. [Online]. Available at: <<http://vadebike.org/2011/05/ciclovia-ciclofaixa-ciclo-rota-e-espaco-compartilhado/>> [Accessed 13 Jun 2015].
- Valenti, C., 2014. *Entrevista en las instalaciones de Avancar Barcelona*. Interviewd by Sara Verdugo. [Face] 12 May 2014, 11:30.
- VDOT, 2006. Dynamic Ridesharing (Slugging) Data; Technical Report for Virginia Department of Transport: Chantilly, VA, USA, June 2006.
- Verhoef, E., 1996. Tipología de los costes externos del transporte, Figura, *The External costs of Road Transport in the Netherlands. Blueprint 5: The True Cost of Road Transport*. Earthscan: London.
- Vigar, G., 2000. Local 'Barriers' to Environmentally Sustainable Transport Planning. *Local Environment*. 5 pp. 19–32.
- Wu, H, Dunn, S., C., 1995. Environmentally responsible logistics systems. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 25 (2) pp. 20-38.
- Yang, H., Huang, H., 1999. Carpooling and congestion pricing in a multilane highway with high-occupancy vehicle lanes. *Transportation Research Part A*. 33 pp. 139–155.
- Zamora, U., Campos, H., Calderón, J.R., 2013. Bus Rapid Transit (BRT) en ciudades de América Latina, los casos de Bogotá (Colombia) y Curitiba (Brasil). *Quivera*. 15 (2013-1) pp. 101-118.
- ZIPCAR, 2015. *Is zipcar for me?*. [Online]. Available at: <<http://www.zipcar.com/is-it#savingsversusownership>> [Accessed 10 June 2015].

ANEXO A

DESCRIPCIÓN DE LAS ACCIONES DE REDUCCIÓN

Redes ciclovias y peatonales

Administración

- Las administraciones de las ciudades facilitan con políticas públicas de movilidad el acceso de los ciudadanos al trabajo, al estudio, a los servicios y al ocio mediante modos de transporte que intentan conjugar la máxima libertad de acceso con la estabilización o reducción del consumo de combustibles fósiles.
- Además de una infraestructura adecuada, es muy importante contar con buenas condiciones de seguridad para el uso del sistema ciclovias y peatonal; cuidar siempre detalles de iluminación, y cuando algunos segmentos de las vías atraviesen zonas de media o alta peligrosidad, debe ser considerada la implementación de algún sistema de seguridad, ya sea electrónico (cámaras, alarmas, etc.) y/o humano (cuerpos de seguridad) para prevenir situaciones como asaltos, robos y vandalismo que puedan afectar a los usuarios.

Educación

- Para propiciar el uso correcto del sistema y una tasa de accidentalidad baja o nula, son impartidos por diferentes entidades, programas educativos que capacitan a la población en la percepción de riesgos y conocimiento del reglamento de tránsito, los cuales son muy importantes considerando que hay interacción con el tránsito de vehículos motorizados.
- Para incrementar la incidencia en el uso de la bicicleta, se llevan a cabo programas motivacionales que intentan lograr un cambio de comportamiento en el individuo, reduciendo el dominio psicológico del automóvil sobre la concepción de movilidad.

Infraestructura

- Los sistemas de bicicletas compartidas son un conjunto de bicicletas, propiedad de diversas empresas privadas, puestas a disposición del público en diferentes puntos estratégicos de una ciudad para que sean utilizadas temporalmente como medio de transporte. Estos sistemas permiten recoger la bicicleta en un punto y devolverla en otro, para que el usuario solo requiera tener la bicicleta en su posesión durante el desplazamiento. La forma de obtener el vehículo varía de una empresa a otra (generalmente es con el uso de una aplicación de Smartphone, introduciendo alguna clave de registro o mediante una llamada telefónica), del mismo modo que las tasas de cobro en relación con el tiempo de uso.

Para hacer uso de estos sistemas, es necesario un registro previo en línea, donde además de los datos personales del usuario, se solicita la requisición de una tarjeta de crédito. La mayoría de las

empresas ofrecen un periodo de tiempo inicial gratuito del servicio (los primeros 30-60 minutos de uso), y en caso de excederlo se hace el cargo automático a la tarjeta proporcionada.

- Una infraestructura pedestre adecuada debe cumplir con ciertas características para su buen funcionamiento. El diseño y los materiales utilizados influyen en la comodidad del usuario y por lo tanto en la incidencia de uso; por ejemplo, senderos amplios con superficies antiderrapantes y con buen amortiguamiento de la pisada; materiales y colores que no se calienten demasiado, de preferencia sombreados y con disponibilidad en ciertos puntos de resguardarse de la lluvia, etc. Otra característica muy importante es que estas tengan buenas conexiones con los lugares de destino a lo que se desea llegar y con otros medios de transporte para poder hacer combinaciones.

La seguridad es indispensable para que los usuarios no desistan de utilizar este medio de transporte; senderos iluminados, evitar tramos que atraviesen por zonas aisladas o peligrosas, o de ser así, que estas secciones cuenten con algún sistema de vigilancia.

- La disponibilidad de aparcamiento para bicicletas, facilita y agiliza el proceso de descenso y brinda mayor seguridad al usuario de dejar su vehículo. Este es otro factor que puede aumentar la incidencia del uso de la bicicleta, haciendo sentir al ciclista bienvenido en todos los sitios donde pueda aparcar.

Existe una gran variedad de diseños de aparcamientos, los cuales compiten por lograr la mayor optimización del espacio y de los materiales.

- Las zonas de tráfico lento (velocidad máxima 30 km/hora), mejor conocidas por su nombre en inglés *Traffic calming zones*, fueron inicialmente aplicadas en áreas residenciales pero ahora se han extendido a diversas áreas de la ciudad, principalmente en el centro, con la finalidad de disminuir la velocidad y el dominio de los automóviles por las calles, brindando mayor espacio y calidad para los peatones y ciclistas, lo cual resulta en un mayor uso de transportes no motorizados y con ello toda una serie de beneficios ambientales y sociales. La implementación de estas zonas ha propiciado la disminución del uso del automóvil debido a que algunas personas llegan a desesperarse por tener que conducir tan lento y les parece más rápido y conveniente realizar trayectos cortos a pie o en bicicleta, cuando antes lo hacían en automóvil.
- Una característica recurrente en las ciudades europeas con alto porcentaje de uso de bicicleta como medio de transporte es la de un mayor espacio para la circulación de las mismas por calles y avenidas, sin importar la afluencia y magnitud de estas, no se observa un marcado dominio del automóvil, al respetarse el espacio para los ciclistas. En algunas ocasiones se puede observar que el espacio de circulación en las vías se comparte hasta en un 50%- 50% entre ciclistas y automovilistas. En cuanto a la señalización de tráfico, con la misma importancia, los ciclistas cuentan con su señalamiento particular, el cual deben respetar para no interferir y afectar la circulación de automovilistas y peatones.

Sistema de ascenso y descenso de estudiantes en las escuelas

Administración

- Los horarios de entrada y salida en ambos turnos (tabla A1), de los alumnos de *educación infantil (EI)* y *ensino fundamental I (EFI)* tienen desfases en comparación con los de *ensino fundamental II*

(EFII) y ensino medio (EM). Estas diferencias de horarios podrían reducir el congestionamiento vehicular. La equivalencia de niveles educativos entre México y Brasil está contenida en la tabla A2.

Tabla A1. Horarios de entrada y salida de los alumnos del Instituto Pioneros

| Nivel educativo | Turno matutino | | Turno vespertino | |
|-----------------|----------------|--------|------------------|--------|
| | Entrada | Salida | Entrada | Salida |
| El, EFI | 07.25 | 12.30 | 13.05 | 18.10 |
| EFII, EM | 07.00 | 12.40 | 13.00 | 18.40 |

Tabla A2. Equivalencia de niveles educativos entre México y Brasil

| Nivel escolar en Brasil | Nivel escolar en México | Duración |
|-------------------------|--|----------|
| Educación infantil | Preescolar | 3 años |
| Enseño fundamental I | Primaria de 1er a 5to grado | 5 años |
| Enseño fundamental II | Primaria 6to grado y secundaria de 1er a 3er grado | 4 años |
| Enseño medio | Preparatoria de 1er a 6to semestre | 3 años |

- Los automóviles siempre tratan de avanzar lo más que les sea posible sobre el carril para dar espacio a la entrada de una mayor cantidad de vehículos.
Hay 3 personas de apoyo a lo largo del carril, que en el momento justo en que un automóvil se detiene, ellos abren la puerta del automóvil, cogen la mochila u otros objetos y agilizan el proceso de descenso. Al momento del ascenso de los estudiantes, las personas de apoyo cuentan con micrófonos inalámbricos y van preguntando el nombre del estudiante al que se va a recoger para vocearlo en el patio central del instituto y que este venga de prisa a la puerta para subir al automóvil.

Infraestructura

- Toda la línea perimetral este del instituto que corresponde a estacionamiento vehicular, está acondicionada con el debido señalamiento (líneas pintadas sobre la calle, señales de tránsito y conos naranjas) para que esta funcione como un carril de ascenso y descenso rápido. Los automóviles solamente pueden detenerse si se encuentran sobre este carril.

Automóvil compartido o *carsharing*

Administración

- Para poder utilizar el sistema, es necesario acceder a la página web de la empresa seleccionada y realizar un registro en línea (algunas empresas permiten hacer el registro directamente en las oficinas), para el cual es necesario cumplir con una serie de requisitos que avalen al conductor como una persona capacitada y responsable para hacer uso del servicio. Posteriormente el usuario recibe una llave que puede ser física (generalmente una tarjeta electrónica) o virtual (una clave), y es la misma con la que podrá acceder al vehículo una vez que este haya sido reservado. La reserva del vehículo puede hacerse por medio de la misma página web o bien, utilizando una aplicación para

Smartphone, donde en ambas opciones el usuario tiene la facultad de elegir a su conveniencia las características y la ubicación del vehículo que desea alquilar. Todos los cargos se harán automáticamente a una tarjeta proporcionada en el momento del registro. Para entregar el vehículo simplemente es necesario regresarlo a alguno de los puntos autorizados e indicar al sistema que el tiempo de uso ha finalizado.

Educación

- Las empresas promueven campañas de publicidad a través de los diferentes medios de comunicación para mostrar a la población la manera de utilizar este sistema y los beneficios individuales y sociales que este puede proporcionar. Algunas empresas también realizan talleres o *workshops* de consumo colaborativo en asociación con empresas y universidades, como una forma de crear vínculos para hacer crecer el número y el tipo de usuarios, lo cual diversifica y enriquece el servicio. En Alemania, los medio de información que han dado mejores resultados para advertir el sistema de *carsharing* son: carteles y folletos en mayor porcentaje, seguidos de la prensa, radio e internet, y por último la recomendación de un amigo o conocido (MOTIVA, 2010).

Infraestructura

- Existen plazas de estacionamiento exclusivas para los automóviles compartidos, distribuidas por toda la ciudad, en las cuales el usuario puede tanto recoger como entregar un vehículo. La oferta de vehículos es muy amplia, estos difieren en sus características pudiendo elegir entre diferentes tipos, tamaños, marcas, modelos, transmisión, etc. También algunas empresas tienen opciones de vehículos con tecnologías alternativas como automóviles híbridos y eléctricos. Todos los vehículos están dotados con tecnologías de la información (TI) que permiten conocer su ubicación en todo momento y llevar a cabo su gestión y funcionamiento por medio de la plataforma virtual y a través de dispositivos electrónicos.

ANEXO B

DESCRIPCIÓN DE LAS ACCIONES DE ALTERACIÓN

Autobús de tránsito rápido

Administración

- Los puntos de parada del autobús así como las vías de acceso a ellas, deben cumplir con las condiciones de seguridad adecuadas, contar con una buena iluminación, de preferencia no estar situadas en zonas aisladas o peligrosas, o en caso de ser necesario que así sea, debe ser considerada la implementación de algún sistema de vigilancia (ya sea electrónico o humano).
- Los costos de aparcamiento, especialmente en el centro de la ciudad son muy elevados, con la finalidad de desincentivar el uso del automóvil (de 8 a 10 reales por hora, equivalentes a \$48-60 MX).

Educación

- Para incrementar la incidencia en el uso de transporte colectivo, la prefectura mantiene constantes campañas motivacionales que intentan lograr un cambio de comportamiento en el individuo, reduciendo el dominio psicológico del automóvil sobre la concepción de movilidad.

Infraestructura

- La infraestructura pedestre debe cumplir con ciertas características que fueron mencionadas en la BP anterior.
- Las estaciones o puntos de parada del BRT están conectadas a los sistemas ciclovialarios y pedestres, lo que permite fácilmente hacer combinaciones, cambiando de un medio de transporte a otro.
- Tanto el vehículo (BRT) como las estaciones o paradas, deben de cumplir con ciertas especificaciones de diseño que son la clave para el buen funcionamiento del sistema:
 - Autobuses de gran capacidad (articulados y biarticulados). Sin embargo, dependiendo de la demanda, se pueden utilizar autobuses sencillos.
 - Carriles exclusivos (o carriles segregados del tráfico) para los autobuses.
 - Pago de la tarifa y validación del viaje fuera del autobús.
 - Puntos de paradas fijos con plataformas elevadas a la altura del piso de los autobuses para hacer más ágil el proceso de abordar y abandonar el vehículo.

ANEXO C

DESCRIPCIÓN DE LAS ACCIONES DE EFICIENCIA

Elaboración de biodiesel a partir de aceite vegetal usado

Administración

- Los puntos de recolección de aceite están definidos estratégicamente por la afluencia y facilidad de acceso, siendo estos principalmente escuelas, parques, plazas e industrias.
- En ocasiones el volumen de aceite recolectado excede la capacidad de producción de la planta (usina), por tal motivo, se han establecido conexiones con la industria del jabón para venderles el excedente.
- El grupo o cooperativa de recolección, es un grupo de 250 personas que viaja por diferentes barrios de la ciudad, tocando de puerta en puerta para informar e invitar a la población a participar en el programa, así como para hacer la colecta del aceite. Una parte de ellos permanece en los puntos fijos de recolección.

Educación

- La usina móvil, en ocasiones viaja a los diferentes vecindarios o a algunos lugares públicos como plazas y escuelas para hacer difusión educativa y motivacional a la población acerca del proceso de producción y de los beneficios que se generan al participar con el programa.

Infraestructura

- El equipamiento de producción está instalado en una unidad móvil (tráiler); esto con la finalidad de facilitar la difusión del programa al poder llevarla a diferentes puntos de la ciudad y que la población conozca de cerca el proceso.
- La energía eléctrica que requiere la usina para todo el proceso de producción, proviene en un porcentaje del mismo biodiesel (10% del volumen de producción) y la otra parte de celdas fotovoltaicas instaladas en el techo de la unidad; convirtiéndola así en una usina autosuficiente.

Bioetanol como combustible

Administración

- Brasil tiene normas específicas para controlar las emisiones asociadas directamente con los procesos productivos de etanol; las más importantes reglamentan las quemadas de paja de caña de azúcar, el uso de bagazo en calderas y la utilización de vinaza como fertilizante (UNICA, 2007).

Educación

- La industria del etanol promueve campañas de publicidad para tratar de convencer a la población de recargar su vehículo con este combustible. Los anuncios presentes en todos los medios de comunicación y otras actividades de promoción, destacan en los mensajes el impacto positivo en el uso de etanol como combustible potente y limpio. "*Coloca etanol, o combustível completo*" (Pon etanol, el combustible completo) ha sido un eslogan representativo de estas campañas.

Infraestructura

- El proceso de producción de etanol en Brasil es realizado a gran escala en naves industriales a través del método más sencillo, cuando utiliza caña de azúcar como materia prima, por ser esta proveedora de azúcares simples que se fermentan directamente sin la necesidad de adicionar enzimas como en el caso de la producción basada en carbohidratos complejos (almidones) o en sustancias celulósicas. El proceso de producción se realiza por vía fermentativa y tiene dos etapas fundamentales: fermentación y destilación.
- En el caso de la caña de azúcar, se requiere de una hectárea cultivada para obtener un promedio de 6800 litros de bioetanol (BNDES, 2008). Adjunto a esto, hay tecnología en desarrollo para utilizar la biomasa celulósica residual del proceso (bagazo) y obtener un volumen extra de bioetanol.
- El 100% de las gasolineras en Brasil tiene bioetanol disponible a la venta junto con la gasolina (Brazil Institute, 2007).

Autobuses con tecnologías y/o combustibles alternativos

Administración

- El uso de algunas tecnologías requieren modificaciones en las medidas de seguridad que deben ser tomadas para efectuar los procesos de producción, almacenamiento y recarga de combustible; así como en el mantenimiento y conducción del vehículo.

Educación

- Las diferentes compañías de transporte promueven publicidad en las unidades informando a la población que ese vehículo está utilizando un combustible o tecnología limpia y difunden otros anuncios en los diferentes medios de comunicación destacando el impacto positivo de la implementación de estos vehículos en sus flotas.

Infraestructura

- Cada tecnología involucra el uso de vehículos (autobuses) con alguna modificación técnica en relación con los autobuses convencionales a diesel.

- Algunas tecnologías requieren infraestructura de suministro de combustible u otra fuente de energía diferentes al diesel (GNC, hidrógeno, biodiesel, bioetanol, biometano, energía eléctrica, etc.)
- Algunas tecnologías requieren la construcción de un sistema de producción del combustible o fuente de energía a utilizar.

Electromovilidad

Administración

- El gobierno de la ciudad subsidia la compra de vehículos eléctricos tanto para los ciudadanos como para las empresas, aportando un monto del valor total del vehículo en relación a su tipo y precio; que van desde un automóvil sedan, hasta un camión de carga.
- El propietario de un vehículo eléctrico debe solicitar al gobierno de la ciudad que le sea otorgado un permiso para recargar en los distintos puntos de la ciudad.
- Una vez otorgado el permiso gubernamental, el necesario afiliarse a un proveedor particular de suministro de energía eléctrica, los cuales cuentan con diferentes planes y tarifas pero comparten los mismos puntos de recarga. El afiliado recibe un dispositivo electrónico (tarjeta) con el cual puede hacer uso del servicio.
- Los propietarios de vehículos eléctricos cuentan con algunas facilidades de aparcamiento como las plazas gratuitas disponibles en cada uno de los puntos de recarga (las cuales solo pueden ser usadas cuando el vehículo vaya a ser recargado) y los grandes lotes de estacionamientos a las afueras de la ciudad (*Park & Ride* o *P+R*), conectados con el transporte colectivo, los cuales tienen una tarifa de un estacionamiento regular pero la recarga es gratuita.

Educación

- El gobierno de la ciudad difunde anuncios publicitarios de promoción en los diferentes medios de comunicación destacando los impactos positivos del uso de esta tecnología.

Infraestructura

- Los puntos de recarga pueden ser públicos o privados, es decir, el usuario puede solicitar a su proveedor un kit de recarga para el hogar y/o utilizar cualquiera de los puntos públicos disponibles para todos los afiliados. La recarga es activada con el dispositivo electrónico proporcionado por el proveedor elegido por el usuario, y puede ser realizada en cualquier momento siempre que se encuentren un punto de recarga disponible (la disponibilidad de los diferentes puntos puede ser vista en el sitio web o utilizando una app con un smartphone). Cada punto de recarga está provisto de una plaza de estacionamiento, que puede ser utilizado únicamente cumpliendo los siguientes tres requisitos: posesión de un vehículo eléctrico, que el vehículo esté conectado y en proceso de recarga, y que el vehículo cuente con el permiso gubernamental de recarga. De no cumplir con la totalidad de estos requisitos, el automóvil puede ser remolcado y/o multado por las autoridades.

- Los estacionamientos *Park & Ride (P+R)*, son grandes lotes situados a las afueras de la ciudad conectados con el transporte público (tranvía, metro y autobuses), que permiten aparcar y recargar el vehículo. Mientras se invita a los usuarios a que continúen su viaje hacia el centro de la ciudad utilizando el transporte colectivo. Estos cuentan con una considerable cantidad de plazas, como el de *laadhub* que cuenta con 40 plazas.

ANEXO D

DESCRIPCIÓN DE LAS BPs EXAMINADAS DE ACUERDO A LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD DE RÉPLICA

Redes ciclovitarias y peatonales

Sistema de bicicletas compartidas

Factibilidad técnica

- *Diseño.* En su mayoría, utilizan avanzadas TI para reservas, desbloqueo y bloqueo de la bicicleta e información de seguimiento (por medio de GPS). Los diseños de estos sistemas pueden clasificarse por su modo de operación en tres categorías:
 - *No reglamentada.* En este tipo de programa las bicicletas son simplemente puestas a disposición libre en un área determinada para su uso por cualquier persona.
 - *Depósito.* Un monto de depósito en efectivo permite la liberación de la bicicleta, y este es recuperado con la devolución de la misma.
 - *Afiliación.* En esta versión del sistema, las bicicletas se mantienen en terminales de autoservicio en distintos puntos de la ciudad (Imagen D1). Las personas inscritas en el programa se identifican con su tarjeta de miembro, que generalmente es una tarjeta inteligente o a través de un Smartphone; también puede ser por medio de una llamada telefónica. El individuo es responsable de cualquier daño o pérdida hasta que la bicicleta sea devuelta.



Imagen D1 Sistema de bicicletas compartidas en la ciudad de Barcelona.

Fuente: Elaboración propia

- *Insumos.* Bicicletas e infraestructura de base en su mayoría dotada de una avanzada TI.

Factibilidad ambiental

- *Emissiones de CO₂eq, NO_x y/o PM.* Cero emisiones.

Factibilidad social

- *Confiabilidad.* Los horarios de servicio son de 6:00 a 22:00 horas en Brasil y las 24 horas del día en las ciudades europeas. La disponibilidad de una bicicleta varía dependiendo la oferta y la demanda generalmente determinada por factores como zona, horario, temporada, condiciones climáticas, etc.
- *Seguridad.* Los organismos administradores son responsables de proveer mantenimiento continuo a las bicicletas y ofrecer un servicio seguro y de calidad. El modo de uso es responsabilidad del usuario.
- *Comodidad.* La bicicleta está diseñada para proporcionar comodidad al usuario, pero esta puede verse afectada por factores externos como las condiciones climáticas/ geográficas específicas de cada zona.
- *Accesibilidad.* Las terminales se encuentran aproximadamente cada kilómetro (en las zonas con cobertura). En su mayoría, el acceso está limitado a personas que cuentan con una tarjeta de crédito o débito, rezagando así a una grande e importante parte de la población que puede requerir este servicio.
- *Asequibilidad.* En Brasil, la primera hora de servicio es gratis, después el costo por cada hora adicional es de 5 reales (aproximadamente \$30 MX). Se debe esperar un mínimo de 15 min para iniciar de nuevo otro viaje gratis. En Europa los primeros 30 minutos cuestan 1 euro (\$18 MX) y son gratis cuando se adquiere una tarjeta de suscripción con costo mensual. A partir de los 30 minutos el costo por 24 horas de uso es de 9 euros (\$162 MX).
- *Capacidad.* Río de Janeiro: 600 bicicletas, San Pablo: 1580 bicicletas, Sorocaba: 152 bicicletas, Curitiba: 300 bicicletas, Berlín: 1950 bicicletas y Ámsterdam: 6000 bicicletas. No se obtuvo el dato de Friburgo.
- *Demanda.* En promedio se realizan diariamente alrededor de: 2,400 viajes en Río de Janeiro, 790 viajes en San Pablo y 400 viajes en Sorocaba. En Curitiba el servicio está suspendido desde agosto de 2008 por falta de automatización en el sistema. No se obtuvieron los datos de las ciudades europeas.

Factibilidad económica

- *Costos.* El costo de los sistemas varía dependiendo de la tecnología de la bicicleta, así como del uso que se le dé al vehículo (frecuencia de reparaciones y mantenimiento). La cifra ronda los 4,500 reales por bicicleta, equivalente a \$26,000 MX (BIKE RIO, 2012).
- *Subsidios y/o incentivos.* Ninguno.

Factibilidad climática/geográfica

- **Topografía.** La ciudad de San Pablo presenta zonas con grandes pendientes donde el uso de la bicicleta no tiene alta demanda por falta de funcionalidad. El resto de las ciudades en cuestión tiene una topografía mayormente plana que favorece la conducción.
- **Clima.** En Brasil, la temperatura de estas ciudades no suele ser extremosa en ninguna época del año, por lo que este factor no representa un impedimento para su uso; sin embargo, la lluvia en algunas épocas del año puede afectar el uso del sistema. En las ciudades europeas sí se presentan condiciones climáticas adversas, siendo la nieve la de mayor importancia ya que reduce hasta en un 73% el uso de la bicicleta y seguida por la lluvia que provoca una reducción de hasta un 45% (EUROPEAN COMMISSION, 1999). El resto de las condiciones no suele alterar considerablemente el porcentaje de uso.

Ciclosendas

Factibilidad técnica

- **Diseño.** Las ciclosendas pueden ser de 4 tipos dependiendo de sus características de diseño y operación:
 - **Ciclovía.** Cuando hay una separación física entre ciclistas y automóviles (Imagen D2).
 - **Ciclobanda.** Cuando la senda está identificada (generalmente de otro color) pero no existe separación física entre ciclistas y automóviles (Imagen D2).
 - **Ciclorruta.** Camino señalado para ser compartido por ciclistas y automovilistas bajo determinadas reglas especiales de circulación (principalmente baja velocidad).
 - **Ciclovía operacional.** Senda de operación temporal en determinados días y horarios; el resto del tiempo es usada por automóviles.

Las principales consideraciones de diseño y construcción son las siguientes: dimensiones, intersecciones, pavimentos y acabados, señalización, iluminación, elementos de protección y estacionamientos. Para conocer las características y parámetros puede consultar el *Manual de Diseño para Infraestructura de Ciclovías* del PLAN NACIONAL DE CICLOVIAS (2013).



Imagen D2 Ciclosenda tipo *ciclovía* a la izquierda y tipo *ciclobanda* a la derecha, en la ciudad de Río de Janeiro.

Fuente: Elaboración propia

- *Insumos.* Materiales de construcción y señalización dependiendo del tipo y diseño seleccionado.

Factibilidad ambiental

- *Emisiones de CO₂eq, NO_x y/o PM.* Cero emisiones.

Factibilidad social

- *Confiabilidad.* Disponibilidad total.
- *Seguridad.* Las especificaciones de diseño proveen un espacio de movilidad seguro, más es responsabilidad del usuario hacer un uso correcto del sistema.
- *Comodidad.* Por cuestiones de diseño, el sistema ofrece comodidad de uso, más esta puede verse afectada por factores externos como las condiciones climáticas/ geográficas específicas de cada zona.
- *Accesibilidad.* Un frecuente problema de este sistema es que su cobertura es limitada, encontrándose principalmente en los centros urbanos y con poca incidencia en las periferias de las ciudades, lo que puede imposibilitar su uso como medio de transporte, limitándolo a uso recreativo u ocasional.
- *Asequibilidad.* El sistema es totalmente gratuito y disponible para todo público.
- *Capacidad.* Río de Janeiro: 355 km, San Pablo: 259.11 km, Curitiba: 127 km, Sorocaba: 106 km, Berlín: 1,030 km, Ámsterdam: más de 400 km y Friburgo: 450 km.
- *Demanda.* En promedio, diariamente se efectúan en Río de Janeiro 1, 000,000 viajes en bicicleta; 305,000 viajes en la ciudad de San Pablo; 500,000 en Berlín y en Ámsterdam 490,000. No se cuenta con el dato de Sorocaba, Curitiba y Friburgo. En las ciudades europeas, se observa un porcentaje de viajes realizados en bicicleta muy superior al de las ciudades brasileñas, esto es debido a una diversidad de factores derivados de las condiciones de las ciudades, que en conjunto ocasionan que las personas prefieran usar la bicicleta como medio de transporte debido a que esta les proporciona desplazamientos más rápidos, más convenientes y más baratos que un automóvil u otro medio de transporte (CITY OF COPENHAGEN, 2012).

Factibilidad económica

- *Costos.* En Brasil el costo de una ciclovía está entre 109 y 160 reales por metro lineal (MOBILIZE, 2012), equivalente a \$630 y \$930 MX, y en Europa alrededor de 1,072 euros por metro lineal de ciclovía y 67 euros por metro lineal de ciclobanda, equivalente a \$19,296 y \$1,206 MX (CITY OF COPENHAGEN, 2012).
- *Subsidios y/o incentivos.* La mayoría de las ciclosendas son públicas y construidas con recursos del gobierno.

Factibilidad climática/geográfica

- *Topografía.* La ciudad de San Pablo presenta zonas con grandes pendientes donde el uso de la bicicleta no presenta gran demanda por falta de funcionalidad. El resto de las ciudades en cuestión tiene una topografía mayormente plana que favorece la conducción.
- *Clima.* En Brasil, la temperatura de estas ciudades no suele ser extremosa en ninguna época del año, por lo que este factor no representa un impedimento para su uso; sin embargo, la lluvia en algunas épocas del año puede afectar el uso del sistema. En las ciudades europeas sí se presentan condiciones climáticas adversas, siendo la nieve la de mayor importancia ya que reduce hasta en un 73% el uso de la bicicleta y seguida por la lluvia que provoca una reducción de hasta un 45% (EUROPEAN COMMISSION, 1999). El resto de las condiciones no suele alterar considerablemente el porcentaje de uso.

Sendas peatonales

Factibilidad técnica

- *Diseño.* Entre los principales principios de diseño para las redes peatonales se puede mencionar: seguridad, accesibilidad, conectividad, simplicidad, estética, funcionalidad y economía. Para conocer las características y parámetros, puede consultar el Manual de diseño de infraestructura peatonal urbana de Jerez & Torres (2012).
- *Insumos.* Materiales de construcción y señalización dependiendo del diseño.

Factibilidad ambiental

- *Emisiones de CO₂eq, NO_x y/o PM.* Cero emisiones.

Factibilidad social

- *Confiabilidad.* Disponibilidad total.
- *Seguridad.* Los principios de diseño proveen un espacio de movilidad seguro, pero es responsabilidad del usuario hacer un uso correcto del sistema.
- *Comodidad.* Por cuestiones de diseño, el sistema ofrece comodidad de uso, más esta puede verse afectada por factores externos como las condiciones climáticas/ geográficas específicas de cada zona.
- *Accesibilidad.* Ofrece un buen acceso a los peatones con diferentes características y presenta buenas conexiones con otros medios de transporte, principalmente el transporte público.
- *Asequibilidad.* El sistema es totalmente gratuito y disponible para todo público.
- *Capacidad.* Las zonas que cumplen con los principios de diseño tiene la capacidad de brindar servicio a todos los transeúntes que lo demandan (la afluencia está dentro de las consideraciones).
- *Demanda.* Presenta una alta demanda en especial por los usuarios de transporte público.

Factibilidad económica

- **Costos.** Es muy variable dependiendo del diseño del proyecto.
- **Subsidios y/o incentivos.** La mayoría de las sendas peatonales son públicas y construidas con recursos del gobierno.

Factibilidad climática/geográfica

- **Topografía.** La ciudad de San Pablo presenta zonas con grandes pendientes que pueden influir en una menor incidencia de uso del sistema. El resto de las ciudades en cuestión tiene una topografía mayormente plana que favorece la implementación y uso.
- **Clima.** En Brasil, la temperatura de estas ciudades no suele ser extrema en ninguna época del año, por lo que este factor no representa un impedimento para su uso; sin embargo, la lluvia en algunas épocas del año puede afectar el uso del sistema. En las ciudades europeas si se presentan condiciones climáticas adversas, siendo la nieve y la lluvia las que reducen en mayor porcentaje el uso de transporte no motorizado (EUROPEAN COMMISSION, 1999). El resto de las condiciones no suele alterar considerablemente el porcentaje de uso.

Estacionamientos para bicicletas

Factibilidad técnica

- **Diseño.** Existen diversos diseños de estacionamientos de bicicletas, los hay horizontales y verticales, de diversos materiales, formas y tamaños. Pero el diseño que ha probado mayor eficiencia por su aprovechamiento del espacio y los materiales, es el vertical alternado (Figura D1), que es el utilizado en el estacionamiento de bicicletas más grande de Latinoamérica en el municipio de Mauá, con capacidad para 2,000 vehículos. Para conocer las características y parámetros puede consultar el *Manual de Bicicletarios* del ITDP (2009).

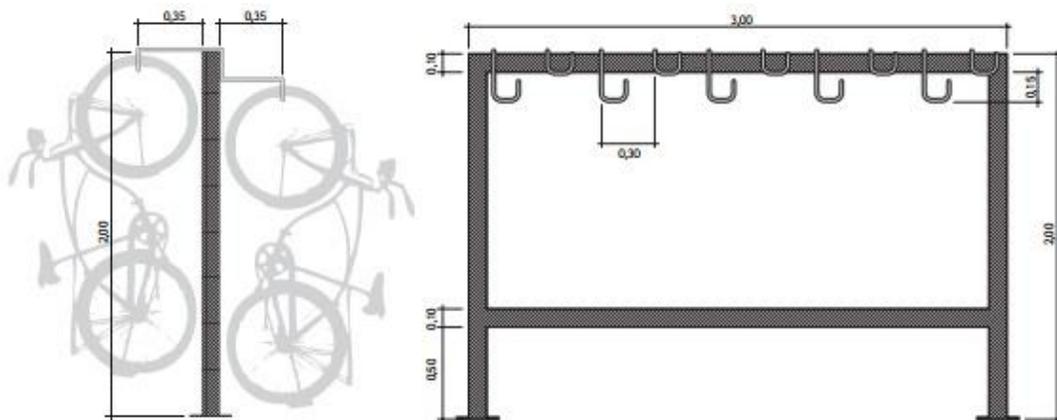


Figura D1 Diseño de estacionamiento vertical alternado.

Fuente: Elaboración propia

- *Insumos.* Material de construcción (generalmente metal y esmalte).

Factibilidad ambiental

- *Emisiones de CO₂eq, NO_x y/o PM.* Cero emisiones.

Factibilidad social

- *Confiabilidad.* La disponibilidad de un espacio de aparcamiento varía dependiendo la oferta y la demanda generalmente determinada por factores como zona, horario, temporada, condiciones climáticas, etc.
- *Seguridad.* La seguridad varía dependiendo de la zona y del tipo de servicio, con o sin supervisión, siendo los primeros más seguros.
- *Comodidad.* La mayoría de los diseños pueden ser utilizados por cualquier usuario sin dificultad.
- *Accesibilidad.* Los estacionamientos tienen una buena cobertura, especialmente en los centros de las ciudades o áreas de mayor concurrencia. Difícilmente el usuario requiere caminar más de 1km entre el estacionamiento y el sitio de interés.
- *Asequibilidad.* En su mayoría los estacionamientos son gratuitos, y cuando llegan a tener costo, este es mínimo; como en el caso de Mauá, donde el costo mensual de la membresía es de 20 reales (\$116 MX) o el estacionamiento más grande de Friburgo junto a la estación de trenes con un costo mensual de 6 euros (\$108 MX).
- *Capacidad.* El número de estacionamientos registrados es de 1600 para Río de Janeiro, 3000 para Sorocaba, 60,000 en Friburgo; en Ámsterdam no se obtuvo el dato de la cantidad de estacionamientos disponibles actualmente, pero tan solo para el 2020 la ciudad planea agregar 40,000 nuevos espacios a la enorme cifra. No se cuenta con los datos de San Pablo, Curitiba y Berlín.
- *Demanda.* Presentan una alta demanda en especial cuando están situados junto a las terminales de transporte público. El estacionamiento de Mauá tenía una demanda de 1912 usuarios en marzo de 2014, 95.6% de su capacidad. El estacionamiento de Friburgo tiene capacidad para 1001 bicicletas y aunque no se obtuvo la cifra de su demanda, esta es visiblemente alta, ya que es fácilmente observable que estaba casi al tope de su capacidad.

Factibilidad económica

- *Costos.* Varía dependiendo del diseño.
- *Subsidios y/o incentivos.* Algunos estacionamientos son públicos por tanto financiados por el gobierno y otros reciben apoyos parciales de diversas instituciones. En el caso de Mauá, la compañía paulista de trenes metropolitanos CPTM, concedió el espacio para la implantación del bicicletario (junto a una estación de tren). La compañía alemana de trenes BAHN apoya los proyectos de implementación y desarrollo de aparcamientos para bicicleta cercanos a las estaciones de tren (Imagen D3) y en lugares de alta concurrencia (FMTBUD, 2011).



Imagen D3 Estacionamiento para 1001 bicicletas junto a la estación central de trenes en la ciudad de Friburgo, Alemania.
Fuente: Elaboración propia

Factibilidad climática/geográfica

- *Topografía y clima.* No influyen en el buen funcionamiento del sistema.

Sistema de ascenso y descenso de estudiantes en las escuelas

Sistema de agilización de ascenso y descenso de estudiantes

Factibilidad técnica

- *Diseño.* Carril de circulación exclusiva, con las dimensiones normales de un carril automovilístico, señalizado para ascenso y descenso rápido con colores distintivos y señales de tránsito (Imagen D4).



Imagen D4 Carril de ascenso y descenso rápido del Instituto Pioneiros, en la ciudad de San Pablo.
Fuente: Elaboración propia

- *Insumos.* Pintura, equipo de señalamiento de tránsito y micrófonos inalámbricos.

Factibilidad ambiental

- *Emisiones de CO₂eq, NO_x y/o PM.* Cero emisiones.

Factibilidad social

- *Confiabilidad.* El sistema está disponible todos los días de clases, rondando los horarios de entrada y salida de los estudiantes (a excepción de la salida del turno vespertino).
Horarios de la colocación de conos y de la llegada de los estudiantes:
 - Matutino: colocación 6.30, llegada de los estudiantes 6.30
 - Vespertino: colocación 12.00, llegada de los estudiantes 12.20
 Horario de la retirada de los conos:
 - Matutino: 07.40
 - Vespertino: 13.10
- *Seguridad.* No hay accidentes registrados por el uso del sistema, al contrario, este pretende incrementar la seguridad evitando accidentes provocados por las congestiones vehiculares.
- *Comodidad.* Su utilización es sencilla e incrementa la velocidad del proceso, generando satisfactores.
- *Accesibilidad.* Todas las personas que pretendan dejar o recoger a una persona del instituto pueden utilizarlo.
- *Asequibilidad.* El servicio es totalmente gratuito.
- *Capacidad.* Durante pequeños lapsos de mayor incidencia, el carril no se da abasto para dar entrada a todos los automóviles en espera.
- *Demanda.* Es utilizado por la mayoría de las personas que van a dejar o recoger a un estudiante.

Factibilidad económica

- *Costos.* Lo equivalente al costo de los insumos y los salarios del personal de apoyo.
- *Subsidios y/o incentivos.* Ninguno, es financiado totalmente por el instituto.

Factibilidad climática/geográfica

- *Topografía.* Adecuada para el uso del sistema (plana con muy ligera pendiente).
- *Clima.* No influye en el buen funcionamiento del sistema.

Automóvil compartido o *carsharing*

Sistema de automóvil compartido

Factibilidad técnica

- **Diseño.** El sistema está compuesto básicamente de 3 elementos principales:
 - Una flota de vehículos equipados con TI que permita el rastreo de las unidades (mediante GPS), reconocer al usuario e ingresar al vehículo por medio de un dispositivo electrónico (Imagen D5).
 - Una plataforma virtual que permita la gestión del sistema, incluyendo: registro de usuarios, localización y alquiler de vehículos; así como proporcionar una amplia información acerca de las características del servicio.
 - Un conjunto de plazas de estacionamiento exclusivas, debidamente señaladas para su identificación, distribuidas por toda la ciudad, donde el usuario pueda dejar o recoger el vehículo (Imagen D6).



Imagen D5. Sistema lector de llave para acceder al vehículo.
Fuente: Elaboración propia



Imagen D6. Plazas de estacionamiento exclusivas para los vehículos de *carsharing*.
Fuente: Elaboración propia

- *Insumos.* Vehículos equipados con TI, dispositivos electrónicos (tarjetas de usuario), recursos de informática, gestión de espacio y materiales para adecuar las plazas de estacionamiento.

Factibilidad ambiental

- *Emisiones de CO₂eq, NO_x y/o PM.* Los usuarios reducen sus emisiones anuales simplemente por conducir menos, cerca de un 60% al comparar los km que recorrían al utilizar sus vehículos privados, con los que recorren ahora utilizando el *carsharing* (ENEA, 2011).
 - En Alemania, el 70% de los vehículos que conforman las flotas son vehículos minis o pequeños ahorradores de combustible, siendo este otro factor reductor de emisiones, hasta en un 21.2% comparados con un automóvil personal promedio (MOTIVA, 2010).
 - En Barcelona un 90% de los socios condujeron 8,800 km o menos al año, lo cual se traduce en 829 L de petróleo ahorrados por cada socio; además, cada vehículo de la compañía *Avancar* elimina de las calles 15 vehículos particulares (AVANCAR, 2014).

Factibilidad social

- *Confiabilidad.* La dimensión de las flotas permite que haya vehículos disponibles en todo momento, pero la ubicación de estos es variable, lo que puede ocasionar que el usuario no encuentre disponible un vehículo cerca de él en algún momento determinado.
 - En Alemania el 62% de los usuarios declaró estar muy satisfecho con el servicio de *carsharing* y el 33% moderadamente satisfecho (MOTIVA, 2010).
 - En Barcelona, cada semana se elabora un informe NPS (Net Promoter Score) dónde se contabiliza y se analiza la satisfacción de los socios de *Avancar* desde diferentes puntos de vista: atención recibida, disponibilidad de los coches, estado de los vehículos, etc. (Valenti, 2014).
- *Seguridad.* Todos los vehículos se encuentran en constante mantenimiento, cuentan con asistencia las 24 horas y tienen un seguro a todo riesgo.
- *Comodidad.* Las flotas son de vehículos generalmente de no más de 2 años de antigüedad, que deben cumplir ciertas especificaciones de limpieza, siendo estos factores provisorios de comodidad (Valenti, 2014).
- *Accesibilidad.*
 - Dresden: *Flinkster* y *Teliauto* comparten 98 puntos fijos de estacionamiento (con capacidades variables para albergar desde uno hasta más de 10 vehículos cada uno) distribuidos por toda la ciudad.
 - Friburgo: *Stadtmobil* cuenta con 47 puntos fijos de estacionamiento y *Flinkster* con 2 (con capacidades variables para albergar desde uno hasta más de 10 vehículos cada uno), distribuidos por toda la ciudad. Existe otra compañía en la ciudad, *Grüne flotte*, pero esta no fue incluida en el estudio por falta de acceso a la información.

- En Alemania, 91% de los clientes de *carsharing* tienen un punto de estacionamiento cercano a su domicilio. 67% camina como máximo 5 minutos para alcanzarlo y 24% requiere un máximo de 10 minutos (MOTIVA, 2010).
- Barcelona: *Avancar* cuenta con 64 puntos fijos de estacionamiento de variables capacidades distribuidos por la ciudad. Los hay desde los pequeños con un par de plazas, hasta grandes lotes situados dentro de estacionamientos públicos.
- *Asequibilidad*. Existen diferentes planes mensuales y anuales para usuarios frecuentes que ofrecen posibilidades de ahorro partiendo de un 20%. Las tarifas varían de acuerdo a las características del vehículo.

(Tarifas sin plan)

- Dresden:
 - *Flinkster*: inscripción, cuota mensual de 10 euros (\$180 MX); el rango de las tarifas por uso de vehículo va de 1.5 a 1.9 euros por hora (\$27-34 MX), dependiendo de las características.
 - *Teliauto*: sin cuota de inscripción; el rango de las tarifas por uso de vehículo va de 2.28 a 3.84 euros por hora (\$41-69 MX)
- Friburgo:
 - *Flinkster*: mismos precios que en Dresden.
 - *Stadmobil*: sin cuota de inscripción; el rango de las tarifas por uso de vehículo va de 1.5 a 3 euros por hora (\$27-54 MX).
- En Alemania, 65% de los usuarios declara que el ahorro de costos fue una motivación para unirse al *carsharing* (MOTIVA, 2010).
- Barcelona:
 - *Avancar*: cuota anual de 37 euros y tarifas desde 4.96 euros por hora (\$90 MX). *Avancar* tiene un programa para universidades en el cual los estudiantes pagan una cuota de 25 euros al año, con tarifas que van desde 4 euros por hora o 45 euros el día, según les convenga. Incluye combustible, seguro del vehículo y los primeros 20 km de conducción gratis; además reciben como obsequio un bono de 25 euros de consumo que pueden utilizar durante el primer mes como socios (Valenti, 2014). Actualmente *Avancar* tiene firmado convenio con 8 universidades (Elisava, UPF, EADA, ESADE, ESDI, ESIC, UB y La Salle) de Barcelona (Valenti, 2014).
- *Capacidad*. El tamaño de las flotas se va adecuando a la demanda. Las flotas presentan diversidad en sus tipos de vehículos, pudiendo encontrar desde un pequeño vehículo sedan, hasta una furgoneta para uso comercial.
 - En Alemania se ha venido teniendo un aumento promedio de 30% anual (ENEA, 2011).
 - En Barcelona hubo un crecimiento de la flota de un 10.5% del 2012 al 2013 y se prevé un 16% del 2013 al 2014 (Valenti, 2014).

- *Demanda.*
 - En ambas ciudades almenas, los usuarios de *carsharing* representan alrededor de un 2% de los automovilistas totales (Beim & Haag, 2010; CIVITA, 2013; ENEA, 2011). En Alemania, las razones más importantes declaradas por los clientes para unirse al *carsharing* son: la infrecuente necesidad de un vehículo, representa un buen complemento para el uso de transporte público y el cuidado del medio ambiente (MOTIVA, 2010).
 - Barcelona en el 2013 ya contaba con más de 8000 usuarios y una flota de 120 vehículos, actualmente estas cifras se han incrementado (Valenti, 2014).

Factibilidad económica

- *Costos.* El costo del sistema es directamente proporcional al tamaño y tipo de la flota, determinado por factores que pueden ser clasificados en los siguientes rubros:
 - Costos generales (fijos): salarios, renta de espacio para oficina (en caso de que se requiera), TI (tecnologías de la información para los vehículos y la plataforma de gestión), marketing y publicidad y suplementos de oficina.
 - Vehículos (variables): costo de los vehículos, seguros, renta de los espacios de estacionamiento, combustible, limpieza y mantenimiento.
- *Subsidios y/o incentivos.* Los espacios para oficina y de estacionamiento pueden ser donados o prestados por alguna organización ya sea privada o gubernamental, así como algún otro apoyo en cualquiera de los factores generadores de costos. En el caso de *Avancar* en Barcelona, no cuentan con ningún tipo de subsidio y/o incentivo (Valenti, 2014).

Factibilidad climática/geográfica

- *Topografía.* La topografía no influye en el buen funcionamiento del sistema.
- *Clima.* Los picos de altas y bajas temperaturas aumentan el consumo de combustible por el uso de la climatización, pero no se ha calculado cuanto supone este incremento; sin embargo, estas variaciones no alteran las tarifas, éstas se mantienen fijas para los usuarios durante todo el año (Valenti, 2014).

Autobús de tránsito rápido

Sistema de autobuses de tránsito rápido

Factibilidad técnica

- *Diseño.* Las características y parámetros de diseño para un sistema de BRT son proporcionadas por la ITDP en su Guía de Planificación de Sistemas BRT (ITDP, 2010).
- *Insumos.* Vehículos, material de construcción y TI.

Factibilidad ambiental

- *Emisiones de CO₂eq, NO_x y/o PM.* La disminución de las emisiones es proporcional a la cantidad de autobuses convencionales que son retirados con la implementación de un BRT; se pueden lograr importantes reducciones, como el caso del *transmilenio* en Bogotá o el *metrobús* de la Ciudad de México quienes declaran reducciones de más del 50% de sus emisiones en comparación con las generadas anteriormente con los autobuses convencionales.

Factibilidad social

- *Confiabilidad.* Frecuencia: cada 4 minutos pasa un autobús.
- *Seguridad.* El sistema de BRT por contar con carriles exclusivos es más seguro que un sistema de autobuses convencional (Imagen D7). Estos sistemas han reportado un incremento de 60% en percepción de seguridad y 90% en disminución de tasas de accidentalidad.



Imagen D7. Sistema de BRT en la ciudad de Curitiba, Brasil.

Fuente: Elaboración propia

- *Comodidad.* La flota de autobuses brinda las condiciones para que el usuario viaje cómodamente (en ocasiones esto puede verse afectado por las condiciones climáticas o por una alta ocupación de los vehículos).
- *Accesibilidad.* El sistema tiene amplia cobertura en todas las áreas de la ciudad (centro y periferias).
- *Asequibilidad.* 3 reales (\$17.4 MX) por entrar al sistema (se pueden realizar los viajes que se deseen mientras no se salga de las estaciones).
- *Capacidad.* 790 km de cobertura con 2,218 autobuses simples y 164 biarticulados; se cuenta con 351 estaciones.

- *Demanda.* 1.9 millones de pasajeros por día.

Factibilidad económica

- *Costos.* El costo del sistema es relativamente bajo en comparación con otros sistemas de transporte de alta velocidad. Aproximadamente 10 veces menos costoso que un sistema de metro.
- *Subsidios y/o incentivos.* Estos sistemas son de transporte público y por tanto financiados por el gobierno.

Factibilidad climática/geográfica

- *Topografía.* La topografía en Curitiba es mayormente plana y no representa un problema para el sistema.
- *Clima.* La temperatura de esta ciudad no suele ser extremosa en ninguna época del año, por lo que este factor no representa un impedimento para su uso.

Elaboración de biodiesel a partir de aceite vegetal usado

Producción y uso de biodiesel

Factibilidad técnica

- *Diseño.* Equipo de producción: tanque de almacenamiento de aceite, mezclador, reactor, separador, tanque de contención de biodiesel, tanque de contención de glicerina y todas las conexiones y fuentes de energía necesarias (Imagen D8).



Imagen D8. Usina móvil de producción de biodiesel en la ciudad de Sorocaba, Brasil.
Fuente: Elaboración propia

- *Insumos.* El equipo de producción, el aceite vegetal usado, sosa cáustica y metanol.

Factibilidad ambiental

- *Emisiones de CO₂eq, NO_x y/o PM.* Se pueden obtener reducciones superiores a 80% de CO₂ y 60% de PM₁₀, sin embargo, ligeros incrementos en PM_{2.5} y NO_x (IEA, 2011; CLEAN FLEETS, 2014).

Factibilidad social

- *Confiabilidad.* Proporciona el mismo funcionamiento que el diesel convencional.
- *Seguridad.* Manejándose con las precauciones como cualquier otra sustancia combustible, no representa un peligro.
- *Comodidad.* No aplica.
- *Accesibilidad.* Se ha tenido muy buenos resultados en la obtención de materia prima (aceite vegetal usado), por lo que la falta de materia prima no ha representado problema.
- *Asequibilidad.* El aceite vegetal usado se obtiene gratuitamente por donación de los ciudadanos de Sorocaba; pero su transporte, el metanol, la sosa caustica y el mantenimiento del equipo de producción, demandan recursos que son los que determinan el costo del biodiesel.
- *Capacidad.* La potencia del biodiesel es ligeramente inferior a la del diesel convencional, no supera el 5% de diferencia y difícilmente puede ser percibido en el desempeño del vehículo (INTA, 2001). La usina móvil tiene capacidad de producir 1250 litros por día.
- *Demanda.* El 10% del biodiesel producido alimenta el generador de energía de la usina y el otro 90% se utiliza para dos vehículos, uno de la universidad y uno del municipio, los cuales se utilizan en muy pocas ocasiones, demandando un promedio de 130 litros de biodiesel por semana.

Factibilidad económica

- *Costos.* Un equipo de producción de biodiesel prefabricado ronda los \$3000 dólares (\$37,500 MX) excluyendo la planta generadora de energía y las celdas fotovoltaicas con las que cuenta la usina móvil.
- *Subsidios y/o incentivos.* La universidad trabaja en colaboración con el municipio de Sorocaba, siendo este último el que financia el proyecto.

Factibilidad climática/geográfica

- *Topografía.* No influye en el buen funcionamiento del sistema
- *Clima.* La ciudad de Sorocaba no presenta condiciones climáticas extremosas que pudieran afectar el buen funcionamiento del sistema.

Bioetanol como combustible

Producción y uso de bioetanol

Factibilidad técnica

- *Diseño.* Cultivo de caña de azúcar, planta de producción de bioetanol (extractor, fermentador y destilador).
- *Insumos.* caña de azúcar, maquinaria agrícola e industrial para la obtención y transformación.

Factibilidad ambiental

- *Emisiones de CO_2 eq, NO_x y/o PM .* Los mejores escenarios utilizando caña de azúcar como materia prima han presentado en comparación con la gasolina convencional, una reducción de entre un 70-110% de CO_2 y 20% en disminución de NO_x y PM_{10} (IEA, 2011; CLEAN FLEETS, 2014).

Factibilidad social

- *Confiabilidad.* Realizando las adecuaciones necesarias al motor, no debe generar problemas de uso.
- *Seguridad.* Es manejado con las mismas precauciones que los demás combustibles.
- *Comodidad.* No aplica.
- *Accesibilidad.* En Brasil se tiene acceso al bioetanol en todas las gasolineras (Brazil Institute, 2007).
- *Asequibilidad.* El precio del etanol se mantiene muy parecido al de la gasolina y en ocasiones más bajo, siendo este accesible a los usuarios.
- *Capacidad.* Aunque el etanol tiene un contenido energético menor que la gasolina pura (aproximadamente 65%), presenta varias características técnicas como la de alto octanaje que lo hacen perfectamente adecuado para su uso como combustible y compensa en parte su menor contenido energético.
- *Demanda.* En Brasil, según datos de la *Agencia Nacional de Petróleo, Gas natural y Biocombustibles*, la demanda de etanol en el 2013 fue de aproximadamente 1 litro de etanol por cada 2 litros de gasolina.

Factibilidad económica

- *Costos.* La magnitud y variabilidad del sistema dificulta la estimación de su costo.
- *Subsidios y/o incentivos.* En algunas situaciones, el gobierno de Brasil suprime algunos impuestos o suministra algún tipo de subsidio a la industria del etanol, para que el precio de este biocombustible no pierda competitividad frente al de la gasolina.

Factibilidad climática/geográfica

- *Topografía.* No representa un impedimento para el buen funcionamiento del sistema.
- *Clima.* En temporadas o regiones con climas fríos (debajo de 8-14°C dependiendo de las características del vehículo), no es posible arrancar el vehículo usando E100 (100% etanol), debido a las propiedades del etanol; por lo que ha sido necesario tomar medidas como el uso de E70 o E85 en esas situaciones.

Autobuses con tecnologías y/o combustibles alternativos

Híbridos: GNC- eléctrico y Diesel- eléctrico

Los autobuses híbridos de gas natural comprimido (GNC)- eléctricos operan de forma similar a los híbridos diesel- eléctricos, pero usan GNC en vez de diesel para generar energía eléctrica y mover el vehículo con la energía previamente almacenada. El reemplazar el diesel en un autobús híbrido con GNC o algún biocombustible como bioetanol o biodiesel, puede incrementar los beneficios ambientales que esta tecnología proporciona. Algunas ciudades europeas como Barcelona, Lituania y Estocolmo han tenido experiencias con este tipo de vehículos, pero se puede considerar que estos aún están en fase de prueba y su mercado aún es inmaduro. En el caso de Barcelona, actualmente cuenta con 132 autobuses híbridos (y con planes de aumentar nuevamente en septiembre 2014) entre GNC y diesel, en su flota de transporte público urbano, proyecto para el que trabajan en conjunto Transports Metropolitans de Barcelona (TMB) y Gas Natural Fenosa (Ayuntamiento de Barcelona, 2014). Esto convierte a la flota urbana de Barcelona en la tercera más grande de autobuses híbridos después de Londres y Manchester (Gas Natural Fenosa, 2013).

Factibilidad técnica

- *Diseño.* Autobuses Iveco, Volvo y MAN; estándar de 12 metros, biarticulados de 24 metros y midibús de 9.5 metros; motor eléctrico de tracción, ultracondensadores para almacenar la electricidad producida por un generador acoplado al motor térmico y un sistema para recuperar la energía de los frenos. El autobús solo funciona con la energía del motor eléctrico y usa el motor de GNC o diesel para generar electricidad cuando los ultracondensadores se vacían (TMB, 2013). Puede observarse una diferencia visible entre los autobuses híbridos GNC-eléctricos que presentan una estructura más voluminosa en el toldo a diferencia de los Diesel-eléctricos (Imagen D9).

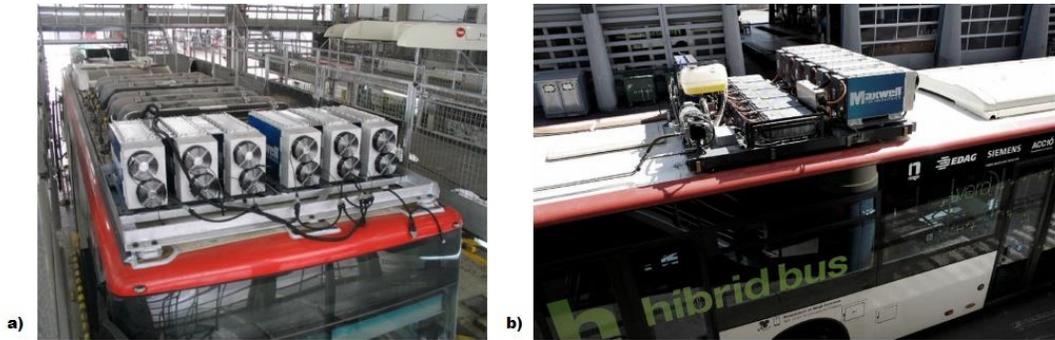


Imagen D9. Apariencia de los diferentes sistemas híbridos al desnudo.

a) GNC-eléctrico b) Diesel-eléctrico

Fuente: Adaptada de TMB (2011b)

- *Insumos.* vehículos híbridos tipo en serie y combustibles: diesel y GNC.

Factibilidad ambiental

- *Emisiones de CO_2eq , NO_x y/o PM.* Los vehículos han probado disminuir hasta un 30-35% el consumo de combustible (GNC o diesel) y proporcionalmente las emisiones en el caso de los híbridos con diesel, en los híbridos con GNC, adicionalmente el uso de este combustible ha reducido los NO_x en un 85%, las PM casi 100% y las emisiones de CO_2 hasta en un 20% (TMB, 2013). En teoría este sistema puede alcanzar reducciones de hasta un 40% de combustible, pero esto dependerá en gran medida de relación frecuencia-velocidad en la conducción (Ricardo, 2013). El total de la flota de autobuses híbridos logra en Barcelona una reducción del 26% de contaminantes, equivalente a 2300 toneladas del CO_2 y 6000 kg de NO_x (LA VANGUARDIA, 2014).

Factibilidad social

- *Confiabilidad.* Los autobuses pasan con la misma frecuencia (cada 5-8 minutos) que lo hacen los autobuses totalmente a diesel, la tecnología no afecta este factor. La compañía TMB tiene un compromiso con la puntualidad de sus autobuses, tanto así que han implementado un sistema digital en las paradas, alimentado con energía solar, donde el usuario puede saber el tiempo que resta para la llegada de la siguiente unidad (Imagen D10).



Imagen D10. Sistema indicador del horario de los autobuses TMB, alimentado con energía solar.

Fuente: Elaboración propia

- *Seguridad.* Los vehículos cumplen con la normativa de seguridad y no se han reportado accidentes relacionados con su condición de híbrido.
- *Comodidad.* El uso de esta tecnología no altera el diseño del interior de los vehículos, sin embargo, el ruido y las vibraciones se ven disminuidas por el uso del motor eléctrico, factores que podrían incrementar la comodidad de los usuarios. Se han registrado hasta 4 dB de reducción (TMB, 2011).
- *Accesibilidad y asequibilidad.* Esta tecnología no altera la accesibilidad ni asequibilidad que ofrecen los autobuses a diesel. La cobertura de las rutas se mantiene y el precio es el mismo para todos los tipos de autobuses, 2.15 euros (\$39 MX).
- *Capacidad.* 132 autobuses: 45 estándar nuevos, 83 estándar reconvertidos a híbridos, 3 biarticulados y 1 midibús (TMB, 2014).
 - Estándar: 12 metros de longitud, 24 asientos y capacidad para 96 personas.
 - Biarticulados: 24 metros de longitud, 40 asientos y capacidad para 164 personas.
- *Demanda.* En total todo el sistema de autobuses de Barcelona realizó 176.71 millones de viajes en el año 2013, un promedio de 484,137 viajes diariamente.

Factibilidad económica

- *Costos.* El costo de un autobús biarticulado ronda los 0.8 millones de euros (\$14.4 millones MX) y los estándar 0.33 millones de euros (\$5.94 millones MX), de acuerdo a una nota publicada en LA VANGUARDIA (2014). Los híbridos a diesel son aproximadamente 10% más baratos que los híbridos

a GNC (TWENERGY, 2012). Para convertir un autobús diesel convencional a híbrido, TMB invirtió 17,500 euros (\$315,000 MX) en cada autobús (TMB, 2011).

- *Subsidios y/o incentivos.* TMB ha recibido ayudas económicas por parte del Estado de Catalunya para la compra y/o conversión de autobuses híbridos (LA VANGUARDIA, 2014). El Organismo del Ministerio de Industria, Ingeniería y Turismo subvenciona la adquisición de los autobuses híbridos para favorecer el ahorro energético (TMB, 2012).

Factibilidad climática/geográfica

- *Topografía y clima.* La topografía y el clima no son un impedimento para el buen desempeño de esta tecnología.

Gas Natural Comprimido (GNC)

El uso de GNC en el transporte urbano aporta beneficios ambientales con respecto al uso de combustibles fósiles como el diesel, que es el convencionalmente utilizado en los autobuses. Entre estos beneficios destacan la reducción de CO y de NO_x , así como una casi nula emisión de partículas sólidas. La disminución del ruido es otro beneficio que proporciona el uso de esta tecnología. Todos estos factores pueden mejorar la calidad del ambiente urbano.

Factibilidad técnica

- *Diseño.* El diseño de los vehículos es el tradicional motor de combustión interna (MCI), con una modificación para el uso de GNC en lugar de diesel, la cual puede venir hecha desde la fabricación o hacerse posteriormente. Los tanques de almacenamiento también son distintos a los de diesel, ya que deben soportar presiones mucho más elevadas y son más voluminosos (debido a la menor densidad energética del gas con respecto al diesel). Los autobuses articulados son fabricados por Evobus y MAN y los estándar por Irisbus Iveco y MAN (TMB, 2012).
- *Insumos.* Vehículos y combustible GNC.

Factibilidad ambiental

- *Emisiones de CO_2eq , NO_x y/o PM.* Los NO_x se han reducido en un 85%, las PM casi 100% y las emisiones de CO_2 hasta en un 20% (TMB, 2013). Los gases de escape son prácticamente inodoros.

Factibilidad social

- *Confiabilidad.* Los autobuses pasan con la misma frecuencia (cada 5-8 minutos) que lo hacen los autobuses totalmente a diesel, la tecnología no afecta este factor.

- *Seguridad.* Los vehículos cumplen con la normativa de seguridad y no se han reportado accidentes relacionados con su uso de GNC como combustible. Algunas ciudades europeas han expresado preocupación acerca de la seguridad del uso de GNC como combustible, especialmente cuando los vehículos acceden a estaciones cerradas o túneles, sin embargo, en Barcelona la experiencia del uso de esta tecnología ha sido muy positiva tanto para los operadores de los autobuses como para los pasajeros (CLEAN FLEETS, 2014).
- *Comodidad.* El uso de esta tecnología no altera el diseño del interior de los vehículos, sin embargo, aunque el motor de gas sea menos ruidoso que uno de diesel (3-5 dB de reducción), debido a que el abanico del radiador trabaja más, este detalle vuelve al vehículo de gas más ruidoso (ENVIRONMENT & HEALTH ADM, 2013). Los gases de escape son prácticamente inodoros.
- *Accesibilidad y asequibilidad.* Esta tecnología no altera la accesibilidad ni asequibilidad que ofrecen los autobuses a diesel. La cobertura de las rutas se mantiene y el precio es el mismo para todos los tipos de autobuses, 2.15 euros (\$39 MX).
- *Capacidad.* 411 autobuses entre estándar y articulados (TMB, 2012).
 - Estándar, 12 metros de longitud: Iveco, 24 asientos y capacidad para 93 personas; MAN, 27 asientos y capacidad para 85 personas.
 - Articulados, 18 metros de longitud: Evobus, 35 asientos y capacidad para 143 personas; MAN, 37 asientos y capacidad para 136 personas.
- *Demanda.* En total todo el sistema de autobuses de Barcelona realizó 176.71 millones de viajes en el año 2013, un promedio de 484,137 viajes diariamente.

Factibilidad económica

- *Costos.* El costo de un autobús a GNC excede aproximadamente en un 18% al de uno convencional a diesel (TMB, 2012).
- *Subsidios y/o incentivos.* La empresa de Gas Natural Fenosa, cubre el 18% extra del costo de los vehículos de TMB.

Factibilidad climática/geográfica

- *Topografía y clima.* La topografía y el clima no son un impedimento para el buen desempeño de esta tecnología.

Eléctricos

Los vehículos totalmente eléctricos son movidos únicamente con la energía proveniente de una batería recargable. Los autobuses provistos de esta tecnología no requieren un motor de combustión interna, ya que el motor es totalmente eléctrico. La flexibilidad de los trayectos que estos puedan proporcionar, depende del régimen y la infraestructura de recarga; algunos son cargados durante la ruta haciendo paradas en puntos específicos o al inicio y final de la ruta, otros son recargados durante la noche y existen también los que combinan los dos regímenes (recargando de noche y suministrando carga adicional durante su operación).

Estos vehículos tienen cero emisiones por el tubo de escape, lo que los convierte en una opción muy considerable, sin embargo es necesaria una mayor madurez de esta tecnología para que sea flexible a todo tipo de rutas y sus costos se reduzcan. Actualmente es mayormente utilizada en flotas con recorridos especiales y con mayor posibilidad de control, como es el caso del aeropuerto de Ámsterdam cuya flota de autobuses será 100% eléctrica antes de finalizar el año 2014, el primero en el mundo con esta característica.

Factibilidad técnica

- *Diseño.* Los autobuses son construidos por la compañía china BYD (la proveedora más grande de baterías recargables a nivel mundial), miden 14 metros de largo y 2.7 metros de ancho (Imagen D11); poseen una batería reciclable de fosfato de hierro conocida como *Fe battery*, libre de electrolitos tóxicos y metales pesados. Los autobuses cuentan con el sistema de freno regenerativo y además un motor desarrollado por la compañía (in home), el *wheel-hub motor*, que en comparación con un motor convencional, el sistema de eje de tracción trasera no tiene caja de cambios lo cual reduce 300 kg del peso del autobús y ahorra espacio. La potencia del motor se transmite directamente de las ruedas lo cual mejora la eficiencia de propulsión ahorrando energía y reduciendo el ruido y las vibraciones (BYD, 2013).



Imagen D11. Autobús totalmente eléctrico fabricado por la compañía china BYD.
Fuente: NL TIMES (2013)

- *Insumos.* Vehículos y energía eléctrica.

Factibilidad ambiental

- *Emisiones de CO₂eq, NO_x y/o PM.* Cero emisiones de gases de escape. La reducción de las emisiones totales depende del origen o fuente de la energía de la red eléctrica, pero aún si esta proviene de fósiles, se obtendría una reducción de emisiones por la mayor eficiencia que presenta esta tecnología contra un autobús convencional a diesel (CLEAN FLEETS, 2014; BYD, 2013).

Factibilidad social

- *Confiabilidad, seguridad, comodidad, accesibilidad y asequibilidad.* Estos autobuses cubrirán las necesidades de servicio que actualmente cubren los autobuses a diesel, cumpliendo con todos los requerimientos de seguridad necesarios tanto para el conductor como para los pasajeros; adicionalmente se obtendrán mejoras como la reducción de ruido y vibraciones en la conducción, siendo estos, factores que podrían incrementar la comodidad de los pasajeros y del conductor.
- *Capacidad.* La flota estará compuesta de 35 autobuses, los cuales requerirán un tiempo de carga de 5 horas que les proporcionará 250 km de recorrido (BYD, 2013).
- *Demanda.* Se cubrirán el 100% de los traslados en autobús dentro del aeropuerto de Schiphol (BYD, 2013).

Factibilidad económica

- *Costos y, subsidios y/o incentivos.* No se obtuvo información del costo total del sistema, pero un autobús eléctrico estándar de la compañía BYD cuesta alrededor de \$850,000 dólares (\$10.63 millones MX) según datos publicados en el China daily USA (He, 2013).

Factibilidad climática/geográfica

- *Topografía y clima.* La topografía y el clima no son un impedimento para el buen desempeño de esta tecnología.

Hidrógeno

El hidrógeno puede ser utilizado como combustible en un MCI modificado o alimentando una celda de combustible, la cual actúa como una batería. Como parte del proyecto europeo CUTE (Clean Urban Transport for Europe), tres autobuses de MCI a hidrógeno Mercedes Citaro, fueron probados en Ámsterdam del 2003 al 2008, pero al final de este periodo fueron retirados debido a su baja eficiencia energética. Dando continuidad al proyecto, en la primavera del 2011 empezaron a circular 2 autobuses con celdas de combustible alimentadas con hidrógeno; estos estarán a prueba hasta el presente 2014.

Factibilidad técnica

- *Diseño.* Dos autobuses modelo Phileas fabricados por la compañía holandesa APTS (Imagen D12). Sistema de celdas de combustible modelo FCVelocity HD6 con 150 kW de poder y almacenamiento de energía eléctrica en baterías y ultracapacitores de NiMeH (níquel metal hybrid); con una longitud de 18 metros (EMTA, 2011).

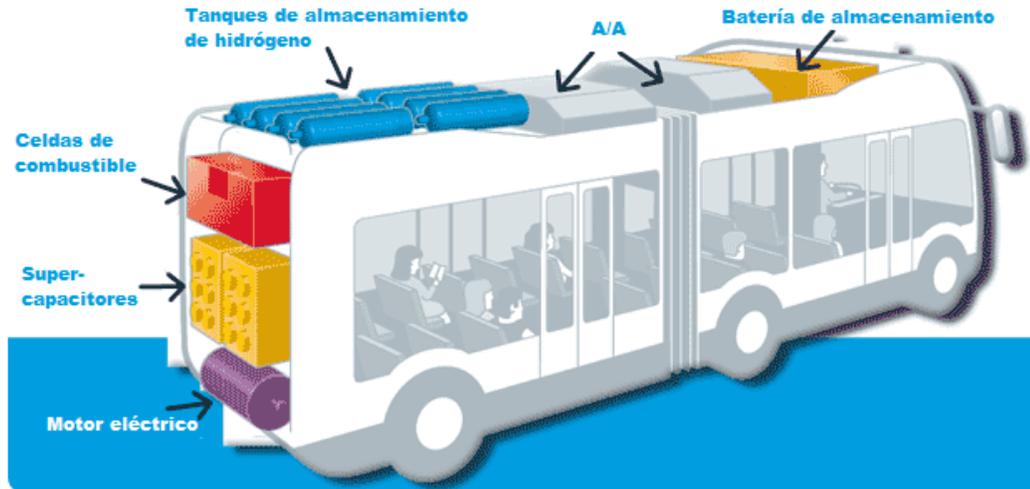


Imagen D12. Autobús de celdas de combustible de hidrógeno fabricado por la compañía holandesa APTS (arriba el esquema y abajo el modelo real).
Fuente: GVB (2014b)

- *Insumos.* Vehículos y combustible hidrógeno.

Factibilidad ambiental

- *Emisiones de CO₂eq, NO_x y/o PM.* Cero emisiones de gases de escape. La reducción de las emisiones totales depende del origen o fuente de la que se obtuvo el hidrógeno y de su proceso de producción en sí. En este caso es producido por hidrólisis y la energía eléctrica empleada proviene en un 100% de fuentes renovables (GVB, 2014).

Factibilidad social

- *Confiabilidad.* El uso de esta tecnología no altera el itinerario normal de la línea.

- *Seguridad.* Medidas de seguridad son delicadamente tomadas en los procesos de producción de hidrógeno, compresión, almacenamiento, recarga, mantenimiento y conducción.
 - La planta de producción está monitoreada las 24 horas y salvaguardada en contra de colisiones. Si existe alguna variación irregular en los niveles de presión, flujo y volumen, el sistema automáticamente se apaga y el hidrógeno es liberado en caso de ser necesario para evitar explosiones.
 - Los autobuses son aparcados debajo de un detector de hidrógeno después de recargar para identificar fugas y tomar las medidas necesarias.
 - Los conductores de estos autobuses reciben un entrenamiento especial para su manejo.
- *Comodidad.* El uso de esta tecnología no altera el diseño del interior de los vehículos, sin embargo, el ruido y las vibraciones ocasionadas por la conducción se ven disminuidas, factores que podrían incrementar la comodidad de los usuarios.
- *Accesibilidad.* Disponibles de lunes a viernes en el horario normal de la ruta 22.
- *Asequibilidad.* Estos autobuses dan servicio en una ruta que forma parte de una red integrada de transporte de la ciudad en la que se combinan con tranvía y metro. El uso de cualquiera de estos tres medios puede hacerse por medio de un mismo boleto cuyo costo va desde los 2.8 euros (\$50 MX) por hora, hasta los 32 euros (\$576 MX) por semana. Existen precios y descuentos especiales para viajeros frecuentes y/o con alguna condición especial (GVB, 2014).
- *Capacidad.* Dos autobuses de 37 asientos y capacidad para 65 personas (GVB, 2014).
- *Demanda.* Se realizan en promedio 740,000 viajes por día en toda la red (GVB, 2014).

Factibilidad económica

- *Costos.* No se obtuvo una cifra exacta del costo del sistema en Ámsterdam específicamente ya que forma parte del proyecto CUTE, el cual en su etapa 2006-2009, que incluyó 47 autobuses a hidrógeno (14 de MCI y 33 de celdas de combustible) y 10 estaciones de recarga, costó 43 millones de euros, equivalente a \$774 millones MX (HyFLEET:CUTE, 2009).
- *Subsidios y/o incentivos.* Los autobuses forman parte una red de transportes propiedad del gobierno de la ciudad de Ámsterdam desde el 2007. Además el proyecto está subsidiado en más de un 40% por la Comisión Europea (HyFLEET:CUTE, 2009).

Factibilidad climática/geográfica

- *Topografía y clima.* La topografía y el clima no son un impedimento para el buen desempeño de esta tecnología.

Biometano

El biogás es un combustible renovable que puede utilizarse en sustitución del GNC para la moción de vehículos. Este es producido a partir de los gases generados de la descomposición de materia orgánica que posteriormente pasará por un proceso de purificación para remover el sulfuro de hidrógeno, dióxido de

carbón y la humedad; y solo así puede ser introducido en el vehículo o en alguna red de suministro (puede mezclarse con gas natural sin problema ya que la composición molecular es la misma) y ser utilizado como combustible. A este punto el gas es nombrado biometano.

Suecia es un caso ejemplar de un país con una red nacional de gas bien desarrollada, que posee varias plantas de purificación de biogás y un mercado existente de vehículos funcionando con este combustible. Las ciudades de Estocolmo y Linköping serán particularmente examinadas por su destacada participación.

Factibilidad técnica

- *Diseño.* Autobuses SCANIA, VOLVO y MAN, estándar (12 metros) y articulados (18 metros). El motor de los vehículos es de ignición por chispa (Ciclo Otto) debido al alto octanaje del biogás (>120). Los vehículos diesel pueden ser convertidos a gas realizando principalmente las siguientes modificaciones (BBB, 2012):
 - Reemplazar el equipo de inyección diesel por uno de bujías.
 - Nuevos pistones para disminuir la relación de compresión.
 - Adicionar un tanque de gas y el sistema de combustible.
- *Insumos.* Vehículos acondicionados para funcionar a gas y combustible biogás o biometano, el cual proviene de:
 - En Estocolmo de los lodos de 4 plantas de tratamiento de agua (Henriksdal, Käppala, Bromma y Himmerfjärds-verket), siendo la principal y más grande la de Henriksdal. Y de plantas que utilizan cultivos energéticos (energy crops) y residuos de la industria alimenticia (BBB, 2012b).
 - En Linköping de los lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales en Nykvarn y, del tratamiento de diversos residuos orgánicos en la planta Åby como grasas y vegetales de diferentes industrias alimenticias; tejidos, sangre y aguas residuales provenientes de rastros, y estiércol de las granjas locales (Amiri et al., 2013).

Factibilidad ambiental

- *Emisiones de CO₂eq, NO_x y/o PM.* Las PM se reducen casi en un 100% y los NO_x entre un 30-80% en comparación con un vehículo de diesel (CLEAN FLEETS; 2014). La reducción de emisiones de CO₂ proviene de evitar las emisiones de metano producidas por diversos desechos orgánicos.
 - En Estocolmo se han obtenido las siguientes reducciones (SEPA, 2011):
 - Las emisiones de CO₂ se han reducido en un promedio de 3,100 toneladas por año.
 - Las emisiones de NO_x se han reducido en un promedio de 21 toneladas por año.
 - Las emisiones de PM se han reducido en un promedio de 311 kg por año.
 - En Linköping el uso de biogás como combustible logra una reducción de 14,000 toneladas de CO₂ por año (SWEDISH BIOGAS; 2011).

El uso del biogás puede ayudar a reducir hasta en un 25% los GEI ocasionados por las emisiones del transporte terrestre en Suecia (Olsson & Fallde, 2014).

La emisión de escape de CO_2 (g CO_2 / MJ) del metano es menor que la del diesel, pero el metano tiene una menor eficiencia energética que el diesel, por lo tanto, esta ventaja comúnmente se pierde al verse equilibrada la magnitud de las emisiones de CO_2 en ambos casos a causa de este detalle; es por esto que el desarrollo de las nuevas generaciones de motores de gas está enfocado en incrementar la eficiencia energética (BBB, 2012).

Factibilidad social

- *Confiabilidad.* El uso de esta tecnología no altera este factor, los autobuses cumplen con los horarios especificados con gran puntualidad, incluso utilizan un sistema donde el usuario puede ver en una pantalla el tiempo de espera para el próximo autobús.
- *Seguridad.* Los vehículos cumplen con la normativa de seguridad y no se han reportado accidentes relacionados con su condición de motor a gas. Sin embargo, algunas personas aún expresan preocupación acerca de la seguridad del uso de gas como combustible.
- *Comodidad.* El uso de esta tecnología no altera el diseño del interior de los vehículos, sin embargo, aunque el motor de gas sea menos ruidoso que uno de diesel (3-5 dB de reducción), debido a que el abanico del radiador trabaja más, este detalle vuelve al vehículo de gas más ruidoso (ENVIRONMENT & HEALTH ADM, 2013). Los gases de escape son prácticamente inodoros.
- *Accesibilidad.* Esta tecnología no altera la accesibilidad ni asequibilidad que ofrecen los autobuses a diesel; la cobertura de las rutas se mantiene.
- *Asequibilidad.*
 - En Estocolmo, el precio por viaje sencillo (se puede utilizar en todos los medios de transporte de la red: autobuses, metro, tranvías y trenes) es válido hasta 75 minutos después de la expedición (compra) y dependiendo la zona a la que se desee viajar (la ciudad está dividida en zonas) el precio varía entre las 20 y las 72 coronas (\$40-144 MX). Existen precios más accesibles para viajeros frecuentes y descuentos especiales para jóvenes, personas de la tercera edad, y otras condiciones especiales.
 - En Linköping el precio para un viaje sencillo, válido hasta 75 minutos después de la expedición (compra) es de 22 coronas (\$44 MX).
- *Capacidad.*
 - Estocolmo: más de 400 autobuses funcionando actualmente y se espera que la cifra se despliegue en los próximos años (CLEAN FLEETS, 2014). En cuanto al suministro de biogás, Estocolmo cuenta con 5 grandes depósitos de autobuses equipados para la recarga de combustible, y además, 7 estaciones públicas de recarga (BBB, 2012b).
 - Linköping: 350 autobuses (Imagen D13) equivalentes al 100% de la flota de autobuses urbanos (ÖstgötaTrafiken, 2014) y al menos 20 estaciones de recarga (NICHES, 2007; BALTIC ECOREGION, 2010).



Imagen D13. Autobuses articulados a biogás de la compañía ÖstgötaTrafiken en la ciudad de Linköping.

Fuente: Elaboración propia

- *Demanda.*
 - En Estocolmo se realizan 2.5 millones de viajes diariamente en todo el sistema (Stockholms Läns Landsting, 2014).
 - En Linköping, un promedio de 71,233 viajes diariamente (ÖstgötaTrafiken, 2014).

Factibilidad económica

- *Costos.* El precio de un autobús a gas es de 265,000 euros (18% más que uno a diesel), equivalentes a \$4, 770,000 MX (BBB, 2012c); y el consumo de combustible es de 42 kg de gas/ 100 km, el precio de gas actual en Estocolmo ronda las 19 coronas (\$38 MX) por kg (FORDONS GAS, 2014), lo que da un costo de conducción aproximada de \$1,596 MX/ 100 km. La distribución y recarga de biogás (considerando infraestructura y transporte) tiene un costo aproximado de 0.1-0.15 euros por Nm³ (BBB, 2012).

En Estocolmo, en el 2008 la operación de un autobús a biogás era aproximadamente 20% mayor que la de un autobús a diesel, pero para el 2012 los costos fueron casi idénticos, debido a una significativa reducción en costos de servicio y mantenimiento (CLEEN FLEETS, 2014).

- *Subsidios y/o incentivos.* Ambas empresas de transporte pertenecen al gobierno de estas ciudades.

Factibilidad climática/geográfica

- *Topografía y clima.* La topografía y el clima no son un impedimento para el buen desempeño de esta tecnología.

Bioetanol

El bioetanol E95 es un combustible líquido que puede utilizarse en vehículos de motor diesel con una ligera modificación y utilizando un aditivo para facilitar la ignición. El bioetanol es producido de la fermentación del almidón, azúcares y celulosa de diversos frutos y vegetales, y utilizado directamente como sustituto del petróleo (diesel o gasolina).

La empresa sueca SCANIA, actualmente es la única proveedora de autobuses que funcionen con bioetanol, así como del aditivo necesario para la mezcla del E95. Estocolmo tiene 25 años de experiencia con autobuses a bioetanol y actualmente posee la flota más grande de autobuses con esta tecnología (ELTIS, 2011).

Factibilidad técnica

- *Diseño.* Autobuses SCANIA estándar (12 metros) y articulados (18 metros); motor diesel modificado para etanol. Utilizan combustible ED95, donde la "D" indica que es etanol para ser usado en motores diesel. El ED95 contiene 95% etanol y 5% un aditivo para facilitar la ignición; este permite que la eficiencia energética del motor modificado sea equivalente a la de un motor diesel convencional.
- *Insumos.* Vehículos y combustible etanol (ED95). Un porcentaje del etanol consumido es producido en la Unión Europea, pero la mayor parte es importado de otras partes del mundo, mayormente de Brasil (ELTIS, 2011)

Factibilidad ambiental

- *Emisiones de CO_2 , NO_x y/o PM.* Se han obtenido reducciones de CO_2 de un 68% a un 88% en comparación con un vehículo convencional a diesel y hasta 10 veces menos PM (CLEAN FLEETS, 2014; ELTIS, 2011b), y 5 veces menos NO_x (SCANIA, 2006).

Factibilidad social

- *Confiabledad.* El uso de esta tecnología no altera este factor, los autobuses cumplen con los horarios especificados con gran puntualidad, incluso utilizan un sistema donde el usuario puede ver en una pantalla el tiempo de espera para el próximo autobús.
- *Seguridad.* Los vehículos cumplen con la normativa de seguridad y no se han reportado accidentes relacionados con su uso de bioetanol como combustible.
- *Comodidad.* El uso de esta tecnología no altera el diseño del interior de los vehículos, se puede observar que los vehículos proporcionan la misma comodidad que los autobuses convencionales a diesel.
- *Accesibilidad.* Esta tecnología no altera la accesibilidad que ofrecen los autobuses a diesel; la cobertura de las rutas se mantiene.
- *Asequibilidad.* El precio por viaje sencillo (se puede utilizar en todos los medios de transporte de la red: autobuses, metro, tranvías y trenes) es válido hasta 75 minutos después de la expedición (compra) y dependiendo la zona a la que se desee viajar (la ciudad está dividida en zonas) el precio

varía entre las 20 y las 72 coronas (\$40-144 MX). Existen precios más accesibles para viajeros frecuentes y descuentos especiales para jóvenes, personas de la tercera edad, y otras condiciones especiales.

- *Capacidad.* Más de 700 autobuses (Imagen D14) funcionando actualmente (CLEEN FLEETS, 2014). El combustible es suministrado en los depósitos de autobuses. En el 2010 se abrió en Jordbro (el área industrial de Haninge), a las afueras de Estocolmo, la primera estación pública de recarga de ED95 y se planea abrir otras en las regiones metropolitanas de Gothenburg y Malmo (SEKAB, 2011).



Imagen D14. Autobús estándar a bioetanol de la compañía SL en la ciudad de Estocolmo.
Fuente: Elaboración propia

- *Demanda.* En Estocolmo se realizan 2.5 millones de viajes diariamente en todo el sistema de transporte, incluyendo autobuses, metro, trenes y tranvías (Stockholms Läns Landsting, 2014).

Factibilidad económica

- *Costos.* Los autobuses a bioetanol tienen un costo adicional de entre 11,000- 22,000 euros (\$198,000-396,000 MX) en comparación con los de diesel, y un costo de operación de alrededor de 7000 euros/ año (\$126,000 MX) más que los de diesel (ELTIS, 2011). Los costos de una estación de recarga son exactamente los mismos que para una de diesel, el único costo adicional es el requerimiento de un sistema de aspersores, debido al incremento de riesgo de incendio que genera el etanol (ELTIS, 2011).
- *Subsidios y/o incentivos.* La empresa de transporte pertenece al gobierno de la ciudad.

Factibilidad climática/geográfica

- *Topografía y clima.* La topografía y el clima no son un impedimento para el buen desempeño de esta tecnología.

Biodiesel

El biodiesel es un combustible que puede ser utilizado en vehículos de motor diesel. Es fabricado a partir de aceites vegetales y grasas animales (vírgenes o residuales); es biodegradable, y produce menos contaminantes que el diesel a base de petróleo.

El biodiesel puede ser utilizado en su forma pura (B100) o mezclado con diesel de petróleo. Las mezclas más comunes incluyen B2 (2% de biodiesel), B5 y B20.

La mayoría de los fabricantes de vehículos aprueban las mezclas de hasta B5, y solo algunos de ellos aprueban la B20 o superiores.

En la ciudad de Estocolmo, Suecia; el 24% de sus autobuses corriendo con tecnologías limpias, utilizan biodiesel proveniente principalmente de aceite de colza como combustible (ENVIRONMENT & HEALTH ADM, 2013; CLEAN FLEETS, 2014).

Factibilidad técnica

- *Diseño.* Vehículos SCANIA, VOLVO y VDL; tamaño estándar de 12 metros, articulado de 18 metros y de dos pisos, double-decker (Imagen D15); motor diesel acondicionado para uso de B100.



Imagen D15. Autobús de dos pisos a biodiesel de la compañía SL en la ciudad de Estocolmo.
Fuente: ENVIRONMENT & HEALTH ADM (2013b)

- *Insumos.* Vehículos acondicionados para funcionar a B100 y combustible biodiesel B100, el cual proviene en un su mayoría de aceite vegetal de colza y otra parte de una mezcla de aceites usados; como aceite de palma, de girasol y, otros aceites y grasas animales (KTH, 2012; CLEAN FLEETS, 2014).

Factibilidad ambiental

- *Emisiones de CO₂eq, NO_x y/o PM.* Han obtenido reducciones en comparación con un vehículo de diesel de aproximadamente 60% en emisiones de CO₂; las PM10 han disminuido hasta en un 60% (aunque en ocasiones ha habido incrementos en las PM_{2.5}); las emisiones de NO_x pueden ser ligeramente más altas (CLEAN FLEETS; 2014).

Factibilidad social

- *Confiabilidad.* El uso de esta tecnología no altera este factor, los autobuses cumplen con los horarios especificados con gran puntualidad, incluso utilizan un sistema donde el usuario puede ver en una pantalla el tiempo de espera para el próximo autobús.
- *Seguridad.* Los vehículos cumplen con la normativa de seguridad y no se han reportado accidentes relacionados con su condición de motor a biodiesel.
- *Comodidad.* El uso de esta tecnología no altera el diseño del interior de los vehículos, proporcionando las mismas condiciones de comodidad que un autobús a diesel.
- *Accesibilidad.* Esta tecnología no altera la accesibilidad que ofrecen los autobuses a diesel; la cobertura de las rutas se mantiene.
- *Asequibilidad.* El precio por viaje sencillo (se puede utilizar en todos los medios de transporte de la red: autobuses, metro, tranvías y trenes) es válido hasta 75 minutos después de la expedición o compra y dependiendo la zona a la que se desee viajar (la ciudad está dividida en zonas) el precio varía entre las 20 y las 72 coronas (\$40-144 MX). Existen precios más accesibles para viajeros frecuentes y descuentos especiales para jóvenes, personas de la tercera edad, y otras condiciones especiales.
- *Capacidad.* 220 autobuses a biodiesel funcionando (BBB, 2012c). En cuanto al suministro de biodiesel, Estocolmo cuenta con 2 estaciones de recarga, Stockholm Norr y Stockholm Väster (KTH, 2012).
- *Demanda.* En Estocolmo se realizan 2.5 millones de viajes diariamente en todo el sistema (Stockholms Läns Landsting, 2014).

Factibilidad económica

- *Costos.* El precio de un autobús a B100 es el mismo que uno convencional a diesel, los costos de mantenimiento tampoco ven incrementados; el costo del combustible es de 1000 coronas suecas/ 100 km de conducción, equivalente a \$2000 MX (ENVIRONMENT & HEALTH ADM, 2013; CLEAN FLEETS, 2014).
- *Subsidios y/o incentivos.* La empresa de transporte pertenecen al gobierno de la ciudad. Sin embargo hay un subsidio de 10,000 coronas suecas/ vehículo (20,000 MX), para los que compren un vehículo que utilice combustible renovable o sea energéticamente eficiente (KTH, 2012).

Factibilidad climática/geográfica

- *Topografía y clima.* La topografía y el clima no son un impedimento para el buen desempeño de esta tecnología.

Trolebús

(Esta tecnología no fue examinada in situ, elemento tomado de la literatura)

Los trolebuses son autobuses eléctricos que utilizan un sistema de cableado aéreo conectado al todo de las unidades para el suministro de electricidad. La mayoría de los trolebuses modernos tienen alguna unidad auxiliar de energía para permitir una operación independiente, la cual puede consistir en un motor diesel más pequeño o una batería.

Los trolebuses ofrecen las ventajas de los autobuses eléctricos sin los problemas relacionados con la batería, como el espacio necesario para su almacenamiento, el rango de desplazamiento reducido, el costo de reemplazo de la batería, etc.

Hay versiones híbridas de los trolebuses en fase de desarrollo para operar con batería durante períodos más largos, y luego recargar cuando el autobús se une de nuevo a los cables aéreos; esto es visto como una opción para reducir el impacto de los cables aéreos, pero manteniendo las ventajas operativas de la recarga del sistema eléctrico en funcionamiento (CLEAN FLEETS, 2014).

Factibilidad técnica

- *Diseño.* El diseño de un trolebús (Figura D2) es básicamente un autobús de motor eléctrico alimentado por un cable superior (tendido) de donde toma la energía eléctrica mediante dos astas (troles o plumas). Algunos modelos comunes son Irisbus Civis, Neoplan N6121, Bombardier GLT y Berkhof Premier A T18; vehículos estándar de 12 metros y 15 metros, y articulados de 18 metros; todos con piso bajo para un fácil acceso (TROLLEY, 2013).

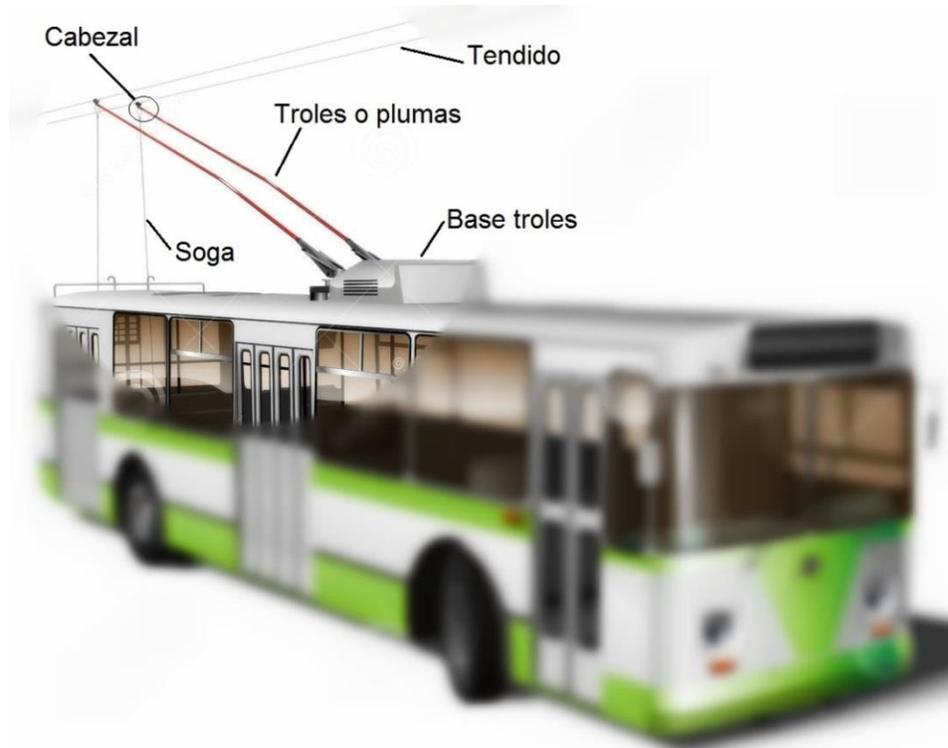


Figura D2. Esquema de los elementos principales de un trolebús.
Fuente: Elaboración propia

- *Insumos.* Vehículos e infraestructura de alimentación de energía eléctrica.

Factibilidad ambiental

- *Emisiones de CO₂eq, NO_x y/o PM.* Los trolebuses pueden reducir las emisiones de GEI alrededor de un 95% cuando utilizan energía proveniente de fuentes renovables, sin embargo, cuando esta energía proviene de fuentes fósiles, los trolebuses logran reducciones de alrededor de un 30% en comparación con los autobuses a diesel; además, usan el sistema de freno regenerativo generando ahorros de energía de hasta un 25% (CLEAN FLEETS, 2014).

Factibilidad social

- *Confiabilidad.* El uso de esta tecnología no altera este factor, los autobuses pueden cumplir con los itinerarios.
- *Seguridad.* Los vehículos cumplen con la normativa de seguridad correspondiente.
- *Comodidad.* El uso de esta tecnología no altera el diseño del interior de los vehículos. Los trayectos son más silenciosos y serenos, tal como en un autobús eléctrico; factores que pudieran incrementar la comodidad de los usuarios.
- *Accesibilidad.* Esta tecnología no altera la accesibilidad que ofrecen los autobuses a diesel; la cobertura de las rutas se mantiene.

- *Asequibilidad.* Esta tecnología no ocasiona un incremento en las tarifas que las compañías de transporte tienen establecidas para los viajes.
- *Capacidad y demanda.* Alrededor de 300 trolebuses (Imagen D16) están actualmente en operación, en ciudades de 43 países distintos (Murray, 2000).



Imagen D16. Trolebuses Irisbus Cavis (izquierda) y Neoplan N6121 (derecha).
Fuente: LA REPUBBLICA (2011); PHOTOTRANS (2010).

Factibilidad económica

- *Costos.* Algunos supuestos del costo del sistema son (TROLLEY, 2013):
 - Trolebús: 235,200 euros (\$4,233,600 MX).
 - Tendido: 360,000 euros/ km (\$6,480,000 MX).
 - Subestación: 312,000 euros (\$5,616,000 MX); se requiere una subestación cada 3.45 km.
 - Mantenimiento anual: 24,000 euros/ km (\$432,000 MX).

Los costos de operación son relativamente bajos y el tiempo de vida del vehículo es mayor en comparación con los autobuses a diesel (CLEAN FLEETS, 2014); se estiman 20 años de vida útil para un trolebús y 12 años para un autobús diesel (TROLLEY, 2013).

- *Subsidios y/o incentivos.* Este factor va a depender de cada caso en particular.

Factibilidad climática/geográfica

- *Topografía y clima.* La topografía y el clima no son un impedimento para el buen desempeño de esta tecnología, al contrario, las ciudades con grandes pendientes se ven beneficiadas con mayores ahorros de energía en comparación con el combustible que requerían para proporcionar el mismo servicio con autobuses a diesel (CLEAN FLEETS, 2014).

Electromovilidad

Puntos de recarga para vehículos eléctricos

Factibilidad técnica

- *Diseño.* Existen dos modalidades de recarga, estándar y rápida, la estándar utiliza un voltaje de 230 V (toma alrededor de dos horas) y la rápida de 380 V (toma entre 5 y 30 minutos). Para realizar el proceso de recarga, el usuario aparca su vehículo en la plaza correspondiente y conecta el vehículo al punto de recarga. La activación se hace por medio del dispositivo electrónico previamente proporcionado por el proveedor de servicio elegido por el usuario. Otro tipo de vehículos como motocicletas y barcos también pueden recargarse; hay puntos de recarga exclusivos para éstos y automóviles especiales. La marca en la estación de carga debe especificar el tipo.
- *Insumos.* Puntos de recarga (infraestructura eléctrica).

Factibilidad ambiental

- *Emisiones de CO₂eq, NO_x y/o PM.* Los vehículos eléctricos tienen cero emisiones de gases de escape, y en Ámsterdam un porcentaje de la energía de la red eléctrica es renovable. Durante la noche el suministro de energía proveniente de distintos parques eólicos de los Países Bajos excede la demanda de la ciudad, lo cual representa una opción sustentable el recargar los vehículos durante estas horas y disminuir así los picos de demanda durante el día y con ello la generación de energía proveniente de fuentes fósiles que asegura la flexibilidad de suministro (City of Ámsterdam, 2010).

Factibilidad social

- *Confiabledad.* La amplia disponibilidad de puntos de recarga en la ciudad (e inclusive en toda la extensión de los Países Bajos), brinda a los usuarios seguridad de que no se quedarán varados en algún sitio sin posibilidad de recarga.
- *Seguridad.* Todos los vehículos eléctricos del mercado cumplen con las condiciones de seguridad necesarias para su uso. De igual forma, la infraestructura y el proceso de recarga está diseñado y regulado para su uso seguro (ESSENT, 2014).
- *Comodidad.* Los vehículos eléctricos ofrecen una conducción más silenciosa, estable y además libre de emisiones; factores que incrementan la comodidad de los usuarios (ESSENT, 2014).
- *Accesibilidad y capacidad.* 2000 puntos de recarga (Imagen D17) distribuidos por toda la ciudad en el 2013 (de los cuales aproximadamente la mitad son públicos) y siguen aumentando con rapidez (AMTERDAM.NL, 2014). El usuario tiene la posibilidad de solicitar a su proveedor de servicio un punto de recarga cercano a su domicilio o lugar de trabajo, los cuales trataran de resolverlo en un periodo de 3 a 5 meses.



Imagen D17. Vehículo conectado a un punto de recarga en la ciudad de Ámsterdam.

Fuente: Elaboración propia

- *Asequibilidad.* El rendimiento promedio de un automóvil eléctrico es de 0.17 kWh/km, representando un gasto de 4.25 euros/ 100 km. Comparado con un automóvil promedio, considerando 1.8 euros/ L de gasolina, se gastarían 12 euros para recorrer los mismos 100 km. El propietario de un automóvil eléctrico debe solicitar al gobierno de la ciudad que le asignen un permiso para poder utilizar los diferentes puntos de recarga distribuidos por la ciudad. Posteriormente debe afiliarse a alguna empresa particular proveedora del servicio de suministro. Existen más de diez opciones en el mercado, pero los dos con mayor número de afiliados son Nuon y Essent.
 - Nuon no tiene tarifa mensual, el usuario paga 0.28 euros/ kWh consumido.
 - Essent tiene dos tipos de suscripción: usuario frecuente con una mensualidad de 2.5 euros y una cuota de 0.25 euros/ kWh y; usuario casual sin mensualidad y una cuota de 0.28 euros/ kWh.
- *Demanda.* No se obtuvo la cifra del número de usuarios, sin embargo se sabe que esta va en aumento (AMTERDAM.NL, 2014b).

Factibilidad económica

- *Costos.* El costo de un punto de recarga rápida (DC fast-charger) de la multinacional ABB tiene un precio que ronda los 10,000 euros equivalente a \$180,000 MX (GCC, 2012). No se obtuvo el costo de un punto de recarga estándar pero se sabe que es inferior al de recarga rápida.
- *Subsidios y/o incentivos.* El gobierno subsidia la compra de vehículos eléctricos. Los montos de las subvenciones para el 2014 son (AMTERDAM.NL, 2014c):
 - 5,000 euros (\$90,000 MX) para un automóvil eléctrico
 - 10,000 (\$180,000 MX) euros para una furgoneta
 - 10,000 (\$180,000 MX) euros para un taxi eléctrico
 - 40,000 (\$720,000 MX) euros para un camión

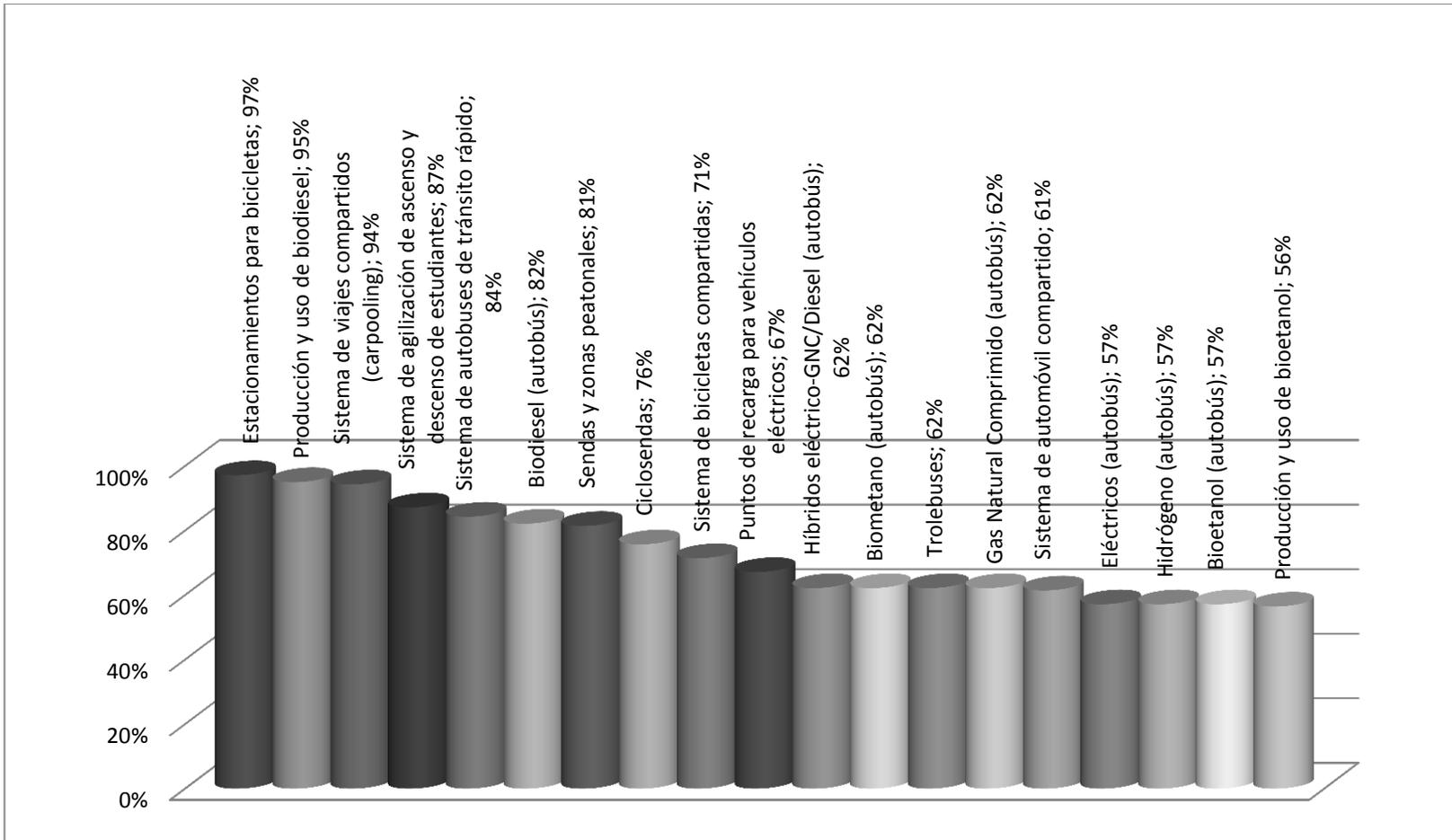
Existen también subsidios para las empresas que deseen ampliar los puntos de recarga y, usuarios que deseen poner un punto de recarga en su domicilio y mayor aún si permitan que otras personas lo utilicen (AMTERDAM.NL, 2014).

Factibilidad climática/geográfica

- *Topografía y clima.* No representan un impedimento para el buen funcionamiento de esta tecnología.

ANEXO E

FACTIBILIDAD DE RÉPLICA DE LAS BPs EN LA URC



Gráfica E1. Factibilidad de réplica de las BPs en la URC.

ANEXO F

PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS SOCIALES DE LAS BPs

| | |
|--|---|
| | VALOR 0: DESFAVORABLE |
| | VALOR 0.5: MODERADAMENTE FAVORABLE |
| | VALOR 1: ALTAMENTE FAVORABLE |

| Elementos/ tecnologías | C4: confiabilidad | C5: seguridad | C6: comodidad | C7: accesibilidad | C8: asequibilidad | C9: capacidad | C10: demanda |
|--|---|---|--|--|--|--|---|
| Sistema de autobuses de tránsito rápido | El actual transporte público no utiliza este sistema, pero en sus principios está evitar los inconvenientes del <i>modus operandi</i> del transporte público (autobuses) convencional, mencionados por los estudiantes. | Este sistema incrementa la seguridad por tener carriles exclusivos de circulación, en comparación con el transporte público convencional. | Este sistema incrementa la comodidad en comparación con el transporte público convencional, más no se equipará (para fines de evaluación) a la comodidad que brinda el transporte privado. | Una considerable parte de los usuarios considera que las rutas se adecuan a sus necesidades. | Este sistema incrementaría aún más el precio del pasaje por tener costos más elevados de construcción y mantenimiento. | Este sistema incrementa la capacidad en comparación con el transporte público convencional, por utilizar unidades de mayor capacidad y en mayor cantidad para mantener una frecuencia estable. | El transporte público presenta una alta demanda por los estudiantes, siendo este el principal medio de desplazamiento |
| Híbridos eléctrico-GNC/Diesel (autobús) | La mayoría de los usuarios del autobús lo califica como no confiable al indicar como | La mayoría de los estudiantes usuarios de este medio califican la seguridad como | La mayoría de los estudiantes usuarios de este medio califican las condiciones de | | Una considerable parte de los usuarios califica el costo del transporte público | La mayoría de los usuarios del autobús indicó que la unidad no siempre hace la | |
| GNC (autobús) | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|---|---|--|--|--|--|
| Eléctricos (autobús) | principales inconvenientes el extenso tiempo de espera de la unidad y del recorrido, y que no siempre hace la parada cuando se le solicita. | moderada. | confort de la unidad como muy pobres. | | como accesible (pero actualmente tienen 2 pasajes gratis por día). Es muy probable que el uso de estas tecnologías ocasione un incremento en el precio del pasaje; sin embargo, la mayoría de los estudiantes está dispuesto a pagar más por un transporte de calidad. | parada cuando se le solicita (en ocasiones por que viene a su límite de capacidad) y un extenso tiempo de espera. Factores que señalan falta de capacidad en el sistema al ser necesarias más unidades para cubrir la demanda. | |
| Hidrógeno (autobús) | | | | | | | |
| Biometano (autobús) | | | | | | | |
| Bioetanol (autobús) | | | | | | | |
| Biodiesel (autobús) | | | | | | | |
| Trolebuses (autobús) | | | | | | | |
| Sistema de agilización de ascenso y descenso de estudiantes | Debido a las grandes concentraciones vehiculares que se producen en algunos horarios en el campus, no hay seguridad de que el carril de ascenso y descenso no esté saturado. Sin embargo, el flujo de circulación es rápido. | Este sistema incrementa la seguridad en comparación con el tradicional método de ascenso y descenso, que generalmente involucra estacionarse en doble fila (obstruyendo el flujo) o en lugares indebidos. | Este sistema incrementa la seguridad en comparación con el tradicional método de ascenso y descenso, al incrementar la rapidez del proceso. | Este sistema es accesible para todas las personas que van a ser dejadas o recogidas del campus por un tercero. | Este sistema es de uso gratuito. | Es probable que en horas pico, la capacidad de este carril de ascenso y descenso no cubra la demanda. | Puede ser usado por todos los estudiantes que son dejados o recogidos en el campus por un tercero. |

| | | | | | | | |
|---|---|--|--|---|---|---|---|
| <p>Sistema de automóvil compartido</p> | <p>No hay seguridad de que haya un vehículo disponible cuando se requiera.</p> | <p>El automóvil es calificado por la mayoría de los estudiantes usuarios como un medio altamente seguro.</p> | <p>El automóvil es calificado por la mayoría de los estudiantes usuarios como un medio altamente cómodo.</p> | <p>Acceso moderado (generalmente se cuenta con pocas unidades) cuando el vehículo se coge en el campus, pero acceso nulo cuando se requiere que el viaje inicie desde el hogar.</p> | <p>El costo por hora de uso de este sistema es muy elevado.</p> | <p>Estos sistemas en universidades tienen una cobertura moderada (generalmente se cuenta con pocas unidades) cuando el vehículo se coge en el campus, pero cobertura nula cuando se requiere que el viaje inicie desde el hogar.</p> | <p>Este medio de transporte tiene una gran demanda por los estudiantes de la universidad.</p> |
| <p>Puntos de recarga para vehículos eléctricos</p> | <p>No hay infraestructura de recarga disponible por la ciudad, ni en el campus, lo cual aumenta la probabilidad de quedarse varado sin energía para continuar el recorrido.</p> | <p>El automóvil es calificado por la mayoría de los estudiantes usuarios como un medio altamente seguro.</p> | <p>El automóvil es calificado por la mayoría de los estudiantes usuarios como un medio altamente cómodo.</p> | <p>No hay infraestructura de recarga disponible por la ciudad, ni en el campus.</p> | <p>Los vehículos eléctricos son muy costosos en comparación con los de gasolina. Las unidades de recarga rápida también son muy costosas.</p> | <p>Los vehículos eléctricos tienen capacidades que actualmente rondan los 100km de rendimiento por recarga, por lo que, con las precauciones adecuadas se podrían realizar los trayectos de traslado de los estudiantes, de sus hogares al campus. La capacidad de los puntos de recarga va desde rondar las 12 horas para completar una recarga en voltaje 110, hasta 30 min en voltaje 320 (unidades de recarga más modernas del mercado, fast charge).</p> | <p>Aunque el uso del automóvil tiene gran demanda por los estudiantes, en esta modalidad eléctrica no, por lo cual la demanda de "puntos de recarga" va en el orden de muy baja a nula.</p> |

| | | | | | | | |
|---|---|--|---|---|---|---|--|
| <p>Sistema de viajes compartidos</p> | <p>Factores generadores de la confiabilidad del sistema como asistencia y puntualidad pueden variar y depender de la persona con la que se comparta el viaje.</p> | <p>La seguridad en el viaje puede variar y depender de la persona con la que se comparta el viaje.</p> | <p>El automóvil es calificado por la mayoría de los estudiantes usuarios como un medio altamente cómodo.</p> | <p>Una plataforma virtual puede ofrecer acceso a todos los que busquen conductor o acompañantes con quien compartir el viaje desde o hacia las distintas zonas de la ciudad.</p> | <p>El propietario del automóvil comparte gastos con los acompañantes, lo que reduce costos de operación. Sin embargo, es posible que continúe siendo más costoso que utilizar transporte público.</p> | <p>Al aumentar la cantidad de estudiantes que deseen compartir viaje, aumenta la capacidad del sistema teniendo más cobertura en las diferentes zonas de la ciudad.</p> | <p>El automóvil tiene gran demanda por los estudiantes, mas esta puede verse disminuida cuando se involucre una pérdida de privacidad y autonomía en el viaje.</p> |
| <p>Sendas y zonas peatonales</p> | <p>Los estudiantes que se desplazan caminando califican el tiempo de recorrido como moderado, lo cual puede proporcionar un mejor control al planear los desplazamientos. La disponibilidad de esta infraestructura es total.</p> | <p>Los estudiantes que se desplazan caminando califican este medio como moderadamente seguro.</p> | <p>Tanto los estudiantes que se desplazan caminando, como los que no lo hacen, consideran que el clima de la región genera incomodidad para el uso de este medio.</p> | <p>Una considerable parte de los estudiantes no utiliza este medio de desplazamiento por que considera que vive muy lejos de la universidad, y este no le proporciona un acceso práctico al campus.</p> | <p>El uso de este medio es gratuito.</p> | <p>Alta capacidad para todos los estudiantes que deseen desplazarse caminando.</p> | <p>Este medio de desplazamiento tiene una demanda baja fuera del campus y muy alta dentro del mismo.</p> |

| | | | | | | | |
|---|--|--|---|---|--|--|--|
| <p>Sistema de bicicletas compartidas</p> | <p>No hay seguridad de que haya un vehículo disponible cuando se requiera.</p> | <p>La mayoría de los estudiantes califican este medio como inseguro.</p> | <p>Tanto los estudiantes que se desplazan caminando, como los que no lo hacen, consideran que el clima de la región genera incomodidad para el uso de este medio.</p> | <p>Una considerable parte de los estudiantes no utiliza este medio de desplazamiento por que considera que vive muy lejos de la universidad, y este no le proporciona un acceso práctico al campus. Sin embargo para el uso intracampus proporcionaría mayor accesibilidad.</p> | <p>Este sistema presenta versiones modestas que pueden ser económicamente asequibles para los estudiantes.</p> | <p>La cobertura de su demanda sería moderada con una cantidad inicial modesta de vehículos, considerando que su demanda es muy alta, en base a los resultados de la encuesta de patrones de movilidad en la URC.</p> | <p>La demanda de este sistema es muy alta, en base a los resultados de la encuesta de patrones de movilidad en la URC.</p> |
| <p>Ciclosendas</p> | <p>La infraestructura cicloviaria no es totalmente adecuada. Los ciclistas pueden encontrarse en el trayecto de su hogar al campus con zonas de acceso denegado o inadecuado para continuar su desplazamiento.</p> | <p>La mayoría de los estudiantes califican este medio como inseguro.</p> | <p>Tanto los estudiantes que se desplazan caminando, como los que no lo hacen, consideran que el clima de la región genera incomodidad para el uso de este medio.</p> | <p>Una considerable parte de los estudiantes no utiliza este medio de desplazamiento por que considera que vive muy lejos de la universidad, y este no le proporciona un acceso práctico al campus.</p> | <p>El uso de este medio es gratuito.</p> | <p>Este sistema no da cobertura a una gran parte de los estudiantes que viven muy distanciados del campus y que no les resulta práctico desplazarse en bicicleta.</p> | <p>La demanda de la bicicleta como medio de desplazamiento es muy baja y con ello la de su infraestructura.</p> |
| <p>Estacionamientos para bicicletas</p> | <p>La probabilidad de encontrar un sitio de estacionamiento disponible es muy alta.</p> | <p>Estos sistemas tienen antecedentes de ser altamente seguros.</p> | <p>La comodidad de uso es alta por su simplicidad y disponibilidad.</p> | <p>Hay un estacionamiento disponible y cercano en todas las áreas de la universidad.</p> | <p>El uso de este sistema actualmente es gratuito; y en caso de modernizarlo y convertirlo en un sistema automatizado los precios son bajos.</p> | <p>Tiene una alta capacidad para cubrir la demanda.</p> | <p>La demanda de la bicicleta como medio de desplazamiento es muy baja y con ello la de su infraestructura.</p> |

ANEXO G

PRESUPUESTO DE EQUIPO PARA LA PRODUCCIÓN Y USO DE BIODIESEL CON IMPORTACIÓN INCLUIDA



Hermosillo, Sonora. a 18 DE MARZO 2015
COTIZACION NO. 150318-1

Universidad de Sonora,
Blvd. Luis Encinas y Rosales
Hermosillo. Sonora

DR LUIS EDUARDO VELAZQUEZ CONTRERAS
UNIVERSIDAD DE SONORA

En atención a su solicitud sobre cotización de equipo, a continuación le detallo el precio de los mismos.

| CANTIDAD | DESCRIPCION | PRECIO pesos |
|----------|---|--------------|
| 1 | KIT DE CONVERSION AMOTORES ECOLOGIOS: MARCA: MERCEDES BENZ, MODELO: OM904. ESPECIFICACIONES: - industrial engines: Truck / OnHighway-application, Exhaust treatment: noSCR / no EGR / no DPF, 12 volt or 24 volt: 24 Volt, 1-tank or 2-tank: 2-tank conversion) | \$169,370.00 |
| 1 | KIT DE CONVERSION A MOTORES ECOLOGICOS, MARCA: BIODISIESEL, MODELO: 40 GALLON FREEDOM. ESPECIFICACIONES: con acero Fontaneria BioKleen 350 Sistema Drywash Exclusivo sistema de 1500 vatios In- Tanque Calefacción Polvo de una sola pieza del marco de acero recubierto Nuevo sistema integrado de filtración de aceite con 200 Micron pantalla y del Acero barril. estación de servicio | \$101,000.00 |

CAPACITACION, INSTALACION Y PUESTA EN MARCHA: NO INCLUIDAS

PRECIOS INCLUYENIVA

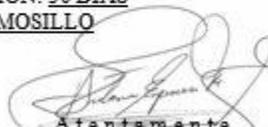
TIEMPO DE ENTREGA: 60 DIAS

GARANTIA: 1 AÑO EN EQUIPOS POR DEFECTOS DE FABRICACION

VIGENCIA DE LA COTIZACION: 30 DIAS

LUGAR DE ENTREGA: HERMOSILLO

I


Atentamente
Lic. Antonio Espinosa M.
Gerente General

ANEXO H

DEFINICIÓN DE SIGLAS

| | |
|-------------|---|
| TS | Transporte sustentable |
| OECD | Organization for Economic Co-operation and Development (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) |
| GEI | gases de efecto invernadero |
| TNM | transporte no motorizado |
| VM | vehículo motorizado |
| VC | vehículo convencional de gasolina |
| VEB | vehículo eléctrico de batería |
| VECC | vehículo eléctrico de celda de combustible de hidrógeno |
| DE | densidad energética |
| MCI | motor de combustión interna |
| BP | buena práctica |
| BRT | Bus Rapid Transit (autobús de tránsito rápido) |
| TUS | transporte universitario sustentable |
| URC | Universidad de Sonora, Unidad Regional Centro |
| TAI | Tarjeta Inteligente (smart card) |