

Aplicación del sistema PRT/GRT LINT en el Zoológico Guadalajara

REFLEXIONES COMO ALTERNATIVA DE TRANSPORTE URBANO*

THE SYSTEM PRT/GRT-LINT APPLIED IN THE GUADALAJARA ZOO
 Reflections as an Alternative Urban Transport

Fernando Córdova-Canela

Doctor en Arquitectura. Profesor e investigador titular del Departamento de Técnicas y Construcción de la Universidad de Guadalajara. Mexicano
 cordova_fernando@hotmail.com

Marco F. De Paolini

Maestro en Dirección de Sistemas de Información Profesor del Departamento de Proyectos Urbanísticos de la Universidad de Guadalajara. Italiano
 marco.depaolini@gmail.com

Adriana I. Olivares-González

Doctora en Arquitectura y Urbanismo. Profesora e investigadora titular del Departamento de Proyectos Urbanísticos de la Universidad de Guadalajara. Mexicana
 olivares.adriana@gmail.com

Recibido: 17 de abril de 2012
Aprobado: 4 de enero de 2013

Resumen

Este artículo pretende difundir los resultados de la aplicación de un sistema de movilidad que están desarrollando un conjunto de prestigias empresas, universidades y organismos de México. Este desarrollo tecnológico basado en sistemas PRT (Personal Rapid Transit) denominado originalmente LINT (Lean Intelligent Network Transportation), actualmente Autotrén, pretende combinar las ventajas del automóvil con las del transporte público. La Universidad de Guadalajara fue responsable de desarrollar un proyecto de aplicación piloto en el Zoológico Guadalajara, como caso relevante para evaluar el funcionamiento de la tecnología LINT en parques temáticos y considerar su posible aplicación en áreas urbanas. La perspectiva teórica desde la cual fue analizado el sistema LINT fue la movilidad sustentable, desarrollo de sistemas PRT/GRT y el diseño de inmersión para no-zoológicos. La metodología que se siguió incluyó la detección del problema, el desarrollo de propuestas experimentales y su evaluación mediante un sistema de simulación.

Palabras clave: innovación, movilidad, sustentabilidad, zoológico, ciudad.

Abstract

This article aims to disseminate the results of the implementation of a transport system that is being developed by a group of prominent Mexican enterprises, universities and organizations. This technological development based on a Personal Rapid Transit (PRT) system – originally called Lean Intelligent Transportation Network (LINT) and now Autotren – aims to combine the advantages of automobiles and public transport. The University of Guadalajara led the project's pilot application in The Guadalajara Zoo, selected as a relevant case to evaluate the performance of the LINT technology in thematic parks and to consider possible further applications in urban areas. The LINT system was analysed from a theoretical perspective around of the sustainable transport, development of GRT and PRT systems, and the immersion design for non-Zoos. The methodology focused on: detection of mobility problems, development of alternative proposals and assessment through simulation system.

Keywords: Innovation, mobility, sustainability, Zoo Park, city.

Resumo

Este artigo tem o objetivo de difundir os resultados da aplicação de um sistema de mobilidade que está sendo desenvolvido por um grupo de prestigias empresas, universidades e organizações de México. Este desenvolvimento tecnológico baseado num sistema PRT (Personal Rapid Transit) denominado originalmente LINT (Lean Intelligent Network Transportation), atualmente Autotrén, pretende combinar as vantagens do automóvel com as do transporte público. A universidade de Guadalajara foi responsável de desenvolver um projeto de aplicação piloto no Zoológico Guadalajara, como caso relevante para avaliar o funcionamento da tecnologia LINT em parques temáticos e considerar sua possível aplicação em áreas urbanas. A perspectiva teoria desde a qual foi analisado o sistema LINT foi à mobilidade sustentável; desenvolvimento de sistemas PRT/GRT e o projeto de imersão para não zoológicos. A metodologia que se continúo incluiu a detecção do problema; desenvolvimento de propostas experimentais e avaliação mediante um sistema de simulação.

Palavras-chave: Inovação, mobilidade, sustentabilidade, zoológico, cidade.

* Este artículo es resultado del proyecto "Aplicación del sistema LINT en un espacio piloto del Área Metropolitana de Guadalajara" desarrollado en el marco del proyecto general "Desarrollo de un Sistema de Transporte Sustentable - LINT (Lean Intelligent Network Transportation)" como integrantes del consorcio "Alianza Estratégica y Red de Innovación -AERI- para Sistemas Avanzados de Transporte Urbano Sustentable". Recibió Financiamiento de la Convocatoria Proinnova 2011, del Conacyt México.

Antecedentes: origen del proyecto y diagnóstico del Zoológico Guadalajara

Uno de los temas que desde hace 15 años se mantiene en la agenda pública de los gobiernos municipales y estatales de las áreas urbanas mexicanas se refiere a la gestión de la movilidad, considerada como un problema complejo a la vez que un asunto que toca fibras sensibles de la ciudadanía, que le ha percibido como un derecho que le fue arrebatado ante el objetivo de la modernidad de hacer más eficiente (entendida como rápida) la movilidad en las ciudades. La recuperación del derecho a la movilidad segura, eficiente y poco agresiva con el ambiente, ha motivado la formación de distintas asociaciones civiles con presencia importante en la toma de decisiones ante las instancias oficiales responsables del tema.

Fernando Córdova-Canela

Maestro y Doctor en Arquitectura por la Universidad Nacional Autónoma de México. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I). Director del Centro de Investigaciones en Tecnología para la Arquitectura de la Universidad de Guadalajara. Profesor-investigador del Departamento de Técnicas y Construcción del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara.

Marco F. De Paolini

Lic. en Ciencias Naturales, Maestro en Dirección de Tecnologías de la Información y pasante del Doctorado en Ciudad, Territorio y Sustentabilidad. Profesor del Departamento de Proyectos Urbanísticos del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara. Colaborador del Centro de Investigaciones del Medio Ambiente y Ordenación Territorial.

Adriana I. Olivares-González

Profesora-investigadora del Centro de Investigaciones del Medio Ambiente y Ordenación Territorial del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara, México. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I). Coordinadora de la Maestría en Proyección Arquitectónica-Urbana reconocida en el Padrón Nacional de Posgrados del CONACYT. Responsable de diversos proyectos de investigación y convenios de vinculación. Profesora visitante de las Universidades de Las Palmas de Gran Canaria y Politécnica de Cataluña, España.

Ante este contexto, la Universidad de Guadalajara se adhirió al Consorcio Alianza Estratégica y Red de Innovación –AERI– para Sistemas Avanzados de Transporte Urbano Sustentable, en el que participan prestigiadas empresas, universidades y organismos sociales, de Guadalajara y otras ciudades de México, con el objetivo de integrarse al desarrollo del proyecto “Desarrollo de un Sistema de Transporte Sustentable - LINT (*Lean Intelligent Network Transportation*)”.

Este artículo resume los resultados del proyecto “Aplicación del sistema LINT en un espacio piloto del Área Metropolitana de Guadalajara” bajo la responsabilidad de los autores, en el que participaron profesores, estudiantes y egresados de la maestría en Procesos y Expresión Gráfica en la Proyección Arquitectónica y Urbana y del doctorado en Ciudad, Territorio y Sustentabilidad, con sede en el Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara.

El desarrollo tecnológico basado en sistemas PRT/GRT –*Personal Rapid Transit/Group Rapid Transit*– denominado LINT –*Lean Intelligent Network Transportation*–, pretende combinar las ventajas del automóvil con las del transporte público, mediante una flotilla de pequeños vehículos ultraligeros y controlados por computadora, con una red vial propia poco agresiva con el entorno urbano y con un sistema sobre pedido sin transbordos ni paradas intermedias.

Como parte de los objetivos del segundo año de desarrollo de la tecnología LINT, se planteó su aplicación en parques temáticos para lo cual se tomó el caso del Zoológico Guadalajara, localizado al norte del Área Metropolitana de Guadalajara, México. Este parque cuenta con una superficie de 65 hectáreas (en adelante ha), a las que se suman 280 ha de reserva ecológica bajo su custodia denominada Barranca de Huentitán, en cuya estructura destaca la fuerte pendiente del terreno que alcanza hasta el 25% que suma más de 70 metros de desnivel entre la entrada principal y la punta del parque.

El Zoológico Guadalajara, como espacio delimitado, demandaba un sistema de movilidad cerrado que nos permitiría evaluar la tecnología PRT/LINT, con el objetivo de lograr una aproximación a ciertos parámetros de capacidad y eficiencia ante la posibilidad futura de considerar su aplicación en áreas urbanas. Como objetivo complementario se pretendió evaluar la

superan del 15% o más, o mediante un sistema de tren interno que cuenta con tres estaciones.

El ingreso por Paseo del Zoológico está conformado por plazoletas, áreas para reunión, descanso y picnic, sanitarios y otros servicios complementarios tales como venta de alimentos y recuerdos, así como la primera estación del sistema del tren. El ingreso ubicado por la Calzada Independencia concentra la Villa Australiana y el Acuario a los que se accede por un espacio central con un estanque artificial, utilizado como área de descanso y de picnic.

La tercer área que funciona como nodo de atracción es la parte central del Zoológico, la cual concentra algunas de las principales atracciones: la Selva Tropical, el Auditorio, el Safari Masai Mara, La Granja, el Centro de alimentación de crías, la zona de exhibición de primates o *Monkeyland*, el oso polar y la segunda estación del tren. El área central puede ser considerada como el centro neurálgico del Zoológico y coincide con fuertes cambios de nivel con pendientes que van del 15% a 25% o más y la presencia del arroyo que articula al polígono del Zoológico, el cual funciona como frontera y remate para los usuarios provenientes de la punta norte del ZG. Esta zona, que limita con la Barranca de Huentitán y presenta pendientes de entre el 5% y 10%, posee un alto potencial paisajístico y lúdico, dado que integra un área de descanso y comida al aire libre asociada con la última estación del tren, sin embargo, tiene accesibilidad limitada y pocos espacios y amenidades que faciliten la observación de la Barranca.

En cuanto a la disponibilidad espacial se hace evidente una serie de espacios residuales en las tres áreas descritas, además, el criterio de diseño de "caminamientos" confunde y entorpece la conexión de las tres áreas. El circuito del tren es otro elemento que no incorpora de manera efectiva la riqueza paisajística ni contribuye sustancialmente a mejorar la observación de las atracciones y de las especies que se exhiben, dado que en una buena parte del recorrido hay puntos ciegos.

Ante esta situación, se detectó un conjunto de oportunidades de diseño potenciadas a partir de la incorporación del sistema PRT/LINT: mejoramiento de la conexión entre los dos ingresos; potenciación del área central para la observación del paisaje y las especies exhibidas y revaloración del arroyo como elemento integrador; potenciación paisajística en la zona que limita con la Barranca de Huentitán, enriquecida con un complejo de educación ambiental y de ocio, que re-signifique dicha área.

Movilidad sustentable y los sistemas GRT y PRT

La perspectiva teórica desde la cual fue analizado el sistema de transporte LINT consideró la movilidad sustentable como principio para la ciudad del siglo XXI, así como los sistemas GRT –*Group Rapid Transit*– y PRT –*Personal Rapid Transit*– como alternativas de transporte que pueden contribuir a resolver determinadas demandas de movilidad tanto en desarrollos privados como en áreas urbanas.

El concepto de movilidad sustentable es definido por el Consejo Mundial de Negocios para el Desarrollo Sustentable (WBCSD, 2002) como la habilidad para satisfacer las necesidades presentes y futuras de movimiento libre, accesibilidad, comunicación, negocios y conectividad sin sacrificar valores humanos y ecológicos esenciales; su sustentabilidad (WBCSD, 2004) se mide en términos de: su accesibilidad entendida como la oportunidad de una persona en una determinada localización para participar en una o en varias actividades; su costo adecuado, tiempos de traslado eficientes y confiables; un servicio seguro que disminuya el riesgo de accidentes, muertes, robos y delitos contra la propiedad tales como robo o vandalismo; la disminución de las emisiones convencionales y de gases de efecto invernadero; la disminución del ruido en la ciudad y de los impactos en los ecosistemas; la minimización del uso de energía, suelo y materiales; su promoción de la equidad social; la rentabilidad financiera del servicio que impacte favorable en las finanzas públicas y la inversión privada.

Estos sistemas han sido considerados en diversas clasificaciones de transporte. La Asociación de Transporte Avanzado, la cual define a éstos como sistemas de transporte terrestres con capacidades operativas completamente automatizadas, que proveen mejoras a la red de transporte existente, lo ha incluido en su clasificación que plantea principalmente tres grupos de transporte: Transporte Individual Rápido –*Personal Rapid Transit/PRT*–, Transporte Rápido de Grupo –*Group Rapid Transit/GRT*– y sistemas duales (Advanced Transit Association, 2011b). Es clasificado también entre los sistemas "Automated Guideway Transit" (en adelante AGT) considerados como taxis automatizados (Anderson, 2000). Más recientemente han sido integrados a la clasificación de *Automated People Mover System* (en adelante APMS) (2getthere Company, 2012).

Con la finalidad de aclarar el tipo de sistema de transporte en cuestión, a continuación se señalan las principales características de los sistemas PRT y GRT:

- Se compone de pequeños vehículos automatizados sin conductor, diseñados para transportar grupos pequeños de personas, entre 3-6 los PRT y entre 20-25 los GRT, aunque al sumar la capacidad de movilidad de todo el sistema podrían ser considerados como sistemas de transporte masivo de mediana capacidad, un ejemplo de esto es la aplicación de Masdar City donde se prevén 130 mil viajes/día (2getthere Company, 2012).
- Circulan en una red exclusiva fija (a nivel de piso, elevado o subterráneo), vinculando directamente los orígenes con sus respectivos destinos sin paradas intermedias para PRT y con paradas intermedias para GRT, las cuales operan en función de la demanda.
- Su velocidad puede ser programada entre 15 y 40 km/h de acuerdo a las características del desarrollo tecnológico y de su aplicación, sin embargo, hay sistemas que pueden alcanzar hasta 70 km/h (Vectus, 2011).
- Tienen la capacidad de ofrecer vínculos de puerta a puerta mediante la interconexión con otras redes de sistemas de transporte público.

- Se sitúan entre las aplicaciones de transporte urbano consideradas de emisiones cero de carbón (Lohmann, 2009), aunque hay desarrollos que funcionan con sistemas híbridos (eléctrico-combustión), como es el caso de la tecnología LINT que se analizará más adelante.
- Las estaciones están instaladas fuera de la red (*off-line*), con la finalidad de no entorpecer el flujo continuo de vehículos, cuya capacidad puede ser programada de acuerdo a la demanda a partir de la disminución del tiempo entre estos con rangos de entre 3 y 0,25 segundos.

La documentación especializada sitúa a dos precursores que establecieron los atributos básicos del sistema PRT en 1953: Don Fichter, planeador de transporte urbano, y Edward Haltom (Advanced Transit Association, 2011b; Anderson, 2000), quienes lo concibieron como una alternativa de transporte público flexible para áreas de densidad media y baja, propuesta innovadora si se tiene en cuenta que en este periodo la proliferación del uso de automóvil y la consecuente producción de áreas suburbanas en las ciudades estadounidenses. Poco tiempo después fueron considerados también para zonas con escasa disponibilidad de espacio para la integración de otras modalidades de transporte público, así lo demuestra la convocatoria del Departamento de Transporte de los Estados Unidos en la que se promueve en los años setenta del siglo XX el uso de los sistema AGT para la revitalización de los CBD –central business districts– (Department of US Transportation, 1977).

Desde la concepción del PRT/GRT se han desarrollado diversos estudios y proyectos, algunos de los cuales se han puestos en marcha en Estados Unidos de América y Gran Bretaña. A continuación se describen los más documentados con la intención de hacer un breve repaso al camino recorrido y al tipo de aplicaciones que han tenido estos sistemas.

Destacan, en los años sesenta, proyectos como Monocab propuesto por Edward Haltom, cuya principal característica fue la de proponer un vehículo suspendido en un vía aérea para 6 pasajeros, o bien, el Proyecto Aramis desarrollado por la compañía Matra, cuyo principal desafío fue el desarrollo del software de control de tráfico, por el cual se abandonó el proyecto (Advanced Transit Association, 2011b). Entre las aplicaciones experimentales se pueden mencionar el proyecto Cabintaxi, impulsado por el gobierno alemán, que entre 1969 y 1976 desarrolló una estación experimental cuya vía permitía la circulación de vehículos tanto en la parte superior como de manera suspendida las cuales funcionaban en direcciones opuestas.

Entre las aplicaciones operativas pioneras se encuentran, en 1975, el sistema “Cabinlift” desarrollado por Cabintaxi Co. para resolver la movilidad entre dos áreas del hospital Central de Bremen; así como la primera aplicación urbana desarrollada en el poblado de Morgantown en Estados Unidos, cuyo objetivo fue resolver la movilidad entre este poblado y la Universidad del Oeste de Virginia, el cual se mantienen en operación y realiza aproximadamente 15.000 viajes por día (Department of Transportation Bureau of Research, 2007; Advanced Transit Association, 2011b).

En la última década se ha detonado una importante cantidad de aplicaciones operativas comerciales, vinculadas a empresas establecidas en Gran Bretaña. Sobresale, por su importancia y larga experiencia, la empresa 2getthere, que ha contado con instalaciones operativas desde 1997 en Holanda en el Aeropuerto de Schiphol y en la ciudad de Rotterdam, una instalación urbana que puede considerarse antecedente de la aplicación más ambiciosa: Masdar City (Abu Dhaby), puesta en operación en 2010 para vincular esta ciudad con el Instituto de Ciencia y Tecnología de Masdar, cuya red incluye 5 estaciones, 1,2 kilómetros de vía, 10 vehículos de transporte de pasajeros y 3 de carga. Se prevé que esta aplicación contituya la base de movilidad de esta ciudad con 3 mil vehículos PRT que darán servicio a 130 mil viajes/día (2getthere Company, 2012; Advanced Transit Association, 2011b). La empresa Ultra Global puso en operación, en 2011, su instalación comercial más importantes en el Aeropuerto de Hethrow en Londres, Inglaterra, la cual comprende 3,8 kilómetros de vía y 21 vehículos que conectan la terminal 5 con el estacionamiento del aeropuerto (Ultra Global PRT, 2011). Esta empresa y otra de capital coreano, denominada Vectus, están desarrollando aplicaciones urbanas en Amristar, India, con capacidad para mover a 50 mil pasajeros/día y Suncheón, Corea del Sur, respectivamente (Vectus Company, 2011; Ultra Global PRT, 2011).

Como se puede constatar, aun cuando los sistemas PRT en un principio fueron concebidos como alternativa para áreas residenciales de densidad media y baja, sus aplicaciones en la actualidad han migrado hacia áreas de servicios y comerciales, de recreo y ocio y, eventualmente, como redes que permiten mayor permeabilidad del transporte público en áreas urbanas.

Rol de los zoológicos contemporáneos y el diseño de circulaciones: los retos del Zoológico Guadalajara

Entre los aspectos teóricos analizados para la implementación del sistema PRT/LINT en el Zoológico Guadalajara se consideraron las nuevas tendencias en el diseño de zoológicos, según las cuales pueden identificarse dos modelos conceptuales que distinguen a los zoológicos (Coe, 2005):

- El zoológico tradicional, que está definido por el uso de barreras físicas para los animales, generalmente mediante el uso de jaulas; la visualización está basada en la coerción y/o la limitación; se manejan animales en cautiverio y éstos deben adaptarse a las agendas humanas; se exhiben preferentemente animales de gran tamaño y se hace uso intensivo de capital.
- El no-zoológico, definido por barreras físicas para los humanos; la visualización está basada en la atracción y motivación; se manejan animales salvajes con libertad de movimiento; los humanos se adaptan a las agendas de los animales; se inclu-

yen animales entrenados para agendas extendidas aparte de las exhibiciones establecidas; las exhibiciones y demostraciones tienden a ser lo más parecidas al ambiente natural original de referencia y pueden ser de pequeña y/o gran escala; se da preferencia al uso intensivo de personal.

El concepto de no-zoológico es uno de los conceptos más innovadores en la actualidad, dado que se pretende reducir al mínimo el estrés animal y, a la vez, promueve actividades de educación ambiental y de recreación para los visitantes. Asimismo, da lugar al fortalecimiento de actividades de investigación y conservación al tratar de vincular las exhibiciones lo más cerca posible a los ambientes de origen de las especies manejadas en el zoológico. En este sentido, pueden identificarse cuatro actividades sustantivas (Collados, 1997):

- Recreación, mediante su uso como paseo al aire libre.
- Educación, como un instrumento de educación informal cuya principal búsqueda es que las especies animales y su ambiente impacten al público visitante.
- Investigación, se refiere a la promoción de la diversidad biológica, principalmente animal, que en estos momentos se ve amenazada por los procesos de depredación ambiental a nivel global.
- Conservación, se orienta hacia el incremento en el conocimiento de especies que son conservadas "ex situ".

Con el fin de vincular las actividades sustantivas de un zoológico con el concepto de no-zoológico, se aplica el llamado diseño de inmersión, cuyos fundamentos son los siguientes (Coe, 2005):

- La naturaleza es el modelo, por lo que hay que tomar como referencia a la naturaleza y no a otros zoológicos.
- Si se va a enseñar tomando a la naturaleza, es necesario presentarla con respeto.
- Demostrar al paisaje como ecosistema y hábitat apropiado.

Los visitantes inmersos en un paisaje natural restaurado o simulado son dominados por los animales, y sus vistas no son distraídas por multitudes, barreras, estructuras de soporte u objetos inapropiados. Las mejores exhibiciones son aquellas en las cuales el mensaje deseado está inmerso en el paisaje o en la actividad y puede ser interpretado a través de múltiples medios: guías, gráficos o juegos por citar algunos (Coe, 2005). Una buena exhibición de inmersión cuenta buenas historias, por lo tanto muchas son diseñadas a lo largo de un guión que despliega a su vez una coreografía cuidadosa (Coe, 2005).

Uno de los principales retos desde la perspectiva del diseño de inmersión es la definición del concepto de circulación en las áreas de exhibiciones dentro de un zoológico. Entre los princi-

pales elementos de análisis en un estudio de circulación Yañez et al. (2005) proponen las siguientes categorías:

- Jerarquía espacial; en orden de significación ascendente o descendente, espacio público vs. espacio no-público; senderos primarios vs. senderos auxiliares o secundarios.
- Distribución espacial: definición de estructura espacial del zoológico, pueden ser en nodos, espacios abiertos, senderos y/o plazas.
- Zonas: zonas temáticas que componen al zoológico.
- Temas: zonas climáticas, estratos animales, sonidos, colores.
- Criterios de amenidades: los servicios para visitantes están localizados en espacios de distribución o plazas, dejando las áreas de exhibición animal libres de estructuras urbanas. Se promueve la circulación peatonal en un sentido.
- Elementos de organización de circulaciones: accesos; distribución de áreas, áreas de exhibición animal.

Respecto del concepto de no-zoológico y el diseño de inmersión se realizó un diagnóstico de la situación del ZG, que se sintetiza en los siguientes puntos:

- El esquema de circulaciones del ZG no está jerarquizado, es decir, presenta múltiples opciones de circulación hacia múltiples distribuciones espaciales, lo que promueve la desorientación y, por lo tanto, impide la experiencia completa de las atracciones del zoológico.
- La falta de jerarquización está directamente vinculada con la distribución de las especies animales, las cuales son exhibidas de acuerdo con la disponibilidad espacial determinada por las características topográficas del terreno.
- Por otro lado, dificulta, desde la perspectiva educacional, la comprensión de la narrativa racional del mensaje deseado.
- Carece de una estrategia de adaptación y valoración del paisaje.

A continuación se detallan los aspectos considerados para el diseño del sistema en ZG.

Diseño de la ruta: para el diseño de la ruta del sistema LINT en el ZG se estableció la necesidad de analizar dos variables: la topografía y la configuración de la hidrología superficial, cuya interacción determinó la configuración de los ramales y la altura de las vías, así como la altura de las estaciones y su configuración espacial.

Fue necesario considerar que el sistema LINT tiene restricciones respecto de la pendiente máxima de operación con reducción de velocidad o de aceleración del 15% (Kyllman, 2011a).

Asociada a dicha restricción se sumó la disponibilidad espacial para el diseño de la vía y de los ramales, con el fin de librar tangencialmente las diferencias de niveles producto de la topografía accidentada existente.

Diseño de la vía: con base en el diseño de la ruta del sistema se planteó que la mayor parte de la vía debía preverse como aérea, con claros intercolumnios que miden entre 6 y 32 metros, y la luz libre para paso peatonal, para automóviles y vehículos comerciales es de 2,5, 4,3 y 5,7 metros respectivamente (Kyllman, 2011a). La vía a nivel de piso se eleva respecto del terreno natural en promedio 90 centímetros aproximadamente, y se estructura mediante travesaños sin armadura, con una distancia mínima entre cimentaciones de 6 metros (Kyllman, 2011b).

Adecuación de estaciones: para la adecuación de las estaciones se consideró aprovechar el diseño de las vías para armonizar su configuración de acuerdo con su ubicación (aérea o de nivel de piso), para ello se establecieron los siguientes criterios con el objeto de minimizar el impacto de los desniveles entre las diferentes áreas del polígono:

- Llegada a nivel de piso desde una salida de nivel aéreo y viceversa.
- Explotar las vistas a las atracciones y a la barranca, aprovechando la vía aérea.
- Vincular las estaciones con las atracciones.
- Aprovechar el espacio liberado por la vía del tren (14.000 m² aprox.) para mejorar los trayectos peatonales y detonar experiencias que sean complementarias al recorrido con el sistema LINT. Mejorar potencialmente la accesibilidad a cada una de las estaciones propuestas.

Análisis de la demanda y diseño de la red

Una vez detectado el problema de movilidad por resolver en el ZG, se realizó un análisis de preferencias de los usuarios para establecer la demanda y posteriormente diseñar la red principal y ramales del sistema.

Para determinar las preferencias de los usuarios, se diseñó una encuesta dirigida a los visitantes del ZG, la cual se estructuró en tres apartados: perfil socio-cultural del usuario, experiencia en el zoológico y percepción del sistema LINT. La primera parte ayudaría a establecer el segmento de mercado que actualmente atiende el ZG; la segunda estuvo orientada para conocer diversos elementos útiles sobre la percepción de los usuarios respecto de su vivencia en zoológico, sobre todo en relación con su estructura espacial, su movilidad y sus condiciones paisajísticas; la última tuvo como finalidad difundir el sistema PRT/LINT a la vez que evaluar su percepción por parte de los usuarios del ZG.

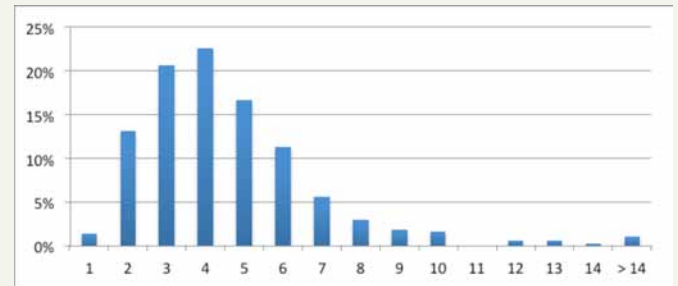


Gráfico 1. Distribución de frecuencias de los grupos de visitantes del Zoológico Guadalajara en función del número de sus componentes. **Fuente:** elaboración propia. Datos: encuestas de la Universidad de Guadalajara.

La encuesta se llevó a cabo en dos fases de 3 días cada una. El periodo de aplicación fue seleccionado con el fin de permitir la realización de las encuestas tanto en días donde el aforo de personas que visitan el zoológico es máximo (sábado y domingo), como en días donde el flujo de visitantes es menor. El tamaño de la muestra fue de 373 familias con un grado de confiabilidad estadística del 95%.

La encuesta permitió consolidar hallazgos significativos sobre el perfil y la percepción de los usuarios del Zoológico, algunos de los cuales es oportuno resumir a continuación:

- El ZG atiende a un público joven; las edades más frecuentes son entre 18 y 34 años, que proviene en su mayoría del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) (67%) y en menor medida del interior de estado de Jalisco (15%) y de otros estados de la República (16%), mientras que la presencia de extranjeros es mínima (1%).
- Los usuarios asisten al Zoológico en grupos de entre 4 y 5 personas en promedio, principalmente en familia (62%) y en menor medida (38%) en pareja o con amigos.
- El automóvil es el medio de transporte más utilizado para llegar al Zoológico (53%). Una parte minoritaria de los usuarios llega al parque en transporte público masivo, taxi o caminando.
- Respecto de la descripción de la experiencia, el 48% la evaluó como buena y el 94% manifestó su intención de volver. Sin embargo, la frecuencia con que regresan los visitantes está supeditado al mediano o largo plazo.
- La mayor parte de los usuarios (88%) afirmó que “el paisaje está bonito” o “agradable”.
- El 59%, tomó el recorrido ofrecido por el tren.
- El 61% afirmó que le gustaría planear sus recorridos con antelación.
- Al describirse las generalidades del Sistema LINT a los visitantes, el 70% tuvo una opinión positiva del mismo.

Para el cálculo de la demanda se utilizaron datos proporcionados por el ZG sobre el flujo de visitantes, el uso del actual

sistema de transporte interno del parque (tren), así como los resultados de las encuestas levantadas en campo. El caso de referencia principal fue un "domingo típico" aunque se consideró también el día de máxima demanda absoluta ("domingo atípico"), los resultados de las frecuencias pueden observarse en el gráfico 1.

Además de la demanda total diaria, se consideró también la distribución de la misma a lo largo del día en periodos de una hora. Esto fue particularmente importante ya que la eficiencia del sistema puede estar condicionada por una carga de demanda desbalanceada entre diferentes estaciones, situación que se verifica en los horarios pico de entrada y salida de visitantes; el gráfico 2 describe la distribución acumulativa de los visitantes al Zoológico.

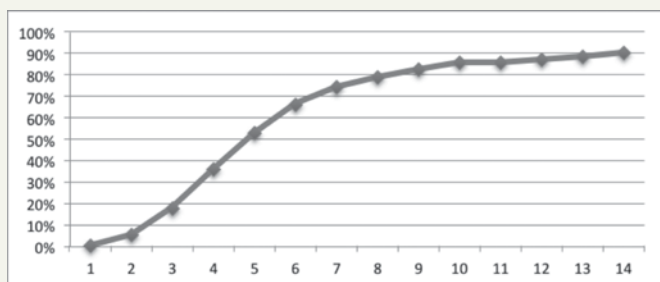


Gráfico 2. Distribución acumulativa de visitantes del Zoológico Guadalajara en función del tamaño del grupo. **Fuente:** elaboración propia. Datos: encuestas de la Universidad de Guadalajara.

Con base en las observaciones efectuadas durante las visitas de campo y en las respuestas obtenidas en las entrevistas, se determinó la distribución horaria aproximada de las entradas y salida de visitantes a lo largo del día. El número de viajes internos fue establecido con base en las encuestas e hipótesis sobre el posible uso del nuevo sistema para desplazarse entre las diferentes atracciones, ya que la modalidad flexible del sistema LINT difiere considerablemente en este aspecto del actual sistema de transporte interno que cuenta con solo una ruta y tres estaciones.

El gráfico 3 muestra el número estimado de viajes de entrada, de salida e internos en un domingo típico.

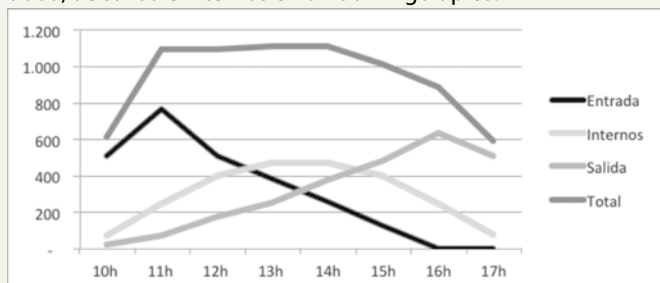


Gráfico 3. Distribución hipotética del número de viajes en periodos de una hora para el sistema LINT aplicado al Zoológico de Guadalajara en un domingo típico. **Fuente:** elaboración a partir de los resultados de la encuesta, observaciones de campo y datos proporcionados por el Zoológico.

La demanda total de viajes resulta máxima en las horas centrales del día (de 11 a 14 horas), mientras que los picos de demanda de entrada y salida se registran respectivamente a las 11 y a las 16 horas. Estas condiciones extremas fueron objeto de particular atención durante las simulaciones.

Para estimar la matriz de viajes solicitados entre las diferentes estaciones, se utilizaron los datos obtenidos por medio de las encuestas sobre las preferencias de los visitantes por las diferentes atracciones. A partir de ellos, y con base en la ubicación de las estaciones propuestas en las diferentes hipótesis de recorrido, se establecieron las demandas aproximadas, tomando en cuenta la zonificación y los recorridos peatonales.

Para las simulaciones se utilizaron los datos de distribuciones para grupos de 1 a 5 visitantes, reportados a un valor total de 100%. Esto en consideración de que grupos de mayor tamaño deberían separarse para poder abordar los vehículos del sistema LINT que cuentan con una capacidad máxima de 5 pasajeros. Asimismo, se consideró la posibilidad de que pasajeros de diferentes grupos pudieran compartir el mismo vehículo, siempre y cuando viajaran al mismo destino (sin paradas intermedias) y no tuvieran que esperar más de dos minutos para completar la capacidad de un vehículo. Este tipo de estrategia mejora la eficiencia del sistema durante los picos de demanda.

Simulación del funcionamiento del sistema LINT para el Zoológico Guadalajara

Uno de los principales retos de la aplicación del Sistema LINT fue simular su funcionamiento con diferentes configuraciones de rutas y ramales para obtener información acerca de su eficiencia de operación. En particular, nos interesaba evaluar el desempeño del sistema en función de la ruta, así como su posible optimización a partir de la ubicación y dimensionamiento de las estaciones y del número de vehículos, tanto en condiciones de demanda típica, como en escenarios de crecimiento, ya sea por aumento de la demanda o por la ampliación de la ruta.

Se desarrolló una propuesta general de recorrido y de ubicación de las estaciones, y se verificó la capacidad y la eficiencia del sistema con base en cuatro parámetros proporcionados por el software PRTsim: número de pasajeros transportados por hora, número de pasajeros dejados en espera al término de la simulación, tiempo promedio de espera y tiempo máximo de espera. A través de varios ciclos de pruebas, se estableció el número óptimo de vehículos y de plataformas en las diferentes estaciones, alternativas que se exponen en la figura 2.

Los datos finales de la simulación arrojaron como óptimo un número de 35 vehículos, viajando a una velocidad nominal de 5 m/s. En las simulaciones efectuadas con estos parámetros, en condiciones de demanda típica, el sistema LINT demostró poder satisfacer las necesidades de los pasajeros con tiempos de espera máximos siempre inferiores a 5 minutos y un tiempo promedio de espera variable entre 0,7 y 1,7 minutos, según el horario. El sistema así diseñado, gracias a su flexibilidad, permite satisfacer la demanda horaria a lo largo del día sin saturarse, es decir, que el número de pasajeros transportados en un periodo de una hora aumenta al aumentar de la demanda, mientras que el número de

pasajeros residuos que quedan al terminar el periodo de simulación es mínimo y queda sin variación a lo largo del día.

Finalmente, se verificó el mismo diseño de rutas y ramales, con idénticos parámetros de simulación, en las condiciones de demanda máxima de un domingo atípico, que corresponden a un aumento del 119% en el número de pasajeros (de acuerdo con los datos proporcionados por el Zoológico Guadalajara).



Figura 2. Alternativas inicial e intermedia de diseño de rutas, ramales y ubicación de estaciones cuya eficiencia fue evaluada a través de simulación por medio del software PRTsim. **Fuente:** elaboración propia.

En estas condiciones, el sistema se satura rápidamente, dejando un elevado número de pasajeros en espera al finalizar el periodo de simulación. La capacidad máxima efectiva, medida en término de pasajeros por hora, se alcanza en los horarios centrales del día, cuando la demanda de viajes se distribuye de manera más equilibrada entre las estaciones de la red. Por el contrario, a las 11 y 16 horas, cuando la demanda se concentra en las estaciones de entrada y salida, se evidencia un mínimo en la eficiencia y picos en el número de pasajeros dejados en espera.

Para resolver estas limitaciones, se consideraron dos diferentes estrategias que pueden ser aplicadas de manera independiente o combinada: el aumento del número de vehículos y el aumento de la velocidad nominal durante los horarios y días de mayor demanda. Para evaluar estas estrategias se analizó la respuesta del sistema en el horario más crítico (de 11 a 12 horas del un domingo atípico), el resultado de tal evaluación se resume en la tabla 1.

Las simulaciones muestran que, con una velocidad nominal constante de 5 m/s y un aumento progresivo en el número de vehículos –de 35 a 50– se alcanza una mayor capacidad del sistema del 27%, mientras que el número de pasajeros dejados esperando al finalizar la simulación se reduce del 53%.

Del mismo modo, al no cambiar el número de vehículos (35) e incrementar la velocidad nominal de 5 m/s hasta 10 m/s, con aumentos progresivos de 1 m/s, es posible obtener un aumento de la capacidad del sistema de un 40% y una reducción del número de pasajeros dejados en espera al terminar el periodo de simulación del 75%.

Respecto de los tiempos de espera, al variar la velocidad de los vehículos, es posible reducir el tiempo máximo de hasta el 79% y el tiempo promedio del 74%.

Recorrido	Alternativa inicial	Alternativa intermedia	Alternativa final
Horario	11h	11h	11h
Número de vehículos	35	35	35
Velocidad normal (m/s)	5.0	5.0	5.0
Velocidad en tramos de alta velocidad (m/s)	v	10.0	N.A.
Número de estaciones	12	12	9
Longitud rutas (km)	4.5	4.8	3.3
Longitud rieles estaciones (km)	0.38	0.44	0.37
Pasajeros transportados (1 h)	856	904	956
Pasajeros dejados en espera	194	161	38
Tiempo promedio de espera (min)	6.0	7.1	0.9
Tiempo máximo de espera (min)	42.5	14.6	3.1

Tabla 1. Resultado de la evaluación de tres diferentes diseños de sistemas LINT bajo demanda de un domingo típico. **Fuente:** elaboración propia.



Figura 3. Recorrido final elegido mediante el proceso de simulación. **Fuente:** elaboración propia.

Velocidades de 36 km/h (10 m/s) pueden ser consideradas sin duda excesivas para una aplicación recreativa de este tipo, pero la simulación demuestra la máxima flexibilidad del sistema LINT en ambientes con demanda muy variable como los parques temáticos.

En cuanto al crecimiento de la red de rutas y ramales, se desarrollaron dos posibles escenarios con la intención de demostrar la flexibilidad del sistema LINT y su implementación por etapas, con lo cual se alcanzó un sistema más complejo y extenso con una inversión programada, que finalmente derivó en la propuesta final, la cual se expone en la figura 3.

La primera alternativa que se consideró fue la creación de una ruta de alta velocidad y una estación cercana al estacionamiento y entrada al Zoológico por la Calzada Independencia. La ampliación implicaría la construcción de otros 700 metros de rieles de alta velocidad, una nueva estación y la adquisición de algunos

nuevos vehículos para poder mantener la eficiencia del sistema. El principal beneficio considerado en esta propuesta es la vinculación del sistema LINT interno al Zoológico con la estación de transporte público BRT –*Bus Rapid Transit*– adyacente al mismo.

Otra posibilidad considerada es la creación de un nuevo bucle de ruta panorámica en la zona del Safari Masai Mara y una estación dedicada para el acceso al mismo. La inversión considerada para esta expansión debe contemplar la construcción de una estación, 500 m de nuevos rieles y la adquisición de algunos vehículos adicionales. Se consideró este aumento para ofrecer a los visitantes una vista panorámica no intrusiva de la zona del Safari, que actualmente es accesible solo por medio de los recorridos de la propia atracción.

Diseño de estaciones

La estación tipo para la aplicación del sistema PRT/LINT en el ZG tomó como base el prototipo propuesto por la empresa Gremio Diseño y consideró los módulos estructurales incluidos en su propuesta. Se realizaron las adaptaciones necesarias, lúdicas y educativas, para su aplicación en el ZG.

Las estaciones resultantes pueden estar compuestas por cuatro módulos (tipo 1) o por seis módulos (tipo 2), cuya disposición obedece a la demanda calculada por número de usuarios y que varía según la ubicación de cada estación.

Debido a la configuración del terreno donde se presentan cambios importantes en el nivel (con pendientes que en algunos casos superan el 25%), las estaciones pueden encontrarse a nivel de piso o elevadas, ya sea sobre una estación ya existente o sostenida en columnas.

La accesibilidad universal se garantizó mediante la implantación de elevadores o por rampas de ingreso. Una de las metas es que el diseño de la estación, así como su ubicación espacial, logren potencializar y facilitar el uso del sistema de “caminamientos” que componen la infraestructura peatonal del Zoológico, mediante la generación de circuitos relativamente pequeños y accesibles que interconectan a las principales atracciones, dado que las pendientes del polígono dificultan su uso y disfrute, condición topográfica que se convierte en una barrera que dificulta la vivencia del Zoológico.

La estación se conceptualizó como punto de aprendizaje haciendo énfasis en el aspecto lúdico. Durante el periodo de espera el usuario tendría acceso a elementos que le permitirán conocer el entorno natural y las especies animales relacionadas con la zona del ZG donde se localice la estación. Asimismo, el diseño de la estación consideró la captación de energía solar para la producción de electricidad y un sistema de captación de agua de lluvia; el ingreso y la estructura interior están cubiertos por un muro-techo verde que permite integrar la naturaleza al artefacto y que funciona también para refrescar naturalmente el ambiente; estas alternativas se ejemplifican en las figuras 4 y 5.



Figura 4. Propuesta para la estación del sistema LINT. Fuente: elaboración propia con contribución de la L.D.I. Isabel López Pérez.



Figura 5. Estación Mirador del sistema LINT en el Zoológico Guadalajara. Fuente: elaboración propia con contribución del Arq. Ricardo Soria Rodríguez.

Reflexión final: los sistemas PRT/GRT como alternativa de transporte en áreas urbanas

Una vez concluido el ensayo experimental del sistema LINT en el ZG, se hicieron un conjunto de reflexiones respecto de su aplicación en áreas urbanas complejas como es el caso de las metrópolis mexicanas. Los hallazgos vinculados con la experiencia mencionada se centraron en cuatro aspectos: eficiencia,

impacto urbano, oportunidades adicionales del sistema y las posibilidades intrínsecas de las estaciones.

- La mayor eficiencia del sistema se da cuando hay una demanda equilibrada de viajes entre todas las estaciones, por lo tanto se recomienda aplicarlo en entornos urbanos con orígenes y destinos distribuidos de manera uniforme a lo largo de la red. Sería importante, por lo tanto, que la aplicación urbana se comporte como un sistema cerrado o con múltiples puntos de entradas y salidas de manera que éstas no se concentren en pocas estaciones, por las razones antes expuestas. Es necesaria, sin embargo, más evidencia del comportamiento posible del sistema LINT cuando interactúa de manera dinámica con otros sistemas de transporte, así como su integración con la movilidad no motorizada. La tecnología LINT es más eficiente en sistemas compactos con distancias cortas entre estaciones y redes organizadas en bucles, por lo tanto, para una aplicación urbana se requiere que los entornos sean de uso mixto y con media o alta densidad.
- La versatilidad y bajo impacto de la estructura vial en la imagen urbana puede considerarse como una oportunidad para renovar las condiciones de los entornos urbanos en los que se instala, tales como el mejoramiento de las condiciones de la vialidad peatonal, la introducción de áreas verdes o la canalización del cableado eléctrico, entre otras.
- La versatilidad del diseño de las estaciones permite adecuarlas a las necesidades de cada aplicación con una baja inversión, a la vez que posibilita su sustitución o remoción con pocos efectos negativos en el territorio. En el caso del ZG el diseño de las estaciones representó una oportunidad significativa para incorporar una serie de estrategias que mejorarían tanto el desempeño ambiental de la estación, como la generación de escenarios esperados para la educación ambiental de los usuarios.


Finalmente, es necesario realizar algunas consideraciones que se han discutido entre el equipo de trabajo, incluidos los asesores externos del proyecto: Carme Miralles-Guash, del

Instituto de Estudios Regionales y Metropolitanos de Barcelona de la Universidad Autónoma Barcelona; y Josep Roca, Carlos Marmolejo y Blanca Arellano, del Centro de Política de Suelo y Valoraciones –CPVS– de la Universidad Politécnica de Cataluña.

La implantación de una nueva tecnología de transporte requiere un conocimiento a profundidad del contexto urbano en el que se pretende implementar, sobre todo en lo referente a sus condiciones materiales, organizaciones y funcionales; del contexto social que implicaría hacer una determinación y caracterización de los usuarios, incluso en los aspectos económicos; y del contexto cultural, lo que implicaría conocer la receptividad de la población para aceptar o no un determinado modo de movilidad.

El conocimiento del contexto es un primer acercamiento al problema, que debe ser complementado con un análisis específico de las condiciones existentes de los sistemas de movilidad, para reconocer si se presenta la oportunidad de implementar una nueva tecnología de transporte, en específico la tecnología LINT.

Ningún sistema de transporte resuelve en sí mismo los problemas de movilidad de una realidad compleja como son las áreas metropolitanas de México y América Latina, por lo tanto, es necesario considerar un sistema complejo que integre diversos modos de desplazamiento. Para esto es necesario conocer los motivos de viaje en las diferentes escalas de movilidad: barrial, distrital, metropolitana y regional; y hacer una caracterización de éstas considerando aspectos como distancia, frecuencia y horario. Este análisis permitiría reconocer el tipo de movilidad que puede ayudar a resolver el sistema LINT y sus requerimientos de integración modal con otros sistemas de transporte.

A partir de estas reflexiones hemos iniciado el tercer periodo de trabajo con el Consorcio AERI, en el que se tomará como caso de posible integración del sistema LINT al Distrito Cultural en el que se ubica una nueva centralidad detonada por la Universidad de Guadalajara, a partir de la implementación del Centro Cultural Universitario. 

Bibliografía

- ANDERSON, E. (2000). "A review of the state of art of personal rapid transit". En: *Journal of Advanced Transportation*, 34, 3-29.
- ADVANCED TRANSIT ASSOCIATION (2011a). *PRT Concept Description*. Retrieved 2012 from Advanced Transit Association: <http://www.advancedtransit.org/advanced-transit/concept-description/>
- ADVANCED TRANSIT ASSOCIATION (2011b). *PRT History*. Retrieved 2012 from Advanced Transit Association: <http://www.advancedtransit.org/advanced-transit/history/>
- COE, J. (2005). "The Unzoo alternative". En: *ARAZPA/SEAZA Joint Conference* (p. 13). Hong Kong: ARAZPA/SEAZA Joint Conference.
- COLLADOS SARRIEGO, G. (1997). *El rol de los zoológicos contemporáneos*. Chile: Universidad Central de Chile.
- DEPARTMENT OF TRANSPORTATION BUREAU OF RESEARCH (2007). *Viability of Personal Rapid Transit in New Jersey*. New Jersey: Department of Transportation Bureau of Research.
- DEPARTMENT OF US TRANSPORTATION (1977). *Review of Downtown People Mover Proposals. Preliminary Market Implications for Downtown Applications of Automated Guideway Transit*. Washington D.C.: Department of US Transportation.
- FALK, J., REINHARD, E., BRONNENKANT, K., DEANS, N. L., & HEIMLICH, J. E. (2007). *Why Zoos & Aquariums Matters: Assessing the Impact of a Visit*. Silver Spring, MD, USA: Association of Zoos & Aquariums.
- KYLLMAN, A. (2011a). "Requerimiento para el Sistema Vehicular. MME-00003". En: *Especificación de Requerimientos Sistema de Transporte Flexible en Red Inteligente*. Documento PDF. Guadalajara, Jalisco, México: ModuTram México S.A. de C.V., mimeo.
- KYLLMAN, A. (2011b). "Requerimiento para el Sistema Vial. MME-0000". En: *Especificación de Requerimientos Sistema de Transporte Flexible en Red Inteligente*. Documento PDF. Guadalajara, Jalisco, México: ModuTram México S.A. de C.V., mimeo.
- LOHMANN, R. G. (2009). "Introducing PRT to the Sustainable City". En: *ASCE APM Conference* (p. 15). Atlanta, Georgia, USA: Automated People Movers.
- LOZANO-ORTEGA, I. (2004). "El diseño de exhibiciones de fauna en la América Tropical". En: *VI Congreso Internacional sobre Manejo de Fauna Silvestre en la Amazonía y Latinoamérica* (p. 9). Iquitos: VI Congreso Internacional sobre Manejo de Fauna Silvestre en la Amazonía y Latinoamérica.
- OLIVARES, A. et al. (2012). *Informe Técnico Proyecto de Aplicación del Sistema LINT en un espacio piloto de la Zona Metropolitana de Guadalajara*. Universidad de Guadalajara, Doctorado en Ciudad, Territorio y Sustentabilidad - Maestría en Procesos y Expresión Gráfica en la Proyección Arquitectónica-Urbana. Guadalajara, mimeo.
- ULTRA GLOBAL PRT (septiembre 15, 2011). *Ultra Global PRT. Low cost transport for a sustainable future*. Retrieved 10 de octubre de 2012 from Ultra Global PRT: <http://www.ultraglobalprt.com/>
- VECTUS COMPANY (enero 01, 2011). *Vectus Intelligent Transport*. Retrieved 12 de octubre de 2012 from Vectus Intelligent Transport: <http://www.vectusprt.com>
- WBCSD, WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (2002). *The Sustainable Mobility Project, July 2002 Progress Report*. Hertfordshire, England: World Business Council for Sustainable Development.
- WBCSD, WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (2004). *The Sustainable Mobility Project, Full Report 2004*. Hertfordshire, England: World Business Council for Sustainable Development.
- YANEZ, L., COLLADOS, G., & HARRISON, B. (2005). *Visitor Circulation in Zoos. Design Workshop "The Principles of Zoo Design and the Planning of a Night Safari"* (p. 4). Melbourne, Australia: SEAZA/ARAZPA Joint Conference "The Art and Science of Zoos".
- 2GETTHERE COMPANY (enero 01, 2012). *Sustainable Mobility Solutions*. Retrieved 12 de octubre de 2012 from www.2getthere.eu/