



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS – INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

MODELACIÓN DE LA CONCESIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO EN LA CIUDAD
DE MÉXICO, CASO DE ESTUDIO: LÍNEA 1 METROBÚS

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
EUGENIA PAZ PICHARDO

TUTOR PRINCIPAL
DRA. MAYRA ELIZONODO CORTÉS FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. A 17 DE ENERO DE 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M.I. Fuentes Zenón Arturo
Secretario: Dra. Aguilar Juárez Isabel Patricia
Vocal: Dra. Elizondo Cortés Mayra
1^{er.} Suplente: M.I. Zúñiga Barrera Sergio
2^{d o.} Suplente: M.I. Canales Sánchez Damián

División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM

TUTOR DE TESIS:

Dra. Mayra Elizondo Cortés

FIRMA

(Segunda hoja)

Dedicatoria

A mi tía Rosa, por su compañía, apoyo y por darme la oportunidad de gozar plenamente de esta etapa al compartirla con ella.

A mi madre, quien me inculcó que con disciplina y perseverancia, uno logra lo que se propone.

A todas las personas que me han acompañado en esta etapa de mi vida.

Agradecimientos

Dra. Mayra Elizondo Cortés

M.I. Montserrat Muñoz Alverde

A la Universidad Nacional Autónoma de México

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

1	Concesiones del Transporte Público en México	2
1.1	Área de oportunidad detectada	5
1.2	Antecedentes del caso de estudio: Línea 1 Metrobús	6
1.3	Problema de investigación	12
1.4	Preguntas de investigación	12
2	Marco de referencia	13
2.1	Estado del arte	13
2.1.1	<i>Objeto de estudio</i>	13
2.1.2	<i>Perspectivas abordadas en los últimos años</i>	13
2.2	Formulación del problema concreto a resolver	25
2.2.	Métodos y modelos	26
2.2.1	<i>Metodología de Sistemas Suaves</i>	26
2.2.2	<i>Diagrama de influencia</i>	27
2.2.3	<i>Justificación del uso de la Simulación</i>	29
2.2.4	<i>Simulación de Dinámica de Sistemas</i>	36
2.3	Objetivos	44
2.3.1	<i>Objetivo General</i>	44
2.4	Estrategia de Investigación	46
3	Desarrollo de la estrategia de investigación	48
3.1	Análisis sistémico	48
3.2	Generación del modelo de simulación	54
3.2.1	<i>Formulación del problema</i>	54
3.2.2	<i>Conceptualización del sistema</i>	55
3.3	Recolección de información y datos para la construcción del modelo conceptual	61
3.4	Desarrollo, validación y verificación del programa de cómputo	71
3.4.1	<i>Desarrollo del Modelo</i>	71
3.4.2	<i>Validación del modelo</i>	78
3.4.3	<i>Verificación del modelo</i>	81
4	Resultados	83
4.1	Análisis de sensibilidad	91
4.1.1	<i>Evaluación financiera</i>	101
4.2	Discusión Interna	105
4.3	Conclusiones	108
4.4	Discusión Externa	110
5	Referencias	113
6	Bibliografía	115
7	Anexos	117
1.	<i>Terminología</i>	117
2.	<i>Minutas Metrobús</i>	118

1 Concesiones del Transporte Público en México

Las concesiones son relaciones contractuales que existen entre el gobierno y una empresa privada o consorcio (agrupación de empresas privadas) con las que el gobierno autoriza al privado el manejo y explotación de un servicio público (Anaya, Martínez, & Olmos, 2011).

En México, existen tres tipos de concesiones (Anaya *et al.*, 2011):

- Explotación y aprovechamiento de bienes del dominio público;
- Prestación de servicio público;
- Obras públicas.

La concesión por explotación y aprovechamiento de bienes del dominio público considera la administración de los bienes públicos, que se puede realizar mediante el uso, aprovechamiento y/o explotación de las instalaciones de dominio público. En cuanto a la prestación de servicios públicos, se refiere a todos aquellos servicios que son requeridos por la población y que por falta de capacidad del gobierno se otorgan por medio de una concesión. Esto sucede cuando el gobierno no cuenta con la capacidad suficiente para proporcionar dichos servicios por sí mismo. Por último, la concesión de obras públicas consiste en otorgar contratos de concesión para la construcción de obras públicas que son necesarias, ya sean marítimas, terrestres o aéreas de los bienes del dominio público.

El servicio público se deriva de una necesidad colectiva de índole social que implica el desarrollo de tareas determinadas, siendo el gobierno el principal responsable de que ocurra dicho desarrollo, con el cual la población se verá beneficiada. Un servicio público de gran importancia es el transporte público, ya que permite el traslado de la población dentro de su ciudad para facilitarle el que realice sus actividades diarias (trabajo, educación, recreación, entre otras).

En el caso específico del transporte público, se emplea la concesión por prestación de servicio, en donde el privado es responsable de la operación de dicho servicio. En este caso, el gobierno le otorga un contrato de largo o mediano plazo al concesionario (empresa privada), quien será el encargado de cumplir con las responsabilidades encomendadas por el gobierno, a cambio de una remuneración determinada por los resultados financieros que arroje la explotación del servicio concesionado. En el caso específico de la Ciudad de México, lugar donde se desarrolla la presente investigación, el único servicio de transporte público concesionado actualmente es el Metrobús. El Metrobús es un servicio de autobuses que circula de manera constante sobre un carril reservado para su uso exclusivo.

El Transporte Público¹ es uno de los servicios que el gobierno está obligado a proporcionar, es por ello que a través del transporte público, logrará satisfacer las necesidades de transportación de pasajeros, el cual puede realizar por medio de entidades, concesionarios o mediante permisos, para que de esta manera, las actividades relacionadas con el servicio se realicen de manera uniforme, regular, permanente e ininterrumpida a la población en general.

¹ Las definiciones de los elementos utilizados a lo largo de la investigación se encuentran en el Anexo: 1. Terminología

Existe el caso en el que el gobierno no cuenta con la capacidad de cubrir esta necesidad de servicio, es entonces cuando se ve en la obligación de recurrir al privado para que éste lo apoye bajo un contrato de concesión. Algunas de las causas principales por las cuales el gobierno no puede cubrir las necesidades que se le presentan son las siguientes (Ramos Peña, 2011):

- Insuficiencia de recursos;
- Incapacidad financiera;
- Falta de técnica organizacional por parte del gobierno.

En cualquiera de los casos en que el gobierno incurra y que le impidan prestar el servicio de manera directa, se verá obligado a otorgar el contrato de concesión con el cual logrará que el privado cumpla con los requisitos que el propio gobierno debiera cumplir, de tener la capacidad de hacerlo, para que logre satisfacer las necesidades generales de la población. El contrato sirve como garantía de que el servicio a concesionar cubra las necesidades de los usuarios y estos no se vean afectados por la mala operación del privado. Las principales garantías, mencionadas anteriormente, que el contrato deberá cubrir, son las siguientes (Ramos Peña, 2011):

- **Permanencia:** hace referencia a que el privado tendrá que prestar el servicio por un tiempo determinado, el cual será establecido por el gobierno y se deberá cumplir de manera obligatoria ya que estará sujeto a un contrato legal cuyo incumplimiento será penalizado;
- **Continuidad:** el servicio proporcionado por el privado deberá ser otorgado de manera continua, es decir sin interrupción alguna en su operación del día a día, ya que de lo contrario será penalizado;
- **Regularidad del servicio:** los horarios y frecuencias del servicio que brindará el privado se deberán hacer bajo la regularidad establecida por el gobierno, el privado no tiene injerencia en estos aspectos;
- **Igualdad del público usuario:** se garantiza que todo usuario se trate por igual;
- **Adecuación para satisfacer los fines deseados:** al ser el gobierno quien determine la operación del servicio, no habrá posibilidad para no lograr la plena satisfacción de los fines deseados, ya que el privado tendrá que acatar lo que el gobierno considere necesario para buscar el beneficio de la población.

Considerando las garantías que se deben cumplir en el contrato a fin de beneficiar y satisfacer las necesidades de la población, se debe buscar el establecimiento de un contrato que beneficie tanto al gobierno como al privado. Para ello, se identifican elementos clave, los cuales buscarán un equilibrio entre las partes involucradas (Ramos Peña, 2011):

- El periodo de concesión, establecido por el gobierno, debe permitir al concesionario, no sólo obtener una utilidad razonable sobre las inversiones en las que deberá incurrir para poder realizar la prestación del servicio, sino recuperar el importe que éstas impliquen por medio de la tarifa que los usuarios finales pagarán por el servicio recibido;
- Le corresponde al privado soportar las cargas económicas que impliquen la concesión, así como cualquier riesgo, en el que por la prestación del servicio, pueda verse afectada su propia empresa;
- El gobierno deberá actuar por un interés colectivo, ya que su intervención es la garantía de que el contrato sea celebrado bajo las mejores condiciones, beneficiándose asimismo, al privado y a la población;
- El gobierno será el responsable de autorizar la tarifa, que a su vez, es la remuneración de los gastos generados por la operación del servicio. Dicha tarifa deberá ser establecida bajo el criterio de que deberá tener un carácter compensatorio, justo y razonable, de tal manera que permita al concesionario una ganancia equitativa de acuerdo con los intereses comunes del concesionario y de los usuarios del servicio;
- Se considera que la tarifa es un elemento esencial de la economía financiera para la explotación de la concesión, por lo que se debe cuidar que no se establezca de manera arbitraria y discrecional, sino buscando un equilibrio financiero continuo de la concesión misma, beneficiando siempre al usuario;
- De igual manera, se debe considerar que no existan ganancias irracionales o ilimitadas que pudieran llegar a perjudicar a los usuarios y al mismo tiempo que no llegue a haber una falta de utilidad o pérdida del patrimonio del concesionario;
- El cálculo de la tarifa deberá considerar:
 - el nivel medio de ingreso de los posibles usuarios a fin de que se logre ofrecer un servicio de calidad pero al alcance de la población;
 - el costo de operación;
 - el promedio de pasajeros con tarifas especiales que utilicen el servicio;
 - ganancia moderada del concesionario.

Considerando un primer acercamiento desde la revisión de la literatura, podemos identificar que el equilibrio financiero² en una concesión se puede lograr a través de la correcta definición de los elementos mencionados anteriormente. Dos ejemplos concretos de estos elementos, que podrían ser clave para el análisis, serían: el *periodo de concesión* que permitirá la recuperación de la inversión del concesionario, así como la generación de cierta utilidad y la *tarifa al usuario* que será el medio con el que se genere dicha utilidad. El gobierno debe establecer ambos elementos en el contrato, tomando en cuenta las consideraciones antes mencionados para su cálculo.

1.1 Área de oportunidad detectada

En vista de lo anterior, la experiencia laboral de la autora detecta que existe un área de oportunidad en la forma en la que se determinan las concesiones, ya que no existe una metodología estandarizada para definir los elementos clave que conforman las bases para el establecimiento de un contrato de concesión. Al mismo tiempo, se observa que el gobierno, por falta de capacidad, contrata a diversas empresas para que éstas desarrollen las bases de las concesiones. Con ello, cada empresa desarrolla dichas bases bajo los criterios que ellos consideran correctos, lo que implica que pueden ser variables y bajo distintos supuestos. Es por ello, por lo que no se puede asegurar que las concesiones desarrolladas satisfagan por completo las necesidades de la población o incluso el que se esté controlando el ingreso que el concesionario recibirá a lo largo del periodo otorgado en su contrato.

Es importante mencionar que por metodología estandarizada se comprende el uso de métodos duros para el desarrollo de los cálculos que lleguen a ser necesarios. Al mismo tiempo, dentro de la propia metodología se considera que dichos cálculos sean validados y verificados, de tal manera que los resultados generados sean certeros y representen correctamente la realidad. El tener una metodología establecida implica que sin importar quién la lleve a cabo realizará los mismos pasos que cualquier otra persona. De igual manera, el establecer una metodología implica dos cosas: las partes involucradas estarán de acuerdo con la manera de establecer una concesión o por lo menos estarán al tanto de los procedimientos que se llevarán a cabo dándole transparencia a dicho procedimiento. Por el contrario, el no contar con una metodología estandarizada puede conducir a que no se hagan los cálculos necesarios o incluso ningún cálculo, dando como resultado la toma de decisiones incorrectas. Por lo tanto, el contar con dicha metodología facilitará la repetitividad del proceso independientemente de quien la lleve a cabo.

Al identificar esta área de oportunidad en el desarrollo de las concesiones, se encuentra la necesidad de llevar a cabo la presente investigación. Con ella, se busca contar con una metodología estandarizada al definir una con la que se genere un análisis holístico de la concesión, de tal manera que ésta se defina procurando satisfacer las necesidades de la población, así como logrando un equilibrio financiero entre el gobierno y el privado.

² Por equilibrio financiero se entiende la búsqueda del mejor rendimiento tanto para el gobierno como para el privado.

El método que se pretende utilizar comprende un análisis sistémico de la concesión, con el cual se puedan identificar las relaciones y los distintos comportamientos emergentes de los elementos que componen dicho sistema, ya que hoy en día no se conoce con claridad. Como se mencionó anteriormente, la única concesión de transporte público que opera actualmente en la Ciudad de México es el Metrobús, por lo que se utiliza como caso de estudio a lo largo de la presente investigación. El Metrobús cumplió recientemente 10 años de operación con la Línea 1, por lo que se toma esta línea para llevar a cabo el análisis, pues es la que tiene el mayor número de datos históricos disponibles.

1.2 Antecedentes del caso de estudio: Línea 1 Metrobús

El caso de estudio utilizado para el desarrollo de esta investigación, presenta la concesión por prestación de servicio establecida para la Línea 1 del Metrobús. Se toma el Metrobús por ser el único servicio de transporte público que actualmente opera bajo este esquema en la Ciudad de México. Cabe resaltar, que únicamente se utiliza la Línea 1 como caso de estudio, ya que es la primera línea del Metrobús en operar, por lo que se cuenta con 10 años de datos históricos, mismos que lleva en operación el Metrobús. La finalidad de dicha concesión es brindar un servicio de transporte público tipo *BRT (Bus Rapid Transit)* a pasajeros en la Av. Insurgentes de la Ciudad de México.

Las características principales, a nivel internacional, del servicio tipo *BRT* son las siguientes: tener un carril confinado en la avenida para la circulación exclusiva de las unidades en ambos sentidos, así como contar con una estación cada cierta distancia (para el caso del Metrobús Línea 1 se considera una distancia entre 400 y 500 m). El gobierno decide optar por el transporte tipo *BRT*, ya que logra cubrir una gran demanda a un bajo costo de inversión en infraestructura a diferencia de otros tipos de transporte público. Por ejemplo, se considera que el costo total requerido para la construcción de la infraestructura que necesita el *BRT* para su operación, representa únicamente un 14% del costo total requerido para la construcción del tren ligero y de tan sólo un 3% del costo total necesario para la construcción del metro (Gobierno del Distrito Federal, 2004). Por lo tanto, podemos observar que con respecto a otros medios de transporte, como lo son el tren ligero y el metro, el *BRT* es una alternativa considerablemente más económica.

El servicio se autorizó el 24 de septiembre de 2004 como consecuencia del estudio realizado por la Secretaría de Transportes y Vialidad del Distrito Federal (SEMOVI), el cual lleva por nombre “Estudio Técnico que contiene el Balance entre la Oferta y la Demanda de Transporte Público Colectivo de Pasajeros en la Avenida Insurgentes de esta Ciudad” publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal (Gobierno del Distrito Federal, 2004).

Dicho estudio consiste en un análisis del flujo vehicular en ciertas avenidas principales de la Ciudad de México. Los resultados del estudio son los siguientes:

- La Avenida Insurgentes presentaba una sobreoferta de servicio de transporte público colectivo de pasajeros con un valor de ocupación del 55% de la capacidad disponible, lo que implicaba un exceso del parque vehicular en operación;
- Existía la necesidad de ajustar la oferta de transporte, reduciendo el número de unidades en operación, sustituyendo el parque vehicular actual por unidades que tuvieran una mayor capacidad;
- Se debía mejorar la velocidad de operación, a fin de lograr un mayor aprovechamiento de la vía y por ende un aumento en la calidad de vida de la población.

Como se puede observar, el estudio identifica un serio problema de flujo vehicular en la Avenida Insurgentes, para lo cual el gobierno decide contrarrestar implementando un nuevo servicio de transporte público. No obstante, el gobierno se ve limitado, por lo que decide recurrir a un contrato de concesión para poder satisfacer la necesidad latente de la población, dando pauta a la creación de las primeras bases para establecer un contrato de concesión por prestación de servicios para transporte público en la Ciudad de México.

Para ello, se establecen las siguientes especificaciones de la concesión del Metrobús Línea 1 Corredor Insurgentes en donde se identifican los actores involucrados, así como las tarifas que deberán considerarse (Gobierno del Distrito Federal, 2004):

- a) Se requiere atender una demanda de 250,900 usuarios diariamente;
- b) Para satisfacer dicha demanda se requiere de un parque vehicular de 80 autobuses articulados, que reemplazarán las 262 unidades de transporte público (microbuses) y 90 unidades de la Red de Transporte de Pasajeros (RTP) que operan actualmente en la Av. Insurgentes;
- c) El parque vehicular requerido es de 80 autobuses articulados, que incluye el 5% de unidades de reserva a fin de cubrir el mantenimiento;
 - i. 60 autobuses serán operados por el concesionario (empresa acreedora del contrato de concesión), mismo que deberá ser constituido preferentemente por los transportistas actuales que operan en la vialidad;
 - ii. 20 autobuses serán operados por RTP, ambos casos de acuerdo con la proporción que atiende cada uno actualmente;
- d) La operación será sobre carriles confinados reservados para el uso exclusivo de los autobuses en el tramo que abarca de la estación del Metro Indios Verdes y la intersección con el eje 10 Sur conformando por 19.4 km;
- e) Se establecerán 34 estaciones intermedias;
- f) Se contará con un sistema de recaudación con el cual, el pago se pueda realizar previo al abordaje del autobús y con él lograr el control de acceso de los usuarios al sistema;
- g) Se establecerá un fideicomiso en donde se concentrarán los recursos que ingresen al sistema por la venta de pasajes y se distribuirán en función de los requerimientos de dicho sistema;
- h) La regulación, supervisión y control de la operación del sistema quedará a cargo del organismo público descentralizado que constituya el Gobierno del Distrito Federal (Metrobús);
- i) La velocidad de operación se deberá mantener en un promedio de 21.2 km/hr;

- j) La tarifa al usuario será establecida por el Jefe de Gobierno en curso;
- k) El gobierno será el responsable de cubrir la diferencia que exista entre la tarifa al usuario y el costo real del servicio por medio de RTP, a quienes sólo se les pagan los costos de operación;
- l) El periodo de concesión está otorgado a 10 años por ley;
- m) El financiamiento de los autobuses es de 5 años;
- n) Metrobús exige el cambio total de la flotilla al término del contrato de concesión para poder ser acreedor a un nuevo contrato;
- o) Los adultos mayores de 65 años no pagarán cuota por recibir el servicio, es decir, se les brindará el servicio de manera gratuita;
- p) El autobús realizará un recorrido de aproximadamente 300 km/día.

El 25 de mayo de 2005, la Secretaría de Transportes y Vialidad le otorga la concesión del Corredor Insurgentes a la empresa Corredor Insurgentes S.A. de C.V. (CISA) y al Organismo Público Descentralizado del Distrito Federal, para prestar el servicio de transporte público Metrobús (Metrobús, 2006).

El 6 de julio de 2007, la Secretaría de Transporte y Vialidad aprueba la ampliación de la Línea 1 del Metrobús y se le da el nombre de Corredor Insurgentes Sur, el cual comprende el tramo entre las intersecciones con el Eje 10 Sur y el Viaducto Tlalpan. La concesión fue otorgada a RTP y a la empresa Corredor Insurgentes Sur Rey Cuauhtémoc, S.A. de C.V. (RECSA) para la prestación del servicio (Metrobús, 2012).

La estructura del sistema mencionado anteriormente se define de la siguiente manera:

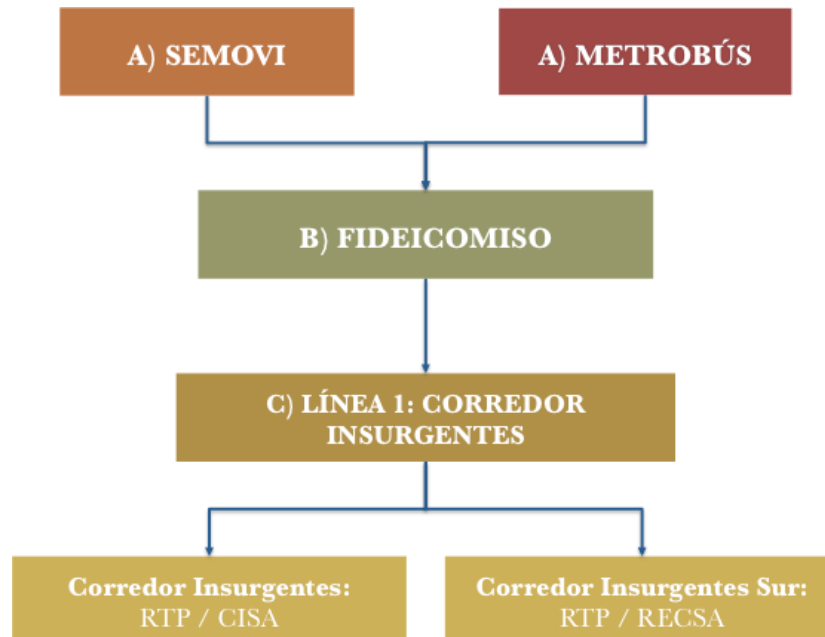


Figura 1.1 Estructura del servicio de Transporte Público: Metrobús

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por Metrobús

- A) **SEMOVI y Metrobús:** El Metrobús es un Organismo Público Descentralizado establecido por el Gobierno del Distrito Federal a través de la Secretaría de Movilidad (SEMOVI), cuya responsabilidad es la de coordinar y supervisar las actividades que se requieran;
- B) **Fideicomiso:** Los recursos del servicio se administran en un Fideicomiso, en donde los ingresos generados por la tarifa cobrada al usuario final se depositan; posteriormente el Metrobús toma los recursos de este Fideicomiso para realizar los pagos correspondientes, tanto de los costos por operación (luz, vigilancia, entre otros), como las cuotas de los concesionarios;
- C) **Línea 1. Corredor Insurgentes:** Conformada a su vez, por dos contratos o concesiones distintas. Por una parte, se encuentra el contrato o concesión otorgada al Organismo Público Descentralizado Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal (RTP) y la empresa Corredor Insurgentes S.A. de C.V. (CISA) quienes son los responsables de ofrecer el servicio en la parte norte de la avenida que corresponde al tramo entre las intersecciones de Indios Verdes y el Eje 10 Sur, que representa 19.6 km de dicha avenida (Gobierno del Distrito Federal, 2004). Por otro lado, se cuenta con la concesión para la parte sur de la avenida que está constituida por el Organismo Público Descentralizado Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal (RTP) y la empresa Corredor Insurgentes Sur Rey Cuauhtémoc, S.A. de C.V. (RECSA), quienes son responsables de recorrer el tramo de las intersecciones del Eje 10 Sur y el Viaducto Tlalpan (Figura 1.2) (Metrobús, 2012).

Línea 1 Metrobús	
Corredor Insurgentes (19.6 km): Indios Verdes a Dr. Gálvez Operadores: RTP y CISA	Corredor Insurgentes Sur (8.5 km): Dr. Gálvez a El Caminero Operadores: RTP y RECSA

Figura 1.2 Constitución de la Línea 1 del Metrobús

Realizando un análisis comparativo de los elementos que se deben considerar legalmente en una concesión con aquellos establecidos en el contrato de concesión de la Línea 1 del Metrobús, se logra identificar lo que se muestra en la Tabla 1.1:

Elementos legales de una concesión	Elementos de la concesión Línea 1 Metrobús
• Periodo de concesión	• Periodo de concesión a 10 años por ley
• Intervención del gobierno para satisfacer necesidades de la población	• Demanda
• Tarifas	• Tarifa del usuario establecida por el Jefe de Gobierno en curso
• Verificación de ganancias no irracionales o ilimitadas	• Subsidio mediante RTP
• Costo de operación	• Velocidad
	• Flotilla
	• Financiamiento de autobuses a 5 años

Tabla 1.1 Correspondencia entre los elementos de la Línea 1 del Metrobús y los elementos legales encontrados en literatura

Legalmente se considera relevante establecer el periodo de concesión debido a que éste corresponde al tiempo otorgado para que el concesionario logre recuperar su inversión y genere una utilidad por el servicio otorgado. Sin embargo, para la Línea 1 del Metrobús se establece a 10 años, ya que este periodo es el correspondiente a la vida útil de los autobuses. El establecer dicho periodo con base en la vida útil de los autobuses implica que no se realizó un análisis sistémico de los elementos para determinar si 10 años sería tiempo suficiente para que el concesionario recupere su inversión, así como para identificar si el propio concesionario no estaría generando ganancias irracionales. En segunda instancia, tenemos que el gobierno debe satisfacer las necesidades de la población, lo que implica que existe una demanda de usuarios por satisfacer, sin embargo esta demanda deberá ser suficiente para que el negocio sea rentable para ambas partes involucradas. Lo anterior significa que el servicio será rentable si y sólo si existe un cierto número de usuarios garantizados, es decir, de personas susceptibles a utilizar el servicio, de lo contrario tanto el gobierno como el concesionario tendrán pérdidas.

El ingreso que se genera en el sistema proviene de las tarifas. Existen dos tipos de tarifas, por un lado la que el usuario paga por recibir el servicio a la que se le conoce como “tarifa usuario” y por otro lado, la tarifa que se le paga al concesionario por operar el servicio a la que se le denomina “tarifa concesionario”. La tarifa al usuario es la que genera el ingreso de todo el sistema, por lo que a partir de ella es que el sistema podría funcionar económicamente. Dicha tarifa es la que genera los fondos del sistema, mismos que servirán para realizar los pagos de los gastos en los que incurre el sistema. Uno de estos pagos es el que se le otorga al concesionario, el cual se realiza a través de la tarifa al concesionario y representa el precio de operación para cada kilómetro recorrido por los autobuses de dicho concesionario.

La tarifa al usuario que se encuentra establecida en la concesión de la Línea 1 del Metrobús está definida por el Jefe de Gobierno en curso. Cabe mencionar que el gobierno o el área de la Ciudad de México que define dicha tarifa, no está directamente involucrada con la

operación del Metrobús, lo que podría significar que no existe un análisis sistémico para definir cuantitativamente el valor de la misma. Es importante notar que el Jefe de Gobierno cambia cada 6 años lo que implica que a lo largo de una sola concesión existirán diversos Jefes de Gobierno que podrán ser susceptibles a diferentes criterios para la toma de decisiones. Por otro lado, el Jefe de Gobierno, al no estar en el día a día de la operación, no logra tener una visión holística del sistema y por lo mismo, su toma de decisiones se podría ver sesgada. En cuanto a cuestiones legales, como se menciona anteriormente, se sugiere que para realizar el cálculo de las tarifas se tome en cuenta el costo de operación, sin embargo, en los elementos de la concesión de la Línea 1 no se menciona ni el costo de operación ni cómo es que se está calculando la tarifa al concesionario. Es importante la exactitud con la que se calculen las tarifas, ya que éstas crean otra área de oportunidad que permitiría la generación irracional o ilimitada de ganancias para el concesionario, ya que es a través de las tarifas la generación del ingreso, tanto para el gobierno como para el concesionario. Un ejemplo de lo anterior podría ser una economía de escala en donde a mayor kilometraje recorrido por el concesionario, menor costo de operación y por lo mismo su utilidad incrementaría; esto lo podemos observar en la Figura 1.3, ya que muestra la estructura de la concesión de la Línea 1 del Metrobús.

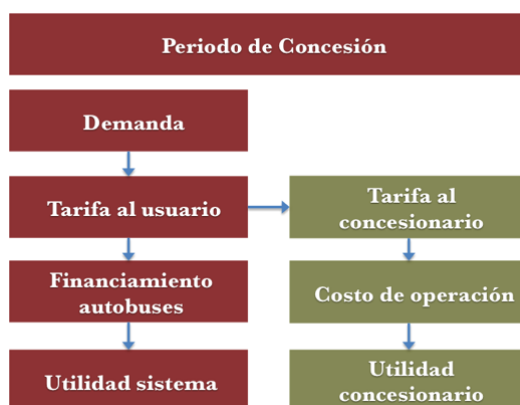


Figura 1.3 Estructura de la concesión de la Línea 1 del Metrobús

El resto de los elementos de la concesión de la Línea 1 del Metrobús mencionan: la velocidad a la cual deberá circular el autobús, la flota con la que deberá participar el concesionario, así como el subsidio del gobierno en la Línea al absorber los costos operativos de la flota operada por RTP que representa aproximadamente el 20% del total de los autobuses. Por último, se menciona que el periodo de financiamiento otorgado por las empresas automotrices es de 5 años.

Con base en la experiencia laboral en el área de la autora, se observó que a la fecha no existe una metodología definida para establecer una concesión de transporte público, lo que al mismo tiempo impide o limita la manera en la que los elementos cuantitativos de dicha concesión deben ser calculados. De igual manera, la falta de metodología ocasiona que los elementos que conforman una concesión no puedan ser analizados de manera sistémica. La falta de un análisis sistémico impide conocer la interacción que existe entre todos los elementos que conforman el sistema, conocer dicha interacción permitiría la identificación de aquellos elementos con mayor sensibilidad dentro del sistema.

1.3 Problema de investigación

Dada la problemática antes mencionada, se propone desarrollar un modelo cuantitativo en donde se tomen en cuenta los elementos y las relaciones del sistema, para la definición de una concesión equitativa del transporte público en la Ciudad de México. Al tomar en cuenta los elementos y las relaciones que estos pueden llegar a tener entre sí, se logra crear un análisis sistémico con el cual se identifiquen aquellos elementos de mayor sensibilidad en el sistema. Estos elementos permitirán una mejor negociación entre el gobierno y el privado de tal manera que ambos logren obtener el mejor rendimiento.

1.4 Preguntas de investigación

- A. ¿Existen metodologías en México que tengan una base matemática para determinar los elementos cuantitativos a establecer en una concesión?
- B. ¿Existe una justificación matemática para determinar los elementos cuantitativos establecidos en los elementos del contrato de concesión?
- C. ¿Qué metodología se utiliza actualmente?
- D. ¿Qué métodos se utilizan en otros países para establecer los elementos del contrato de concesión?
- E. ¿Cómo podría ser un enfoque sistémico para la definición de los elementos cuantitativos de una concesión?
- F. ¿Qué elementos cuantitativos se deben considerar en el análisis?
- G. ¿Cómo determinar que los elementos cuantitativos a considerar son válidos?
- H. ¿Se pueden considerar factores financieros, económicos y sociales en la metodología para determinar los elementos sin que haya intereses en conflicto?
- I. ¿Qué modelos matemáticos se pueden utilizar para este tipo de análisis?
- J. ¿Los modelos elegidos son idóneos para calcular lo que se está planteando?
- K. Una vez definido el procedimiento, ¿qué ajustes se deberán realizar para trasladarlo a otros servicios de transporte público?

2 Marco de referencia

Una vez planteado el problema, se procede a realizar una búsqueda en la literatura con la cual se logre situar la investigación bajo un contexto internacional que nos permitirá identificar los estudios que ya se han llevado a cabo tanto del mismo tema como de temas similares. La búsqueda literaria servirá como punto de partida, de tal manera que se tome en cuenta lo que ya se ha desarrollado a lo largo de los años y no se parta de cero.

2.1 Estado del arte

El estado del arte pone en contexto el objeto de estudio a desarrollar, resumiendo el estado actual del conocimiento acerca del tema y los modelos que se han logrado generar, de tal manera que se puedan tomar en cuenta en la investigación.

2.1.1 Objeto de estudio

El objeto de estudio de la presente investigación es el uso de herramientas de la Ingeniería de Sistemas para identificar de manera sistémica la relación entre los elementos cuantitativos más sensibles en las concesiones de prestación de servicios para el Transporte Público en la Ciudad de México, de tal manera que se puedan establecer políticas para su definición, buscando un equilibrio financiero tanto para el gobierno como para el concesionario.

2.1.2 Perspectivas abordadas en los últimos años

Con la intención de resolver algunas de las preguntas de investigación referentes a las metodologías utilizadas en otros países para definir los elementos cuantitativos de una concesión, se lleva a cabo una revisión bibliográfica. Dicha revisión nos muestra que efectivamente se han realizado, a nivel mundial, modelos matemáticos que sirvan como herramientas para definir diversos elementos cuantitativos de una concesión buscando la mejor rentabilidad tanto para el gobierno como para el privado. De la literatura consultada, se identifican diversos autores que abordan el problema desde tres perspectivas distintas utilizando diversas herramientas matemáticas, incluyendo herramientas que ofrece la Investigación de Operaciones (I. de O). Dichas perspectivas se refieren a:

- a) **Asignación de riesgos:** consiste en realizar un análisis de los elementos cuantitativos para determinar la asignación de los riesgos en los que incurren cada uno de dichos elementos y distribuirlos entre las partes involucradas (el privado y el gobierno), el modelo se basa en determinar una asignación de los riesgos entre las partes involucradas, de tal manera que la concesión tenga la mejor rentabilidad para ambas partes (Medda, 2006; Niu & Zhang, 2013);
- b) **Periodo de concesión:** define el periodo de concesión como el factor clave para la definición de una concesión exitosa, ofreciendo la mejor rentabilidad entre las partes involucradas, el análisis está basado en construir un modelo que lleve a la determinación de dicho periodo utilizando diversas herramientas de la I. de O

(Hanaoka & Palapus, 2012; Ng, Xie, Cheung, & Jefferies, 2007; Zhang, 2009, 2011);

- c) **Ganancia/ Bienestar social/ Igualdad de beneficios a los usuarios:** los autores realizan el análisis considerando tres puntos de vista distintos, ya que cada parte involucrada tiene un interés diferente. En lo que concierne al privado, éste se preocupa por sus ganancias, mientras que el gobierno se preocupa por el bienestar social. Por otra parte, el usuario esperaría recibir un servicio acorde a la tarifa que está pagando, es decir una igualdad de beneficio entre la tarifa pagada y la calidad del servicio recibida (Chen & Subprasom, 2007).

La Tabla 2.1 muestra un resumen de los factores clave y las herramientas utilizadas por cada autor.

Autor	Tipo de Perspectiva	Título del documento	Aplicación	Elementos clave	Elementos clave a considerar en la investigación	Herramientas	Herramientas a considerar en la investigación
Zhang (2013)	Asignación de riesgos	Price , capacity and concession period decisions of Pareto-efficient BOT contracts with demand uncertainty	Modelo general, sin aplicación	<i>Variables de decisión:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Periodo de concesión • Capacidad de la infraestructura • Tarifa del usuario 	<ul style="list-style-type: none"> • Periodo de concesión • Tarifa al usuario 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimización: <ul style="list-style-type: none"> • Modelo bi-objetivo: reparto de riesgos • Problema del vendedor de periódicos: caracterizar la inversión de la infraestructura y problemas de operación 	
Hanaoka & Perez (2012)	Periodo de concesión	Reasonable concession period for build-operate-transfer road projects in the Philippines	<ul style="list-style-type: none"> • Lugar de aplicación: Filipinas • Aplicación: Concesión de Infraestructura para dos carreteras 	<i>Factores para la construcción de escenarios:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Parámetros: <ul style="list-style-type: none"> - Periodo de construcción - Tasas de impuestos - Gastos extra de operación • Variables: <ul style="list-style-type: none"> - Costo de inversión - Variables macroeconómicas - Tasa de retorno esperada - Demanda (volumen de tráfico) - Tarifa - Costo de operación y mantenimiento - Ganancias - Valor presente neto 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de inversión • Variables macroeconómicas • Tasa de Retorno Esperada • Demanda (volumen de tráfico) • Tarifa • Costo de operación y mantenimiento • Ganancias • Valor Presente Neto 	Análisis: <ul style="list-style-type: none"> - Simulación Monte Carlo: análisis financiero para ver si es viable o no el proyecto Optimización: <ul style="list-style-type: none"> - Teoría de juegos: negociación del periodo específico de la concesión 	Simulación
Zhang (2011)	Periodo de concesión	Expert Systems with Applications Web-based concession period analysis system	<ul style="list-style-type: none"> • Lugar de aplicación: Hong Kong • Aplicación: Concesión de infraestructura de túneles 	<i>Factores para la construcción de escenarios:</i> <i>Utiliza los mismos factores que en artículo anterior, sin embargo incluye:</i> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Herramientas de scheduling</i> - <i>Métodos de análisis financiero</i> - <i>El desarrollo del modelo en internet para lograr la accesibilidad de los usuarios</i> 	Desarrollo del modelo en una plataforma virtual	Optimización: <ul style="list-style-type: none"> - Problema de maximización del Agente-Principal Análisis: <ul style="list-style-type: none"> - Metodología de Simulación Monte Carlo basada en el análisis del periodo de concesión. La metodología incluye CPM (Critical Path Method) o PERT 	Simulación

Tabla 2.1 Perspectivas abordadas del objeto de estudio

Fuente: Elaboración propia con los datos de los artículos consultados

Autor	Tipo de Perspectiva	Título del documento	Aplicación	Elementos clave	Elementos clave a considerar en la investigación	Herramientas	Herramientas a considerar en la investigación
Zhang (2009)	Periodo de concesión	Win – Win Concession Period Determination Methodology	<ul style="list-style-type: none"> • Lugar de aplicación: Hong Kong • Aplicación: Concesión de infraestructura de túneles 	Factores para la construcción de escenarios: <ul style="list-style-type: none"> - <i>Tasa Interna de Retorno (TIR) razonable para el privado</i> - <i>Ventajas y desventajas de la regulación de la TIR</i> - <i>Periodo de concesión como criterio de evaluación</i> - <i>Costos de operación eficientes</i> - <i>Mecanismo para la tarifa</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa Interna de Retorno (TIR) • Periodo de concesión • Costo de operación • Tarifa 	Optimización: <ul style="list-style-type: none"> - Problema de maximización del Agente-Principal Análisis: <ul style="list-style-type: none"> - Simulación Monte Carlo combinado con CPM (Critical Path Method) 	Simulación
Ng, Xie, Cheung & Jefferies (2007)	Periodo de concesión	A Simulation Model for Optimizing the Concession Period of Public-Private Partnerships Schemes	Modelo general, aplicación hipotética	Factores para la construcción de escenarios: <ul style="list-style-type: none"> • Parámetros: <ul style="list-style-type: none"> • Periodo de construcción • Tasa de descuento • Tarifa • Variables: <ul style="list-style-type: none"> • Costo: incluye costo de diseño, construcción, operación, gestión y mantenimiento • Ingresos generados por el servicio • Ganancias generadas por el servicio 	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de descuento • Tarifa • Periodo de concesión 	Análisis: <ul style="list-style-type: none"> - Simulación 	Simulación
Chen & Subprasom (2007)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ganancia 2. Bienestar social 3. Igualdad de beneficios a los usuarios 	Analysis of Regulation and Policy of Private Toll Roads in a Build-Operate-Transfer Scheme Under Demand Uncertainty	<ul style="list-style-type: none"> • Lugar de aplicación: Tailandia • Aplicación: Concesión de autopista 	Variables: <ul style="list-style-type: none"> • Ganancias • Bienestar social • Valor Presente Neto (VPN) • Tasa Interna de Retorno (TIR) 	<ul style="list-style-type: none"> • Consideración de las tres perspectivas para analizarlas de manera sistémica 	Optimización: <ul style="list-style-type: none"> - Programación estocástica bi-nivel, aplicando el algoritmo genético basado en simulación . Determina la tarifa óptima - Modelo de Flujo de Efectivo con descuento 	Programación estocástica
Medda (2006)	Asignación de riesgos	A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships	Modelo general, sin aplicación	Identificación de riesgos: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Técnicos: derivados de la construcción</i> • <i>Comerciales: Incertidumbre en el mercado (demanda)</i> • <i>Políticos y regulatorios: gobierno</i> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Económicos y financieros: incertidumbre en la economía</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Incertidumbre en la economía • Incertidumbre en la demanda 	Optimización: <ul style="list-style-type: none"> - Problema de optimización condicional 	

Tabla 2.1 Perspectivas abordadas del objeto de estudio
Fuente: Elaboración propia con los datos de los artículos consultados

a) Asignación de riesgos

En los contratos de concesión, la asignación de riesgos es la manera en la que se puede lograr un equilibrio financiero entre las partes involucradas, lo que implica que una asignación mal planteada puede incurrir en un alza del costo de capital, así como un incremento de la

inversión. A manera general, el gobierno busca el bienestar social mientras que el privado busca su propio beneficio económico.

En 2006, Francesca Medda publicó su trabajo llamado “*A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships*” (Medda, 2006), en donde considera que el uso de concesiones implica una serie de riesgos para ambas partes que deben ser considerados a detalle para poder determinar un contrato que beneficie a ambos:

- a) **Riesgos técnicos:** referentes a la construcción como demoras o excedente del presupuesto;
- b) **Riesgos comerciales:** incertidumbre en el mercado (demanda), ya que por lo general la demanda no es exactamente igual a la pronosticada y llegan a existir diferencias hasta por un 20 ó 30% con respecto a lo pronosticado;
- c) **Riesgos políticos y regulatorios:** surgen de las acciones del gobierno como nuevos impuestos, nuevas políticas, entre otros;
- d) **Riesgos económicos y financieros:** Surgen de la incertidumbre en la economía, tasas de inflación o las tasas de cambio, la incertidumbre del crecimiento de la economía, entre otros.

b) Periodo de concesión

S. Thomas Ng, Jingzhu Xie, Yau Kai Cheung & Marcus Jefferies desarrollaron un modelo de simulación para optimizar el periodo de concesión, el cual publicaron en su artículo “*A Simulation Model for Optimizing the Concession Period of Public–Private Partnerships Schemes*”. Los autores consideran que el cálculo apropiado del retorno de la inversión es lo que hará atractivo el negocio para el privado, ya que de lo contrario se corre el riesgo de que el privado se vea obligado a incrementar la tarifa si las ganancias no llegan a ser las esperadas.

El modelo logra obtener resultados que demuestran que los riesgos y las incertidumbres, así como el cambio en la tasa de inflación, el flujo de tráfico y el costo de operación, puede influenciar la decisión de la determinación del periodo de concesión. El modelo de simulación ayuda a que el impacto de los riesgos se puedan tomar en cuenta al definir el periodo ideal de la concesión, basado en la tasa interna de retorno (TIR). Los resultados de la simulación arrojan, que al considerar la mínima y máxima TIR, se puede identificar un periodo de concesión que no sea tan arriesgado.

En 2009, Xueqing Zhang publicó su trabajo llamado “*Win – Win Concession Period Determination Methodology*”, en donde identifica que al fijar el periodo de concesión, para después invitar al privado a ofertar sobre otros aspectos del proyecto, incurre en problemas económicos, financieros y sociales potenciales como lo demuestra analizando dos proyectos de concesión de túneles en Hong Kong. Con la idea de evitar la ocurrencia de dichos problemas, (Zhang, 2009) propone una metodología para determinar el periodo de una

concesión en donde ambas partes ganen por igual, ya que dicho periodo es crucial para la viabilidad del proyecto. La propuesta del trabajo se basa en el principio básico en donde el periodo de concesión debe ser lo suficientemente largo como para facilitar que el concesionario recupere la inversión y gane una tasa razonable dentro del mismo periodo.

El problema se aborda con un modelo de maximización de principal-agente, en donde el principal es el gobierno y el agente es el concesionario. Una solución exitosa del problema debe satisfacer dos restricciones: restricción de participación y restricción de compatibilidad de incentivos; lo que genera un periodo en que ambas partes ganen (*win-win*). Por otro lado, se genera un modelo basado en la simulación computacional que contempla la incertidumbre de los riesgos asociados en las fases de construcción y operación. Considerando ambos modelos, se logran generar valores deterministas y valores basados en la simulación para determinar el periodo de una concesión.

Se concluye que el hecho de fijar el periodo de concesión y no permitirle al privado la negociación, puede incurrir en una serie de problemas económicos, financieros y sociales. El gobierno necesita evaluar si los costos en los que incurrirá el concesionario son eficientes o si el mecanismo para generar la tarifa que propone el concesionario será viable.

En 2012, Shinya Hanaoka y Hazel Perez Palapus publicaron su trabajo llamado “*Reasonable concession period for build-operate-transfer road projects in the Philippines*”, en el que desarrolla una metodología para determinar un periodo de concesión razonable que sea rentable tanto para el gobierno como para el privado contemplando los riesgos asociados a la evaluación financiera utilizando simulación Monte Carlo y la Teoría de Juegos para la negociación. Con el fin de demostrar la aplicabilidad del modelo propuesto, se utilizan como caso de estudio dos concesiones de carreteras de cuota en Filipinas. El periodo de concesión encontrado para los contratos antes mencionados fue mayor al otorgado en el contrato original, lo que indica el impacto de los riesgos en el flujo de efectivo.

La metodología propuesta se basa en el uso del VPN para determinar un periodo de concesión razonable que considere el efecto de los riesgos de los parámetros con incertidumbre en la evaluación del proyecto. El modelo de simulación logra generar un rango de tiempo con el cual se podrá basar el gobierno para negociar, por medio de la teoría de juegos, con el privado y con base en éste fijar el periodo de concesión que sea lo más rentable para ambas partes. Cualquier punto dentro del rango determinado se considera como óptimo y será ventajoso para las dos partes involucradas.

Los periodos de concesión de los casos de estudio analizados en el documento fueron mayores a lo establecido en los elementos del contrato otorgado. Se puede concluir que entre más largo sea el periodo de la concesión, mayor la probabilidad del concesionario a recuperar su inversión. El otorgar un periodo más largo es una manera de demostrarle al privado la importancia que le da el gobierno a proteger sus intereses, lo que genera una mayor confianza al privado para seguir participando en este tipo de concesiones. Desde el punto de vista del gobierno, un periodo más largo asegura que el proyecto seguirá siendo rentable para que lo opere el gobierno antes de que llegue al término de su vida económica.

Por otro lado, en 2013, Baozhuang Niu & Jie Zhang publicaron su trabajo “*Price, capacity and concession period decisions of Pareto-efficient BOT contracts with demand uncertainty*”, en donde analizan el impacto de la incertidumbre en la demanda de un contrato de concesión por medio de un problema de optimización bi-objetivo en el que definen como variables de decisión: la tarifa, la capacidad y el periodo de concesión.

(Niu & Zhang, 2013) consideran que el gobierno y el privado tienen objetivos encontrados y por lo tanto las decisiones en cuanto a la capacidad y la tarifa difieren. El privado busca tener un periodo largo de concesión con el fin de poder generar la mayor ganancia posible, no obstante, un periodo tan largo podría perjudicar el bienestar social. Por lo anterior, es por lo que se hace crucial el definir cómo se van a tomar las decisiones referentes a la capacidad y la tarifa, buscando el mayor beneficio posible para ambas partes, sacrificando lo menos el bienestar social.

Los resultados del modelo arrojan que cuanto más grande el periodo de concesión, las ganancias del privado incrementan. Por el otro lado, en el caso de que el costo del gobierno por operar la infraestructura sea menor con respecto al del privado, no le convendrá al gobierno privatizar. Al mismo tiempo, se introduce la tasa de inflación en el modelo, con lo que se demuestra que si se espera una tasa de inflación alta a futuro, los tomadores de decisiones tenderán a construir una capacidad más reducida y a establecer una tarifa más elevada, lo que ocasiona que la calidad del servicio disminuya afectando así el bienestar social. En general, tomando una demanda determinista, el gobierno tiende a construir infraestructura que cuente con una gran capacidad cobrando una tarifa menor a la del privado. La investigación concluye que al analizar la eficiencia económica de la concesión bajo una demanda con incertidumbre, el bienestar social se ve afectado, sin embargo esta reducción se considera dentro de un rango aceptable.

Posteriormente, se determina el parámetro del periodo de concesión. Por una parte se tiene que el privado busca tener el mayor periodo de concesión mientras siga generando ganancias al determinar apropiadamente la capacidad y la tarifa. En el escenario en que el gobierno tiene el dominio del contrato, la decisión del periodo de concesión se basa en la diferencia que existe entre los costos de operación del privado con respecto al gobierno, ya que si el gobierno tiene un menor costo de operación que el privado, lo más conveniente sería que el propio gobierno construya y opere. Por lo tanto, el establecer un largo periodo de concesión inspira al privado a construir una infraestructura con mayor capacidad y por consiguiente a incrementar el bienestar social. Sin embargo, un largo periodo de concesión disminuye el periodo en que opera el gobierno lo que puede significar una disminución del bienestar social. En otras palabras, el gobierno no debería escoger a un privado cuyos costos operativos sean demasiado elevados en la construcción de la infraestructura. Otro punto importante para determinar el periodo de concesión es la inflación, ya que puede influir directamente en la decisión del privado, por lo que se le aplica un análisis de sensibilidad para determinar hasta donde sería rentable el proyecto. Finalmente, se hace un análisis de Pareto en donde se considera el dominio del contrato para determinar el periodo de la concesión. Se concluye que el considerar la incertidumbre en la demanda incrementa la eficiencia de la concesión con respecto al gobierno.

c) **Ganancia/ Bienestar social/ Igualdad de beneficios a los usuarios**

En 2007, Anthony Chen y Kitti Subprasom publicaron su trabajo llamado “*Analysis of Regulation and Policy of Private Toll Roads in a Build-Operate-Transfer Scheme Under Demand Uncertainty*”, donde realizan un análisis considerando los intereses personales de los actores involucrados directa e indirectamente en la concesión, es decir, el interés del privado, el gobierno y el usuario final aplicándolo a un caso de concesión de una autopista en Tailandia. La justificación del análisis se basa en el conflicto que existe entre los objetivos de cada una de las partes, ya que difieren entre sí. El modelo busca satisfacer todos los criterios, sin embargo, si estos no se satisfacen, se modifican regulaciones del gobierno como el subsidio en el costo de la construcción o incluso el extender el periodo de la concesión para modificar el flujo de efectivo y que de esta manera se logre la viabilidad financiera del proyecto. El proceso se repite hasta que se logren satisfacer ambos, la viabilidad financiera del proyecto, así como sus criterios de desempeño.

Una vez generados los resultados del modelo, se desarrolla una evaluación financiera para determinar la viabilidad del proyecto, ya que si el proyecto no es viable financieramente, no se logrará interesar al privado para que forme parte de la negociación de la concesión; la evaluación financiera considera tres criterios: el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR) y el año en donde se logra el punto de equilibrio del proyecto.

Los resultados del modelo varían de la siguiente manera: considerando como único objetivo la maximización de las ganancias del privado, se concluye que la tarifa a cobrar al usuario es la más elevada. Sin embargo, al minimizar las desigualdades en la relación precio-calidad se obtiene que la tarifa es la más baja, no obstante, considerando la maximización del bienestar social, la tarifa es la que se encuentra en el rango medio. Por otro lado, se concluye que las políticas de subsidio en el costo de construcción y la extensión del periodo de concesión son viables, en caso de ser necesario.

Al final del análisis, se logra concluir que si el periodo de concesión es muy largo, las ganancias potenciales, posteriores a la culminación del periodo de concesión, se deberán descontar al valor presente neto, a fin de que se vuelvan insignificantes. Sin embargo, un periodo de concesión corto, puede resultar en una tarifa muy elevada para los usuarios, lo que se vuelve inaceptable. Por último, los autores proponen una optimización multi-objetivo en donde se podrán considerar los tres intereses bajo un mismo modelo aplicando el algoritmo genético multi-objetivo basado en simulación. Los resultados de este último modelo arrojan que no se pueden satisfacer los tres criterios al mismo tiempo sin perjudicar de algún modo, a otro; por lo que los autores proponen el uso de la técnica Pareto para que los tomadores de decisiones puedan identificar con claridad los costos de oportunidad al escoger entre uno u otro escenario.

En general, las aportaciones encontradas a partir de la literatura consultada referentes a las tres perspectivas con las que se ha abordado el tema de investigación a lo largo de los años, se muestran en la Tabla 2.2:

Tipo de Perspectiva	Autor	Conclusiones
Asignación de riesgos	Meda (2006)	<ul style="list-style-type: none"> • Una correcta asignación de riesgos genera un equilibrio financiero entre las partes involucradas; • Se debe considerar la incertidumbre en el mercado y los cambios que puede generar el gobierno como riesgos; • Asimismo, la incertidumbre en la economía, las tasas de inflación o las tasas de cambio, se deben considerar como riesgos latentes.
	Zhang (2013)	<ul style="list-style-type: none"> • A medida que el periodo de concesión sea mayor, las ganancias del privado incrementarán; • El gobierno no deberá privatizar si su costo de operación es menor al del privado; • A medida que incremente la tasa de inflación, el privado construirá una capacidad menor y la tarifa a cobrar al usuario será mayor; • El privado buscará siempre un mayor periodo de concesión; • El gobierno no deberá escoger a un privado cuyos costos operativos sean demasiado elevados en la construcción de la infraestructura.
4. Ganancia 5. Bienestar social 6. Igualdad de beneficios a los usuarios	Chen & Subprasom (2007)	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe considerar la incertidumbre en la demanda para determinar las compensaciones que existen en los tres casos analizados (ganancia, bienestar social e igualdad de beneficios a los usuarios); • Se debe realizar un análisis financiero para determinar la viabilidad del proyecto; • Es factible el modificar regulaciones del gobierno para lograr la viabilidad financiera; • Si se maximizan las ganancias del privado, la tarifa resulta muy elevada; • Si se minimizan las restricciones de precio – calidad, la tarifa es muy baja; • Si se maximiza el bienestar social, la tarifa se ubica en un rango medio; • Un periodo de concesión largo genera ganancias excesivas, mientras que un periodo de concesión corto genera una tarifa al usuario elevada.
Periodo de concesión	Hanaoka & Perez (2012)	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere hacer una evaluación financiera del proyecto y en este caso se utiliza la simulación Monte Carlo para hacerlo ; • Se utiliza el VPN (Valor Presente Neto) para determinar el periodo de concesión considerando el efecto de los riesgos generados por los parámetros con incertidumbre en la evaluación del proyecto; • La simulación arroja un rango de tiempo para el periodo de concesión con el cual se negociará con el privado; • A medida que el periodo de concesión sea más largo, la probabilidad del concesionario a recuperar su inversión incrementa.
	Zhang (2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere realizar un análisis financiero
	Zhang (2009)	<ul style="list-style-type: none"> • La definición del periodo de concesión es crucial para la viabilidad del proyecto; • El periodo debe ser lo suficientemente largo para que el privado recupere su inversión y gane una tasa razonable dentro del mismo; • La simulación se utiliza para considerar la incertidumbre que existe en los riesgos asociados al proyecto; • El periodo no se debe fijar, se debe generar un rango dentro del cual negociar con el privado.
	Ng, Xie, Cheung & Jefferies (2007)	<ul style="list-style-type: none"> • El cálculo apropiado del retorno de la inversión es clave para determinar el periodo de concesión, sin ello el privado se verá en la necesidad de incrementar la tarifa; • Los cambios en la inflación, el flujo de tráfico y el costo de operación influyen directamente en el cálculo del periodo; • La definición del periodo de concesión se basa en la TIR (Tasa Interna de Retorno) utilizando simulación.

Tabla 2.2 Aportaciones de las perspectivas abordadas

Fuente: Elaboración propia con los datos de los artículos consultados

Por lo anterior, se puede llegar a la conclusión de que habrá que tomar a consideración los siguientes aspectos:

- A. A medida que el periodo de concesión incrementa, las ganancias del privado incrementan, por lo tanto habrá que encontrar un punto de equilibrio en donde las ganancias no sean excesivas para el privado;
- B. Se debe considerar como factor clave la inflación esperada a lo largo del periodo de concesión que se defina, ya que conforme incrementa la tasa de inflación el privado se verá en la necesidad de disminuir la capacidad construida e incrementar la tarifa al usuario por lo que la calidad del servicio disminuirá;
- C. La incertidumbre en la demanda es otro factor relevante a considerar;
- D. La asignación de riesgos genera un equilibrio financiero para las partes involucradas, por lo que una buena asignación dará como resultado una concesión exitosa;
- E. Se debe generar un análisis financiero o una evaluación financiera con lo cual se logre verificar la viabilidad del proyecto;
- F. La simulación es una buena herramienta que facilita la consideración de la incertidumbre que generan los riesgos asociados.
- G. El periodo de concesión se deberá definir con base en la TIR (Tasa Interna de Retorno) o VPN (Valor Presente Neto) utilizando como herramienta la simulación;

La literatura consultada nos arroja un panorama global sobre cómo iniciar la investigación y sobre los factores que no deben faltar en el análisis; sin embargo, en el caso de México habría que analizar los parámetros propuestos de la literatura para identificar su viabilidad. Por otro lado, la literatura nos muestra que la herramienta de simulación es la que se ha utilizado con mayor frecuencia, ya que logra considerar una mayor gama de parámetros, variables aleatorias o incluso la incertidumbre que puede llegar a existir en cada uno de ellos; a diferencia del resto de las herramientas utilizadas en donde sólo se consideran variables deterministas.

En la presente investigación, se tomarán en cuenta los siguientes aspectos arrojados por la revisión bibliográfica:

1. Analizar cómo considerar la inflación dentro del modelo, de tal manera que los riesgos que implique su comportamiento queden asentados;
2. Realizar una evaluación financiera con los flujos de efectivo que genere el modelo utilizando como criterios el VPN y la TIR;
3. Utilizar como herramienta de I. de O. a la simulación, ya que es la manera en la que se pueden considerar el mayor número de aspectos dentro de un mismo modelo.

Al mismo tiempo, la revisión bibliográfica busca determinar los elementos de una concesión utilizados a nivel internacional, con el propósito de contrastarlos con los que se encuentran establecidos actualmente en el contrato de la Línea 1 del Metrobús. A manera general, la revisión bibliográfica realizada, arrojó como resultado modelos en donde se consideran diferentes elementos de los cuales se pueden identificar algunos que serían clave y por lo mismo habría que considerarlos dentro del análisis. Los elementos cuantitativos que fueron considerados en la mayoría de los modelos analizados son: el periodo de concesión y la tarifa al usuario, mismos que los autores consideran que su correcta definición es lo que genera una concesión exitosa, alcanzando así un equilibrio financiero. Por otro lado, los costos de operación, la utilidad del concesionario y la demanda que pudiera llegar a generar el propio sistema. Como resultado de la revisión bibliográfica, se considera que dentro de la presente investigación se prestará especial atención a estos elementos para identificar su comportamiento dentro del sistema. De esta manera, se realiza un análisis de los elementos clave que se consideran actualmente en la concesión de la Línea 1 del Metrobús para poder contrastarlos con los resultados arrojados por la revisión bibliográfica y con ello determinar los elementos a ser considerados en el sistema motivo de estudio. La Figura 2.1 muestra los elementos encontrados en común para ambos casos.

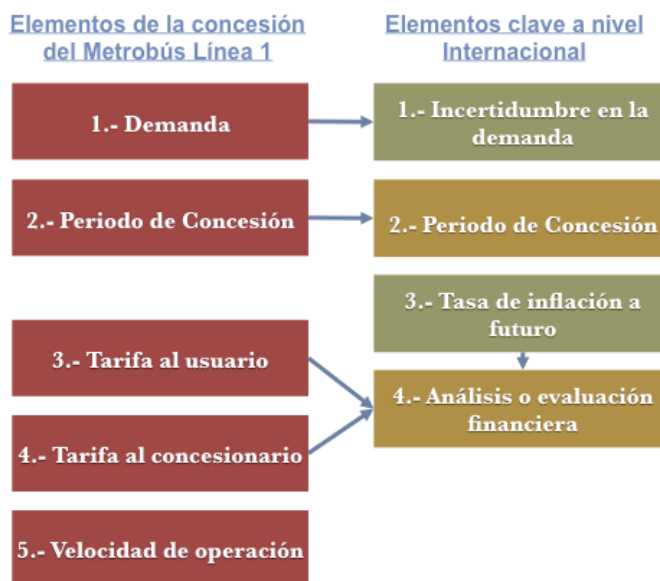


Figura 2.1 Análisis de los elementos clave a considerar

Fuente: Elaboración propia.

1. *Demanda*: Como podemos ver, en ambos casos se toma en cuenta la demanda como una variable, sin embargo en los estudios realizados a nivel internacional se hace hincapié en considerar su incertidumbre (Chen & Subprasom, 2007; Medda, 2006; Zhang, 2009); lo que en la concesión establecida para la Línea 1 del Metrobús no sucedió. Al no considerar la demanda como una variable e incluso no considerar la incertidumbre para su cálculo, se generaron una serie de problemas financieros, ya que la demanda proyectada fue mayor a la real ocasionando un déficit en los ingresos.

El acontecimiento antes mencionado, ocurrió en el año de 2006 (Metrobús, 2006) cuando Metrobús advierte que los recursos generados son insuficientes para cubrir las necesidades de pagos, debido a la falla en la estimación inicial de la demanda que se generó para que el servicio operara con base en ella. En el contrato de concesión se pronosticaba un total de 72.2 millones de pasajeros anuales de paga, mientras que en la realidad fueron 62.6 millones. Esto último, ocasionó que tanto CISA como RTP adquirieran 17 unidades extra las cuales estuvieron subutilizadas. Por los motivos antes mencionados, Metrobús no logró hacer los pagos correspondientes a los concesionarios por la prestación del servicio debido a la falta de recursos. Observando esta situación es por lo que se sugiere considerar la demanda como una variable con incertidumbre, para que de esta manera se logren tomar decisiones más precisas.

2. Periodo de concesión: Como pudimos observar en la revisión bibliográfica, cuatro autores lo toman como elemento clave para determinar una concesión exitosa (Hanaoka & Palapus, 2012; Ng et al., 2007; Zhang, 2009, 2011). Es por ello, por lo que se considera que el periodo de concesión puede ser un elemento cuantitativo de relevancia.
3. Análisis o evaluación financiera: Por otro lado, (Chen & Subprasom, 2007; Hanaoka & Palapus, 2012; Medda, 2006; Zhang, 2009) consideran que es de suma importancia realizar un análisis financiero de la concesión, ya que finalmente es un negocio y por lo mismo debe ser rentable para las partes involucradas. Con la intención de analizar la concesión desde un punto de vista financiero, se tomará en cuenta que la tarifa al usuario puede ser uno de los elementos cuantitativos, ya que de aquí se generarán todos los ingresos del sistema y es importante poder cuantificarla de tal manera que le sirva de herramienta al Jefe de Gobierno cuando tenga que tomar la decisión. Por otro lado, la tarifa al concesionario también es de gran importancia, ya que de ella depende que la operación se pueda llevar a cabo, dejando al mismo tiempo, una utilidad para el concesionario. La intención del modelo es identificar la sensibilidad de los elementos cuantitativos, así como del resto de los elementos, de tal manera que se puedan establecer políticas de transporte con las cuales se logre definir una concesión rentable para las partes involucradas.
4. Tasa de inflación: Por otra parte, en los estudios revisados se pudo observar que la inflación es un factor clave a considerar dentro del análisis, a fin de generar una evaluación financiera con mayor robustez; por lo mismo es que se considerará como una variable dentro del modelo. Actualmente, la concesión de la Línea 1 no la tomó en cuenta y por lo mismo se generaron problemas financieros, específicamente en el año 2012 con el concesionario RECSA. La empresa privada, en este punto de su operación, se ve en la necesidad de solicitar un incremento en la tarifa por prestación del servicio, justificando que a partir del inicio de sus actividades se habían registrado incrementos en los precios de los insumos reflejados en los indicadores económicos que se presentan a continuación (Metrobús, 2012):
 - Incremento en el precio del diésel del 82%;
 - Incremento en el salario mínimo del 18.5%;

- Incremento en la paridad peso/dólar del 22.7%;
- Incremento en el Índice Nacional de Precios al consumidor estimada en el mes de agosto de 2012 en un 19.7%:

Por lo anterior, aunado a la revisión bibliográfica, es que se considerará a la inflación como un elemento clave en el sistema.

5. *Flotilla*: La compra de los autobuses representa una inversión significativa y por lo mismo no sería económicamente viable solicitar unidades que no estarán en uso o incluso que pudieran llegar a estar subutilizadas, ya que representaría pérdidas en el sistema. Aunado a esto, al consultar con los expertos de Metrobús, indican que el periodo de concesión actual, está fijado en términos de la vida útil de los autobuses, ya que dentro del contrato se le obliga al privado, en caso de que busque la renovación de la concesión, el adquirir nuevas unidades para que dicha renovación pueda tomar efecto. Metrobús busca ofrecer un servicio de calidad, por lo mismo considera que la vida útil de un autobús está dentro de un rango de 8 a 15 años tomando como media que la vida útil real del autobús es de 10 años; es por ello que Metrobús fija el periodo de concesión a 10 años.

2.2 Formulación del problema concreto a resolver

Los elementos clave identificados en las bases para una licitación son el tiempo por el que se otorga una concesión y la tarifa final al usuario. Actualmente, el tiempo por el que se otorga una concesión es el equivalente a la vida útil de los autobuses, mientras que la tarifa final al usuario se toma por acuerdo o reglamento del Jefe de Gobierno en curso.

En esta investigación se propone el uso de un modelo de simulación de dinámica de sistemas que servirá como base y apoyo para quien toma las decisiones, de tal manera que su intuición y criterio estén fundamentados matemáticamente y dirigidos hacia un objetivo común: la búsqueda de un equilibrio financiero entre las partes involucradas. Por lo mismo, el modelo servirá para dar robustez y transparencia a las inferencias, suposiciones y decisiones que de él se puedan generar.

Considerando como se establece el tiempo de la concesión y la tarifa final al usuario, así como la falta de pruebas cuantitativas para la definición del resto de los elementos, podemos notar que en la actualidad no se cuenta con una base cuantitativa que le permita al gobierno decidir y negociar con mayor certeza, por lo que se propone el uso de herramientas de la Investigación de Operaciones con las que se pretende diseñar un modelo de simulación de dinámica de sistemas que permita analizar de manera sistémica, los elementos y relaciones involucrados en una concesión, con la finalidad de identificar aquellos elementos de mayor sensibilidad, para que con ellos se definan políticas con las que se pueda establecer un contrato de concesión equilibrado. Las políticas generadas, servirán como base de negociación para que se logre obtener el mejor rendimiento tanto para el gobierno como para el privado. El producto final de la investigación será una herramienta matemática que funcione como base para futuras concesiones, así como las políticas formuladas a partir del caso de estudio utilizado en la investigación: la Línea 1 del Metrobús de la Ciudad de México.

2.2. Métodos y modelos

2.2.1 Metodología de Sistemas Suaves

La presente investigación plantea el uso de la metodología de sistemas suaves (MSS) propuesta por Peter Checkland como herramienta para el desarrollo del modelo conceptual del problema abordado, mismo que se llevará a cabo en la primera fase de la estrategia de investigación correspondiente al Análisis Sistémico. Dicha metodología se basa en la importancia que tiene la interacción humana en la resolución de un problema, ya que se consideran como factores clave el comprender la interacción de las personas involucradas en el sistema de estudio, así como la aceptación del modelo por parte de los tomadores de decisiones y los actores involucrados.

La MSS es una metodología desarrollada a principios de los años 70's por Peter Checkland para ayudar en la estructuración de problemas (Berge & Dahl, 2011). Una de las ideas esenciales de la metodología es el adentrarse en el mundo conceptual para poder entender cómo los humanos intentan tomar acciones propositivas basadas en su propia y particular manera de interpretar la situación. Los conceptos centrales de la metodología son el desarrollo de las definiciones raíz (descripción del sistema desde cierta perspectiva) y los modelos conceptuales. Un modelo conceptual representa conceptos de las actividades propositivas basadas en declaraciones de distintos puntos de vista. El principal objetivo de un modelo conceptual es simular, alimentar y estructurar el debate referente a la situación del problema.

La definición original de la MSS consiste en un proceso de 7 pasos, sin embargo, a lo largo de los años se han ido realizando cambios al proceso, siendo su flexibilidad una de las principales características, ya que esta flexibilidad permite que no se tenga que seguir de manera estricta toda la metodología. Lo anterior nos permite tomar lo que sea necesario de la metodología para aplicarla en el caso de estudio. La Figura 2.2 muestra los 7 pasos originales de la MSS:

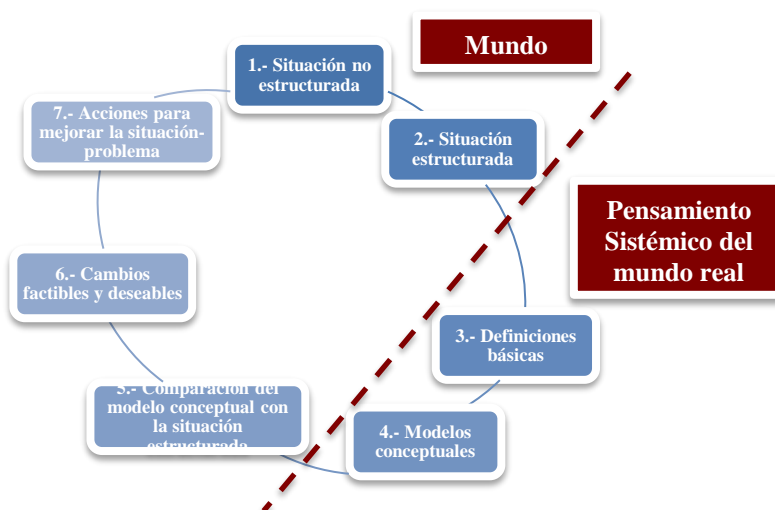


Figura 2.2 Proceso de 7 pasos de la MSS

Fuente: Berge, L., & Dahl, F. A. (2011).

2.2.2 Diagrama de influencia

El modelo conceptual generado a partir de la MSS se presenta mediante un diagrama de influencia, el cual consiste en una representación gráfica que permite reproducir el problema con el que se estará trabajando en la investigación. El problema se logra representar a través de variables de azar y de decisión, mostrando las dependencias y el flujo de información que existe entre ellas. Se propone esta técnica a manera de facilitar la comprensión del problema abordado considerando su alta complejidad y dinamismo. El diagrama de influencia nos permite identificar los elementos relevantes del problema a investigar, así como las relaciones que existen entre cada uno de ellos.

Un diagrama de influencia es una herramienta de gran utilidad para el modelado de problemas, ya que nos proporciona mecanismos de inferencia, consiguiendo así un modelo de razonamiento complejo. El modelo de razonamiento característico es la inferencia bayesiana, aplicada en conjunto con la teoría de decisión de problemas sobre los cuales existe incertidumbre. Por lo tanto, un diagrama de influencia es esencialmente una red bayesiana ampliada con nodos de decisión que representan las decisiones que se deben tomar, mientras que los nodos representan el valor, de tal manera que se puedan incluir las utilidades. De manera informal, se podría definir como una red de arcos dirigidos y sin ciclos, que se corresponden con la información cualitativa del diagrama y un conjunto de tablas subyacentes a cada nodo del grafo, que se corresponden con la información cuantitativa.

En el grafo, las aristas que van de un nodo a otro representan las relaciones que existen entre dichos nodos y los nodos mismos pueden representar decisiones, variables al azar o utilidades. Los diagramas de influencia están formados por dos conjuntos: arcos y nodos, los cuales contienen dos tipos de información:

i. Información cualitativa

- a. **Nodos de Azar:** corresponden a las variables aleatorias, que a su vez representan eventos que no están bajo el control de quien toma la decisión. Gráficamente se representan con un círculo u óvalo;
- b. **Nodos de decisión:** corresponden a las variables de decisión y representan acciones que están bajo el control de quien toma la decisión, los valores que llegan a tomar estas variables corresponden a las distintas alternativas que pueden generar;
- c. **Nodos de valor:** corresponden a la utilidad esperada, es decir, representan el objetivo de maximizar. La utilidad estará definida como una función real de varias variables, tanto de azar como de decisiones. Los nodos de valor en un diagrama de influencia no tienen descendientes. Gráficamente se representan con un rombo, hexágono o como un rectángulo de esquinas redondeadas.

A continuación, se muestra la Figura 2.3 en donde se distinguen las figuras que representan gráficamente cada uno de los nodos del diagrama de influencia:




Tipo de Nodo	Representación gráfica
Azar	
Decisión	
Valor	

Figura 2.3 Representación gráfica de los nodos en el Diagrama de Influencia

Fuente: Elaboración propia.

Los arcos, por otro lado, pueden tener distinto significado dependiendo del destino de los mismos:

- a. **Arcos condicionales:** todos aquellos arcos que están dirigidos hacia nodos de azar o hacia nodos de valor, representan dependencia probabilística en el caso de ir dirigidos a un nodo de azar y dependencia funcional si están dirigidos hacia un nodo de valor, pero no implican causalidad ni dependencia temporal;
- b. **Arcos informativos:** arcos que llegan a los nodos de decisión, implican precedencia en el tiempo, es decir, cualquier incertidumbre o decisión en el origen de estos arcos ha de estar resuelta antes de que se tome la decisión destino del arco.

ii. Información cuantitativa

- a. Especificaciones de las probabilidades para los nodos de azar;
- b. Alternativas para los nodos de decisión;
- c. Valores de salida para los nodos de valor.

El almacenamiento de dicha información se realiza en tablas, que se implementa mediante matrices.

A continuación se mencionan algunas de las ventajas que tiene el uso de los diagramas de influencia:

- Método compacto y eficaz de describir modelos de decisión. Tiene la capacidad de mostrar las decisiones y sucesos del modelo usando un mínimo de nodos;
- Muestra las relaciones entre los sucesos del modelo de decisión, es decir, las relaciones que existen entre las variables del modelo;
- Permite evaluar diferentes variables por medio de otras variables que se encuentran incluidas en el mismo diagrama de influencia;

- Da claridad en situaciones complejas y confusas.

El diagrama de influencia nos servirá para expresar de manera clara y compacta el sistema objeto de estudio. En él se especificarán las variables y parámetros de dicho sistema, así como las relaciones que de cada elemento puedan llegar a existir; expresadas de manera gráfica.

2.2.3 Justificación del uso de la Simulación

La estructura del sistema analizado está conformado por una serie de procesos administrativos, mismos que tendrían que ser modificados para poder llevar a cabo un análisis detallado. En ese sentido, dado que no se pueden llevar a cabo estos cambios administrativos, se propone realizar una simulación del sistema con el cual se logra generar una serie de escenarios probables e indicadores para identificar mejoras en el sistema.

La simulación se crea a partir de la modelación, parte esencial de la metodología de la Investigación de Operaciones, ya que con ella se logra crear una representación de la realidad, que servirá como apoyo para identificar los componentes clave del sistema y representarlos a través de símbolos abstractos. Los investigadores operativos recurren a la modelación cuando no se puede experimentar con la realidad; algunos ejemplos serían cuando el costo de experimentar con la realidad es muy elevado, el no contar con los datos necesarios o incluso exponerse a algún tipo de riesgo. El modelo por lo tanto, se utiliza como medio para realizar cambios y poder analizar el comportamiento del sistema, para que de esta manera se logre obtener un resultado o una alternativa de solución para el problema planteado. En el caso específico de esta investigación, el experimentar con la realidad no es posible. Sin embargo, gracias a la revisión bibliográfica presentada en la *Sección 2.1: Estado del Arte*, se logra identificar que la simulación es la mejor herramienta, ya que es utilizada en casos similares. El modelo utiliza datos históricos de la Línea 1 del Metrobús con los cuales se realiza la construcción, verificación y validación de dicho modelo.

El problema a analizar en la presente investigación contiene una gran cantidad de elementos, cada uno de estos elementos interactúa con uno o varios de los elementos restantes; por lo tanto la complejidad del problema incrementa no sólo por la cantidad de elementos que contiene el sistema, sino por la cantidad de relaciones que existen entre dichos elementos. Esto nos lleva a considerar que encontrar una solución por medio de un modelo de optimización sería complicado, especialmente hablando de la representación de las relaciones existentes entre los elementos. Por otro lado, considerando lo anterior, así como la revisión bibliográfica mencionada anteriormente, es que concluimos que la mejor herramienta con la cual abordar el problema es la simulación.

Existen diversas definiciones de simulación, las cuales se mencionan a continuación (Sokolowski & Banks, 2010):

1. Método para la implementación de un modelo a lo largo del tiempo;
2. Técnica para analizar, probar o entrenar en lo que serían los modelos utilizados en el mundo real;
3. Método discreto de investigación científica que implica experimentos con un modelo, que representa parte de la realidad;
4. Metodología para la extracción de información de un modelo al observar el comportamiento del mismo mientras está siendo ejecutado;
5. Término no técnico que significa que no es real, es una imitación.

En general, la simulación es una herramienta que ayuda a describir el comportamiento de un sistema utilizando la modelación matemática o un modelo simbólico. Puede ser la imitación de la operación de un proceso o sistema del mundo real en un periodo de tiempo.

Ésta es una herramienta que cuenta con una gran flexibilidad. Su esencia radica en imitar la operación o proceso de un sistema complejo. Se considera que una de las primeras aplicaciones que tuvo la simulación fue el análisis de riesgo de procesos financieros, con el cual se logra imitar la evolución de las transacciones necesarias para el desarrollo de un perfil de posibles resultados. El desempeño del sistema real se imita mediante distribuciones de probabilidad para generar de manera aleatoria los eventos que pueden llegar a ocurrir en el sistema. Sin embargo, el análisis financiero no es la única aplicación que tiene esta herramienta, a continuación se presenta un listado en el que se mencionan otras posibles aplicaciones (Allen, 2011):

- A. Planeación de la capacidad;
- B. Toma de decisión para comprar;
- C. Justificación del costo del proyecto;
- D. Planeación estratégica;
- E. Planeación de la tecnología;
- F. Capacitación;
- G. Diseño de un plan de evaluación, entre otras.

La simulación nos ayudará a generar una gran cantidad de escenarios con los cuales se pueda analizar el sistema en cuestión. Una de sus principales características es el poder incluir variables aleatorias en el modelo, las cuales se pueden generar por medio de una distribución de probabilidad; un ejemplo podría ser el rendimiento de la inversión. Esta distribución, permite a la administración analizar el riesgo involucrado en el que puede incidir dicha

inversión, para que de esta manera le sea más sencillo tomar una decisión.

Es importante mencionar, que previo al modelado del sistema, existen ciertos pasos que se deben llevar a cabo (Hillier & Lieberman, 2010):

- a. Realizar un análisis teórico preliminar (investigar sobre los modelos matemáticos aproximados) para el desarrollo de un diseño básico del sistema;
- b. El modelo preliminar se simula para experimentar con el desempeño real;
- c. Se desarrolla y elige el diseño detallado del sistema y se prueba el sistema real para poder hacer ajustes.

La simulación se conoce bajo la abreviatura de *M&S*, la cual significa modelación y simulación. Este concepto se refiere a todo el proceso que involucra el desarrollo del modelo para su posterior simulación, a fin de recolectar los datos concernientes al desempeño del sistema. *M&S* utiliza modelos y simulaciones para desarrollar datos que servirán de base para la toma de decisiones a nivel administrativo, técnico y de capacitación. Cuando existen modelos con una gran complejidad y que tienen involucrados incertidumbre o variabilidad, la simulación puede ser el único método factible para su análisis, como es el caso de la presente investigación. *M&S* requiere de la ciencia computacional para la simulación de fenómenos complejos y de gran escala.

En general la simulación puede seguir la metodología propuesta por Flores de la Mota y Elizondo, (2006), en la que se consideran actividades de modelación de sistemas, así como validación del modelo, selección de distribuciones de probabilidad, y diseño y análisis de experimentos de simulación. El fondo de todo esto está basado en la teoría de probabilidad, estadística, administración de proyectos y el conocimiento detallado de las operaciones del sistema a estudiar (Flores de la Mota & Elizondo, 2006). La Figura 2.4 muestra la metodología de simulación antes mencionada.

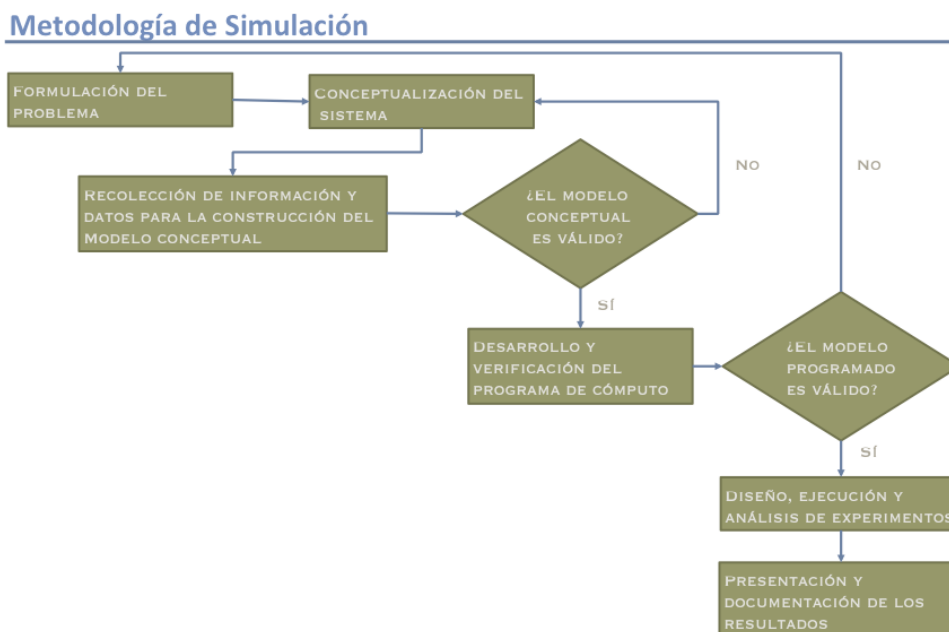


Figura 2.4 Metodología de simulación

Fuente: Flores de la Mota y Elizondo. (2006). Apuntes de simulación. UNAM

A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los pasos a seguir en el proceso de modelación, cabe mencionar que es una metodología en la que será necesario regresar a pasos anteriores en algunas ocasiones, a manera de retroalimentación.

1. **Formulación del problema:** lo primero que se debe definir es el problema a estudiar; se debe enunciar claramente el problema y los objetivos que se buscan cumplir con el estudio o investigación, ya que los objetivos de la simulación serán los que definan el camino del estudio. Al definir los objetivos de la simulación, se debe considerar el uso que se le estará dando al modelo en un futuro;
2. **Conceptualización del sistema:** en este paso se busca estructurar el sistema al definir variables, interrelaciones de estas variables, distribuciones de probabilidad, parámetros, entre otros. En esta etapa se determinan los aspectos del sistema a incluir en el modelo, así como el nivel de detalle deseado. Para esta tarea uno se puede apoyar en herramientas de sistemas suaves como son los diagramas de influencia, los cuales facilitan, visualmente, el modelo conceptual planteado;
3. **Recolección de información y datos para la construcción del modelo conceptual:** la recolección de datos sirve para especificar los parámetros del modelo y las distribuciones de probabilidad, para ello es necesario saber qué datos son los que se requieren y quién los podría proporcionar. Sin embargo, es probable que los datos obtenidos puedan llegar a tener errores y que incluso parte del proceso analizado pueda no estar documentado;

4. **Validación del modelo conceptual:** este paso es de suma importancia, sin embargo, no siempre se lleva a cabo. Esta actividad se puede realizar con ayuda de los expertos en el problema, de tal manera que ellos puedan verificar que no se está pasando por alto algún elemento relevante, que los supuestos del modelo son los correctos, e incluso que ellos adquieran cierta pertenencia hacia el modelo; en general este paso podría ayudar a evitar la reprogramación del modelo en los pasos subsecuentes;
5. **Desarrollo y verificación del programa de cómputo:** el programa de cómputo parte del modelo conceptual, es por ello que un modelo conceptual bien definido es la clave para un buen modelo de simulación, ya que establece las especificaciones de lo que se debe programar, considerando que los objetivos del modelo están ligados al lenguaje de programación con el que se desarrollará. Una vez desarrollado el programa se deberá verificar, para ello existen una serie de técnicas a utilizar, sin embargo dependerá del tipo de programa y software utilizado el escoger la técnica más apropiada;
6. **Validación del modelo programado:** para llegar a este paso, es preciso haber concluido exitosamente con los pasos anteriores, ya que en esta etapa se comprobará que el modelo de simulación es en efecto una representación adecuada del sistema real en estudio. Para desarrollar este paso no existen técnicas bien definidas, el modelador se verá en la necesidad de identificar cuál será la mejor manera de lograrlo; sin embargo existen unos lineamientos en los que se puede apoyar:
 - a. Asegurarse de que el modelo es lo suficientemente bueno como para utilizarlo en la toma de decisiones;
 - b. Tener en mente que el modelo es únicamente una aproximación por lo que un modelo no podrá ser absolutamente válido;
 - c. Será válido sólo para ciertos propósitos, si los objetivos cambian lo más probable es que el modelo no funcione;
7. **Diseño, ejecución y análisis de experimentos:** el diseño de experimentos hace referencia a las diversas corridas que se quieren hacer con el modelo, de tal manera que se puedan generar resultados que muestren las posibles alternativas de solución. En general, el diseño de experimentos es una técnica estadística que considera las variables de entrada o exógenas y las variables de salida o endógenas. Es importante notar que es necesario analizar los resultados y decidir si se requieren experimentos adicionales, ya que el exceso de información no necesariamente ayuda;
8. **Presentación y documentación de los resultados de la simulación:** a lo largo del desarrollo del modelo de simulación se deberá hacer un registro detallado de las suposiciones del modelo, algoritmos y resumen de datos para dar origen a un documento escrito que contenga lo siguiente:
 - a. Sección con las metas del proyecto, temas específicos a contemplar y las medidas de desempeño de interés;
 - b. Diagrama de flujo del proceso o sistema;
 - c. Descripciones detalladas de cada subsistema y cómo interactúa cada uno de

- ellos para la validación del modelo conceptual;
- d. Suposiciones hechas para la simplificación;
- e. Especificaciones del proceso de validación;
- f. Resúmenes de los datos de entrada del modelo y detalles técnicos, los cálculos estadísticos-matemáticos deben ir en apéndices;
- g. Fuentes de información importantes;
- h. Descripción detallada del programa de cómputo;
- i. Resultados y conclusiones del estudio.

Paradigmas de simulación

Existe una serie de paradigmas de simulación que son apropiados para el proceso de *M&S*, los cuales se mencionan a continuación (Sokolowski & Banks, 2010):

1. En primer lugar se encuentra la ***simulación o método Monte Carlo***, en ella se muestra de manera aleatoria valores de cada variable de distribución, la cual entra al modelo y utiliza esa muestra para calcular los resultados de dicho modelo. El proceso de muestreo aleatorio se repite hasta que se logre identificar cómo varía el resultado dado ciertos valores aleatorios de entrada. La simulación Monte Carlo modela el comportamiento del sistema utilizando probabilidades.
2. En segundo lugar se encuentra la ***simulación continua*** en donde el sistema tiene la forma de ecuaciones continuas que muestran la manera en que los atributos del sistema cambian con el tiempo. El tiempo es una variable independiente y las variables del sistema evolucionan conforme va pasando el tiempo. Los sistemas de simulaciones continuas utilizan ecuaciones diferenciales en el desarrollo del modelo.
3. El tercer paradigma es la ***simulación de eventos discretos***, la cual se refiere a los eventos que producen cambios en el estado del sistema; entendiendo por evento aquello que cambia el estado del sistema. Por lo tanto, las funciones que describen las variables del sistema cambian únicamente en ciertos instantes de tiempo. Las simulaciones de eventos discretos van avanzando en el tiempo conforme los eventos van ocurriendo, es decir, no pasa el tiempo hasta que no pase el próximo evento. Este paradigma puede utilizar modelos de teoría de colas. Las simulaciones continuas y de eventos discretos son sistemas dinámicos en donde las variables van cambiando conforme el paso del tiempo.

Paradigmas de modelación para la simulación

No sólo se requiere identificar el tipo de paradigma de simulación que se va a utilizar, es necesario saber qué modelación es la idónea para representar el sistema en cuestión. Algunos de los paradigmas de modelación, que son utilizados en simulación, se mencionan a continuación (Sokolowski & Banks, 2010):

- A. **Modelación basada en física:** está basado en un modelo matemático, donde las ecuaciones se derivan de los principios básicos de la física;
- B. **Modelación de un elemento finito:** es el método utilizado para la modelación de objetos grandes o complicados. Se basa en la descomposición de los elementos en un conjunto pequeño de ellos para modelarlo. Este tipo de modelación se usa en gran medida para la simulación de ingeniería, en particular la ingeniería mecánica y aeroespacial;
- C. **Modelación de bases de datos:** resulta de modelos basados en datos que describen los aspectos que representan el modelo. El desarrollo del modelo comienza con una investigación avanzada o recolección de datos, la cual se utiliza en las simulaciones, lo que hace que esta modelación dependa de la disponibilidad de los datos, así como de la precisión de los mismos;
- D. **Modelación basada en agentes:** es un paradigma importante de la modelación para la investigación de diversos tipos de fenómenos humanos y sociales. La idea clave es que por medio de un programa de cómputo se logre crear un sistema complejo y dinámico que presente comportamientos emergentes. En general, el sistema está conformado por entidades simples que interactúan unas con otras y con el ambiente, obedeciendo reglas simples o directrices. No existe un lenguaje estándar o único para aplicar la simulación basada en agentes;
- E. **Modelación agregada:** facilita que un número de objetos pequeños y acciones sean representados de manera agregada o combinada. Se utilizan principalmente cuando el foco del estudio es un desempeño agregado. El modelo tiene la capacidad de escalar y numerar entidades representativas que son grandes y que puedan comprometer el tiempo que tarde la simulación;
- F. **Modelación híbrida:** se basa en la combinación de más de un método de modelación. Se ha vuelto una práctica común en los desarrolladores de modelos. La desventaja que tiene es el identificar los métodos que puedan encajar a la hora de hacer la combinación;
- G. **Modelación dinámica de sistemas:** se rige bajo la premisa conceptual de que el comportamiento de un sistema depende de la estructura de las relaciones causa y efecto entre las partes, es decir son modelos causales analizados bajo un enfoque sistémico. Identifican cómo la estructura y las políticas de decisión ayudan a generar patrones de comportamiento (Quadreat – Ullah & Seo Seong, 2009).

En general existe una gran variedad de modelos, algunos de ellos pueden incluir cadenas de Markov, estado-finito, sistemas prácticos, modelos de teoría de colas y redes Petri. El desafío es elegir el mejor paradigma de modelación y simulación que representen el diseño en cuestión y logren contestar las preguntas de investigación o las necesidades de capacitación.

2.2.4 Simulación de Dinámica de Sistemas

En un caso como el que se pretende analizar, la asignación de un bien a distintos usuarios se ve afectada por la incertidumbre y las interacciones que se llegan a crear entre los distintos elementos del sistema, lo que conlleva a un sistema complejo y dinámico. Es por lo anterior, que un modelo determinístico no podría representar esta problemática, siendo así se propone el uso de la simulación de Dinámica de Sistemas (DS), ya que es una disciplina que estudia las relaciones entre la estructura y el comportamiento de un sistema con ayuda de modelos informáticos de simulación (Aracil, 2005). Esta técnica pertenece al paradigma de simulación discreta, en el cual se considera que las variables del sistema cambian en un cierto instante de tiempo.

La dinámica de sistemas se desarrolló entre los años de 1960 y 1970 por el profesor Jay W. Forrester. Aplica principios de la Teoría de Control, que fue desarrollada originalmente para los sistemas mecánicos e industriales dinámicos, así como un enfoque sistémico. Forrester fue quien identificó que muchos de los sistemas humanos y socioeconómicos pueden ser modelados y analizados con las mismas técnicas.

2.2.4.1 Enfoque sistémico

Esta técnica se rige bajo la premisa conceptual de que el comportamiento de un sistema depende de la estructura de las relaciones causa y efecto entre las partes, es decir son modelos causales. Identifican cómo la estructura y las políticas de decisión ayudan a generar patrones de comportamiento (Quadreat – Ullah & Seo Seong, 2009). Como se puede observar, la dinámica de sistemas está basada en la Teoría General de Sistemas, desarrollada por el biólogo Ludwig von Bertalanffy en el año de 1940 (Martin, 2003). El enfoque sistémico estudia principalmente las interacciones entre las partes, y entre éstas y su entorno.

La construcción exitosa del modelo depende del uso correcto de la lógica sistémica, la cual comprende un enfoque de análisis global donde el comportamiento de cada elemento depende de su interacción con el resto, ya que se debe tener en mente que el comportamiento de un sistema en su conjunto es diferente al comportamiento aislado de cada uno de los elementos que lo componen. El desempeño de cada uno de dichos elementos está basado en un objetivo común del sistema, por lo que la interacción entre ellos será lo que conduzca hacia el objetivo planteado (Cedillo & Sánchez, 2008). Por lo general, la salida de un sistema reacciona sobre su entrada a través de un bucle de retroalimentación que provoca un proceso no lineal (Martin, 2003).

“Uno no puede intervenir en una parte de un sistema complejo desde el exterior sin el probable riesgo de generar eventos desastrosos que uno no habría contemplado en otras partes remotas. Si uno quiere arreglar algo, primero se debe ver obligado a entender... el sistema como un todo...” (Sterman, 2000).

2.2.4.2 Características y estructura de la técnica

El objetivo de la Dinámica de Sistemas es comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del propio sistema. Lo que lleva a incrementar el conocimiento sobre el papel de cada elemento del sistema y ver cómo diferentes acciones, efectuadas sobre las partes del mismo acentúan o atenúan las tendencias de comportamiento implícitas en dicho sistema.

Una característica importante de esta disciplina, es que no pretende predecir a detalle el comportamiento futuro. En realidad busca estudiar el sistema, a través del ensayo de diferentes políticas sobre el modelo realizado, por medio de un proceso abductivo en el que a través de idas y regresos entre la teoría y la práctica se logra construir la problemática, y al mismo tiempo, mientras se lleva a cabo la recolección de datos, se buscan y desarrollan los fundamentos teóricos de la investigación (Cedillo & Sánchez, 2008).

Otra característica a considerar es su enfoque a largo plazo, en donde el periodo de tiempo analizado sea lo suficientemente amplio como para poder identificar todos los aspectos significativos de la evolución del sistema. Es útil conocer las consecuencias globales que a largo plazo podrían llegar a tener las decisiones tomadas en el momento actual, lo cual se puede lograr por medio de un modelo apropiado. La evolución del modelo a largo plazo únicamente será comprendida si se logran identificar los principales motivos de cambios a través de una correcta selección de variables (Martin, 2003).

La complejidad de las problemáticas abordadas con esta herramienta se conoce como “complejidad dinámica”, la cual hace referencia a los diferentes tipos de relación que pueden establecerse entre los elementos y la sensibilidad que cada uno de esos elementos tiene a la interacción, así como su propia evolución a lo largo del tiempo. A partir de esto es que surgen dos niveles diferentes de estudio, el primero es conocido como micro nivel en donde sólo existe un interés por las relaciones causa y efecto, mientras que el segundo se le conoce como macro nivel en donde se estudian las relaciones entre los subsistemas elementales. Cabe mencionar que en los sistemas complejos existe una estructura de retroalimentación, con lo cual las relaciones causa-efecto no necesariamente son unidimensionales (Martin, 2003).

Un sistema complejo está en desequilibrio y evoluciona, lo que implica que la mayoría de las acciones tomadas pueden tener consecuencias irreversibles. La existencia de múltiples interacciones significa que es difícil mantener constantes otros aspectos del sistema, de tal manera que se pueda aislar el efecto de la variable de interés. Se debe tener sumo cuidado en la interpretación de las relaciones, ya que por lo general los modelos mentales que utiliza la gente para la toma de decisiones son deficientes desde el aspecto dinámico por la interpretación errónea de la retroalimentación del sistema. Es por ello que la mayoría de las herramientas de la dinámica de sistemas están diseñadas para desarrollar modelos útiles, fiables y efectivos para funcionar como mundos virtuales para el apoyo del aprendizaje y el diseño de políticas (Sterman, 2000).

La retroalimentación nos dicta que los resultados de nuestras acciones definen las situaciones con las que nos encontremos en el futuro, ya que la nueva situación va a alterar la evaluación

del problema y las decisiones que se tomen el día de mañana. Conforme las acciones realizadas alteren el estado del sistema, otros elementos reaccionarán para restaurar el balance, lo que ocasionará efectos secundarios. Sin embargo, en la realidad no existen efectos secundarios, únicamente efectos. Cuando se toman acciones, existen diversos tipos de efectos: aquellos que se consideraron desde un inicio o que son benéficos, o aquellos que no se esperan, logrando incluso dañar al sistema, a estos últimos se les conoce como efectos secundarios. Los efectos secundarios no son característicos de la realidad sino un indicativo de que el nivel de entendimiento del sistema es limitado o incluso tiene fallos (Sterman, 2000).

Considerando el nivel que se busque estudiar es que existen diferentes componentes para un modelo de dinámica de sistemas, los cuales a su vez tienen distintas características y la posibilidad de variar o no su valor cuantitativo. Los elementos cuyo valor varían en función del tiempo son conocidos como “variables”, mientras que aquellos cuyo valor no varía son conocidos como “tasa” o “parámetro”. Ambos elementos, variables o parámetros, pueden ser endógenos o exógenos (propios o ajenos al sistema).

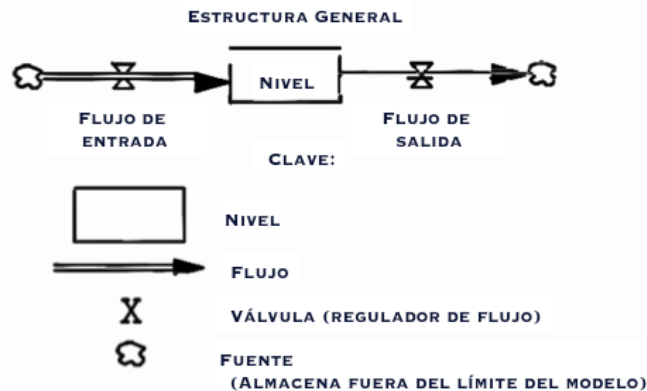


Figura 2.5 Variables del modelo de dinámica de sistemas

Fuente: Sterman, 2000

La lógica de la dinámica de sistemas se asocia a la hidrodinámica con lo que las variables de estado o nivel se les puede considerar como contenedores de flujo. La evolución del conjunto de este tipo de variables es importante para el estudio del sistema, ya que varían su nivel dependiendo de los flujos de entrada y salida. Las variables de flujo o transferencia son consideradas como válvulas que son capaces de controlar los flujos por unidad de tiempo. Las válvulas se abren en función de las tasas o parámetros; éstas pueden permanecer constante a lo largo de la simulación o pueden variar en función de las variables auxiliares. Las variables auxiliares pueden fluctuar con base en un componente estocástico o incluso pueden llegar a ser función de una tercera variable. Por último, existe otro componente llamado “retardo”, el cual tiene la capacidad de simular los retrasos de tiempo en la transmisión de materiales o incluso de información.

Al mismo tiempo, todos estos elementos están relacionados entre sí. Gran parte del arte de la modelación de dinámica de sistemas es el descubrir y representar los procesos de

retroalimentación existentes mediante bucles, los cuales representan una cadena cerrada de relaciones causales. La dinámica del sistema surge de la interacción de dos tipos de bucles: positivo (la relación refuerza) o negativo (la relación corrige). Los bucles positivos tienden a reforzar o intensificar lo que esté sucediendo en el sistema, todos ellos son procesos que generan su propio crecimiento. Los bucles negativos contrarrestan o se oponen al cambio, describen procesos que tienden a auto-limitarse, procesos que buscan equilibrio y balance (Sterman, 2000).

Los bucles son representados mediante flechas que van acompañadas por un signo (+ o -) que indican el tipo de influencia ejercida por una variable sobre la otra. El signo positivo representa un cambio en la variable origen de la flecha (A), que producirá un cambio en el mismo sentido de la variable destino (B) (Figura 2.6). Por otro lado, el signo negativo se da cuando un incremento en A ocasiona una disminución de B o viceversa, una disminución de A ocasiona un incremento en B (Figura 2.7). Los bucles llegan a ser positivos cuando el número de relaciones negativas es par, mientras que para un bucle negativo el número de relaciones negativas es impar. En la realidad los sistemas están conformados por ambos tipos de bucles, por lo que el comportamiento final dependerá del dominante en un momento determinado.



Figura 2.6 Flujo con influencia positiva



Figura 2.7 Flujo con influencia negativa

La dinámica de sistemas es una técnica flexible con un fuerte soporte metodológico, sin embargo para que el modelo pueda responder de manera rápida y eficaz requiere de cuatro factores:

1. Datos disponibles y confiables;
2. Pronósticos adecuados;
3. Cadena de suministro alineada con la estrategia de la empresa;
4. Planeación adecuada de los inventarios y precios.

Como se mencionó anteriormente, la simulación tiene la posibilidad de representar eventos discretos y continuos. En el caso de dinámica de sistemas, gracias a su flexibilidad, se pueden simular ambos eventos dependiendo de cómo estos se representen a través de las ecuaciones del modelo. En el caso de un modelo continuo, los flujos son divisibles de manera continua, lo cual implica que son unidades muy pequeñas. Por lo tanto, los flujos deberán ser descritos a través de ecuaciones que representen esta continuidad. En el caso de un evento discreto, las

ecuaciones representan un cierto número de elementos cuantificables cuyo total es una colección de estos elementos individuales (Sterman, 2000). Por ejemplo, si un modelo de dinámica de sistemas quiere representar el flujo de agua que se requiere para llenar una tina este evento sería continuo, ya que el agua deberá ser divisible continuamente y en cantidades muy pequeñas. Sin embargo, si se quiere representar el mismo sistema pero considerando un flujo en donde el agua sean cubos de hielo, éste sería discreto y las ecuaciones del modelo deberán cuantificar uno a uno los cubos de hielo de tal manera que al final se logre establecer el total de la colección de hielos necesarios para llenar una tina. La cualidad de poder representar modelos discretos es de suma importancia para una problemática como la que se aborda en la presente investigación.

La estructura sistémica de un proceso se puede lograr definir mediante cinco componentes:

1. Las entradas y salidas del proceso;
2. La naturaleza de los flujos del sistema;
3. La red de actividades y almacenamiento de los flujos del sistema;
4. Los recursos que permiten llevar a cabo las actividades;
5. La estructura de información que será la que permita tomar decisiones.

Una vez identificados los componentes antes mencionados, se logra adquirir una visión integral del sistema en su conjunto, y por otro lado, permite evaluar características importantes como la capacidad del sistema, el tiempo necesario para responder a las actividades necesarias y los niveles de congestión que se pueden generar en el proceso. Es importante mencionar que para lograr evaluar las medidas de desempeño antes mencionadas, es necesario apoyarse en paquetes de simulación de eventos discretos como Stella, Vensim, iThink y Powersim. Estos mismos paquetes pueden servir como herramientas de diseño y reingeniería, gracias a la capacidad que presentan para evaluar las medidas de desempeño del proceso cuando se llegan a alterar elementos del mismo.

2.2.4.3 Factores clave

Un sistema está conformado por una serie de elementos y sus relaciones, como se ha mencionado anteriormente, sin embargo existe una serie de factores clave a identificar que facilitarán lograr el objetivo deseado. El proceso de identificar dichos factores puede llegar a ser complicado por lo que Jay Forrester propone unas directrices a seguir (Martin, 2003):

1. Sin importar el problema en estudio, es necesario conocer el sistema por dentro, cómo toma las decisiones, cómo opera;
2. Por lo general, un pequeño cambio en una o más políticas puede solucionar fácil y definitivamente el problema;

3. Los factores clave suelen ser descartados o no relacionados con el problema que analizamos. Son raramente objeto de atención o discusión y cuando son identificados, es difícil creer que estén relacionados con el problema;
4. Si ocurre que un factor clave ha sido identificado previamente por alguien, no es extraño que se haya actuado sobre él en la dirección equivocada intensificando gravemente el problema.

Los modelos nos permiten realizar estudios de sensibilidad para identificar aquellos elementos del sistema que pueden influir decisivamente en su comportamiento, es decir, nos facilitan el identificar los factores clave.

2.2.4.4 Proceso de modelación

El proceso de modelación es la parte de mayor relevancia en el proceso de la investigación, ya que el modelo será una herramienta de soporte para el diseño del contrato de concesión. La modelación es un proceso que está en constante retroalimentación, no es una secuencia lineal de pasos. Lo que se aprende en el proceso de modelación puede servir como retroalimentación para alterar el entendimiento básico del problema. La metodología a seguir para el proceso de modelación en la presente investigación está conformada por la metodología de simulación propuesta por Flores de la Mota y Elizondo (2006) mostrada en la Figura 2.4, así como de los pasos para el proceso de modelación para dinámica de sistemas propuestos por Sterman (2000) mostrados en la Tabla 2.3.

Pasos	Descripción
1.-Articulación del problema (delimitación)	<ul style="list-style-type: none"> • Selección del tema; • Variables clave: principales variables y conceptos a considerar; • Horizonte de tiempo; • Definición del problema dinámico (marco de referencia): comportamiento histórico de los conceptos y variables clave.
2. Formulación de hipótesis dinámicas	<ul style="list-style-type: none"> • Generación inicial de hipótesis: teorías actuales del comportamiento del problema; • Enfoque endógeno: crear hipótesis que expliquen la dinámica como consecuencias endógenas de la estructura de retroalimentación; • Mapeo: desarrollar mapas de la estructura basado en las hipótesis iniciales, variables clave, marcos de referencia y otros datos disponibles.
3. Formulación de un modelo de simulación	<ul style="list-style-type: none"> • Especificación: estructura, reglas de decisión; • Estimación: parámetros, relaciones de comportamiento y condiciones iniciales; • Pruebas: para la consistencia con el propósito y límites.
4. Pruebas	<ul style="list-style-type: none"> • Comparación con marco de referencia: el modelo representa el comportamiento del problema de manera adecuada?; • Robustez bajo condiciones extremas: el modelo se comporta de manera realista cuando se somete a condiciones extremas?; • Sensibilidad: cómo se comporta el modelo bajo incertidumbre en parámetros, condiciones iniciales, límites del modelo y agregación?.
5. Diseño de políticas y evaluación	<ul style="list-style-type: none"> • Especificación de escenario: que condiciones ambientales pueden llegar a surgir?; • Diseño de políticas: qué reglas de decisión, estrategias y estructura será probado en el mundo real? Cómo se pueden representar en el modelo?; • Análisis “What if” (qué pasa si): cuáles son los efectos de las políticas?; • Análisis de sensibilidad: qué tan robustas son las recomendaciones de las políticas bajo diferentes escenarios y bajo ciertas incertidumbre?; • Interacción de las políticas: interactúan las políticas? Existen sinergias o respuestas compensatorias?

Tabla 2.3 Pasos del proceso de modelación de dinámica de sistemas

Fuente: Sterman, 2000

A continuación se describe brevemente cada uno de los pasos de la modelación de dinámica de sistemas:

1. **Articulación del problema:** es el paso más importante para lograr un modelo exitoso. Todo modelo es una representación del sistema, un grupo de elementos funcionales interrelacionados que conforman un todo complejo, sin embargo el modelo debe dirigirse hacia un problema específico y debe simplificar en lugar de intentar reflejar el sistema completo a detalle. Por lo general, la caracterización inicial del problema se desarrolla a través de discusiones con los expertos, complementado con la búsqueda bibliográfica, recolección de datos, entrevistas y la observación directa. En este paso se deberá definir el horizonte de tiempo, así como las variables y conceptos importantes para el entendimiento del problema, así como el diseño de políticas para resolverlo;
2. **Formulación de hipótesis dinámicas:** las hipótesis deberán ser dinámicas, ya que tendrán la capacidad de explicar la dinámica que caracteriza el problema en

elementos de retroalimentación, así como la estructura del sistema en bloques y flujos. Una hipótesis dinámica es una teoría en proceso sobre cómo surgió el problema. Se debe tener en mente que definir los límites del modelo, dentro de los cuales se logren capturar los bucles de retroalimentación importantes, es de mayor relevancia que detallar las especificaciones individuales de los componentes. En este paso se puede recurrir al uso de herramientas gráficas como son el diagrama causal y los mapas de bloques y flujos. El diagrama causal ayuda a representar los bucles de retroalimentación del sistema en cualquier dominio, mientras que los mapas de bloques y flujo enfatizan la estructura física mostrando acumulaciones de material, dinero e información conforme se mueven a lo largo del sistema; los bloques incluyen inventarios, poblaciones, y cuentas financieras como deuda, valores en libros y efectivo, mientras que los flujos son las tasas en las que los bloques incrementan o disminuyen, caracterizan el estado del sistema y generan la información con la cual se tomarán las decisiones;

3. **Formulación de un modelo de simulación:** una vez que se tienen las hipótesis dinámicas, los límites del modelo y el modelo conceptual, se deben probar por medio de la simulación a manera de formalizar los primeros pasos;
4. **Pruebas:** una vez realizado el modelo de simulación se deberá probar comparando el comportamiento del modelo simulado con el comportamiento del sistema actual. Todas las ecuaciones del modelo deberán ser verificadas para comprobar su consistencia dimensional. El modelo deberá ser probado bajo condiciones extremas, ya que ésta es una herramienta crítica que ayuda a encontrar fallas en el modelo y a mejorar el entendimiento del problema;
5. **Diseño de políticas y evaluación:** el diseño de políticas incluye la creación de estrategias completamente nuevas, estructuras y reglas de decisión. Considerando que la estructura de retroalimentación del sistema determina su dinámica, la mayoría de las veces, las políticas de apalancamiento comprenden el cambio del bucle de retroalimentación dominante al rediseñar la estructura del bloque y su flujo, eliminando retrasos, cambiando el flujo y la calidad de la información disponible en el momento clave de la toma de decisiones o incluso reinventando los procesos de decisiones de los actores en el sistema.

Como se puede observar, ambas metodologías están alineadas de tal manera que la metodología de simulación se podrá reforzar con los pasos de modelación propuestos por Sterman (2000) con la finalidad de construir un modelo específico de dinámica de sistemas. Los modelos de simulación están conformados por los modelos mentales que uno genera y por la información que uno puede observar del mundo real. Las estrategias, estructuras y

reglas de decisión utilizadas en el mundo real se pueden representar y probar en el mundo virtual del modelo. Todo modelo es una representación de un sistema, un grupo de elementos interrelacionados conformando un todo complejo. Sin embargo, un modelo debe buscar la simplicidad más no intentar reflejar a detalle el sistema en su totalidad. El arte de construir un modelo es el saber qué elementos eliminar para que el propósito del modelo sea alcanzado.

Un modelo de dinámica de sistemas no nos va a arrojar un dato exacto con el cual la concesión a diseñar será exitosa. El modelo nos arrojará políticas generadas a través del comportamiento del sistema con las cuales se podrá diseñar una concesión exitosa. El diseño de políticas va más allá de una simple modificación en los valores de los parámetros.

La robustez de las políticas y su sensibilidad hacia la incertidumbre que se puede presentar en los parámetros del modelo y su estructura debe ser evaluada, así como su desempeño bajo un amplio rango de escenarios alternativos. La interacción de las diversas políticas debe ser considerada de igual manera, ya que en ocasiones éstas pueden interferir entre ellas mismas.

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo General

Desarrollar una herramienta que sirva para identificar y definir los elementos de mayor sensibilidad en una concesión de transporte público, de tal manera que se desarrollen políticas con las cuales establecer un contrato de concesión por prestación de servicios de transporte público en la Ciudad de México, utilizando un modelo de simulación de dinámica de sistemas que sirva como herramienta en la toma de decisiones y logre el mejor rendimiento tanto para el gobierno como para el privado, utilizando como caso de Estudio la Línea 1 del Metrobús.

2.3.1.1 *Objetivos Específicos*

1. Identificar si existen metodologías en México y otros países para determinar los elementos cuantitativos a establecer en el contrato de concesión del servicio de transporte público;
2. Determinar cómo se calculan los elementos cuantitativos que existen en los términos del contrato de la Línea 1 del Metrobús;
3. Determinar cómo se calculan los elementos cuantitativos de una concesión de transporte público en otros países;
4. Contrastar los elementos cuantitativos identificados a nivel mundial con aquellos de la Línea 1 del Metrobús;
5. Determinar mediante un análisis sistémico, los elementos a incluir en el sistema;
6. Desarrollar el modelo conceptual del sistema con los datos obtenidos para identificar las variables y los parámetros a considerar, así como las relaciones que existen entre sí;

7. Proponer un modelo de simulación que permita identificar los elementos cuantitativos más sensibles;
8. Desarrollar y verificar el modelo de simulación programado;
9. Validar y comparar el modelo de simulación, utilizando como caso de estudio la Línea 1 del Metrobús;
10. Crear una herramienta flexible que sirva como base para la negociación de futuras concesiones;
11. Desarrollar políticas de transporte para la definición de los elementos cuantitativos a establecer en un contrato de concesión por prestación de servicio de transporte público.

A continuación se presenta el árbol de objetivos:

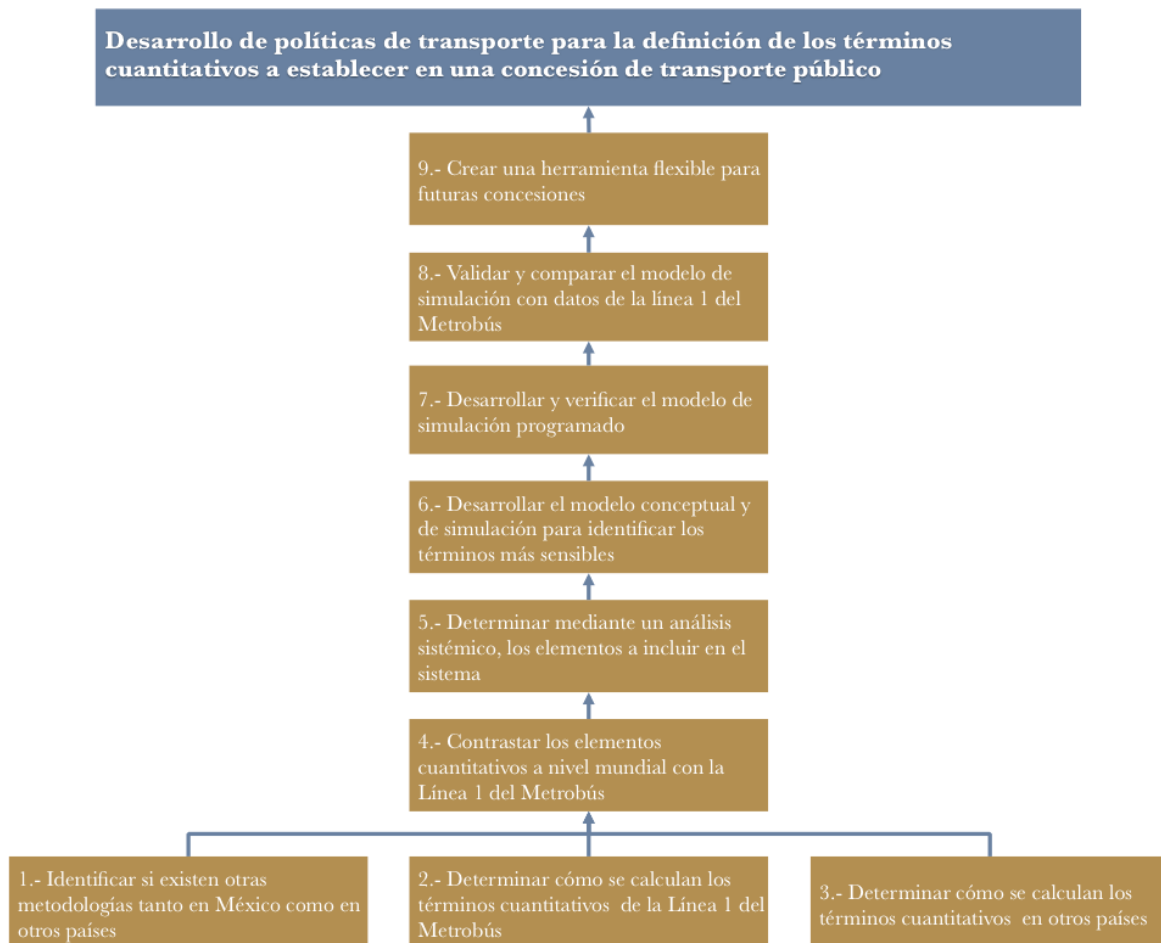


Figura 2.8 Árbol de Objetivos

2.4 Estrategia de Investigación

La investigación propuesta no se ha desarrollado anteriormente, por lo que se propone una estrategia de investigación específica que ayudará a responder las preguntas de investigación, así como a alcanzar los objetivos específicos. Como se ha mencionado anteriormente, el contexto de la investigación comprende aspectos tanto cualitativos como cuantitativos que deben ser tomados en cuenta, es por ello que la metodología utiliza herramientas suaves de la Investigación de Operaciones en su primera etapa, con la intención de poder comprender todos aquellos elementos cualitativos que componen el sistema. El resto de las etapas propuestas en la estrategia, utilizan herramientas duras de la Investigación de Operaciones con la finalidad de utilizar elementos cuantitativos para la resolución del problema propuesto.



Figura 2.9 Estrategia de Investigación

1. **Análisis sistémico:** El análisis sistémico propuesto en la estrategia de investigación conforma la parte cualitativa del estudio, ya que en esta etapa se utilizan herramientas suaves con las cuales se pretende comprender y definir el sistema a ser analizado a través del desarrollo de un modelo conceptual. Para ello, se sigue una metodología propuesta que está basada en la Metodología de Sistemas Suaves de Peter Checkland, así como la metodología desarrollada por Montevechi, Leal, Pinho, Costa, Oliveira y Silva (Montevechi et al., 2010) que está enfocada en modelos conceptuales específicos para desarrollar un modelo de simulación. La metodología que se propone en la presente investigación, busca generar como resultado final, un modelo conceptual con el cual se defina el sistema por medio de un diagrama de influencia, en donde se puedan identificar las variables, los parámetros y las relaciones que existen entre ellos de manera visual y concreta. El resultado final será el modelo conceptual que servirá como base de la investigación, mismo que servirá para desarrollar el modelo de simulación propuesto dentro de esta estrategia de investigación;

2. **Generación del modelo de simulación:** A partir de esta etapa de la estrategia, se emplean herramientas duras de la Investigación de Operaciones con la intención de generar los elementos cuantitativos que servirán para la resolución del problema planteado. Por lo anterior y dados los resultados de la revisión literaria del estado del arte, se propone el desarrollo de un modelo de simulación de dinámica de sistemas para la definición de políticas que determinen los elementos cuantitativos de la concesión siguiendo la metodología propuesta por Elizondo y Mota (Flores de la Mota & Elizondo, 2006), así como los pasos para el proceso de modelación para dinámica de sistemas propuestos por Sterman (2000) que servirán de complemento a la metodología de simulación para elaborar un modelo de dinámica de sistemas robusto. La primera fase de la metodología de simulación es el desarrollar un modelo conceptual de simulación utilizando un Diagrama de Bucles Causales en donde se identifiquen todos los elementos del sistema, así como las relaciones que puedan llegar a tener unos con otros. Al mismo tiempo, se define el tipo de relación que puedan tener, esto es, indicando el efecto que tiene una variable sobre otra, es decir, un efecto positivo o negativo;
3. **Recolección y análisis de datos:** La recolección y análisis de datos entra dentro de la segunda fase de la metodología de simulación, en esta etapa ya se tiene el sistema definido con el modelo conceptual y por lo tanto se pueden identificar los datos necesarios para el análisis. Conociendo los datos que serán necesarios recabar, se solicitan directamente a la gerencia operativa del Metrobús, de tal manera que la información que se utilice en el modelo sea de primera mano y por lo mismo sea confiable.

Una vez que se cuenten con los datos se procederá a depurarlos y analizarlos por medio de herramientas como la minería de datos, análisis de regresión lineal, entre otros, para cerciorarnos que sean los datos correctos y necesarios para la modelación. En algunos casos es necesario eliminar datos que muestren picos en el análisis, ya que estos picos nos podrían generar errores en el modelo. Por otro lado, es importante saber la correlación que existe entre ciertos datos, así como el comportamiento de los mismos para poder generar pronósticos certeros. El analizar los datos antes de utilizarlos es de suma importancia en el proceso de simulación, ya que de utilizar datos incorrectos en el modelo, el análisis de resultados será incorrecto aun cuando el modelo se haya construido apropiadamente;

4. **Verificación y Validación del modelo:** La verificación y validación del modelo es la tercera fase de la metodología de simulación y es de las fases críticas e iterativas, ya que el modelo se debe estar verificando constantemente a lo largo de su construcción. En el caso específico de la simulación de dinámica de sistemas, el modelo se desarrolla utilizando el software Vensim, el cual es una herramienta amigable y gratuita; la verificación de este tipo de modelos se puede llevar a cabo mediante una hoja de cálculo en donde se corrobore que las ecuaciones de cada variable del modelo realmente estén funcionando de manera correcta a lo largo del periodo de la simulación. Una vez verificado el modelo, éste se debe validar con los expertos de tal manera que corroboren que el modelo se asemeja a la realidad. La validación se realiza ante expertos del Metrobús a fin de lograr su aceptación y realizar las correcciones pertinentes, de tal manera que les sirva como herramienta en un futuro.

5. **Generación de resultados:** La generación de resultados es la cuarta fase de la metodología de simulación, en esta etapa el modelo verificado y validado se ejecuta en el software Vensim para generar toda la información del sistema. A partir de esta información generada es que se le puede dar solución al problema planteado, sin embargo hay que trabajar dicha información.
6. **Análisis de resultados:** El análisis de resultados es la quinta fase de la metodología de simulación, en ella se analizarán los resultados obtenidos a fin de evaluar los mejores escenarios y una vez identificados se les aplicará un análisis de sensibilidad con el cual determinar los elementos cuantitativos más sensibles, así como su comportamiento para poder establecer las políticas que servirán de base para la construcción de futuras concesiones.
7. **Documentación de la investigación:** La documentación de la investigación se irá realizando a lo largo de todo el estudio, ya que se pretende generar una documentación clara y concisa con la intención de su posible replica a futuro.

3 Desarrollo de la estrategia de investigación

En el presente capítulo se desarrolla paso a paso la estrategia de investigación generada para lograr responder las preguntas de investigación, así como cumplir con los objetivos planteados al inicio.

3.1 Análisis sistémico

El primer paso en toda investigación es obtener información que nos permita comprender el sistema sujeto de estudio, esto es, información contextual. Para ello se recabó información directamente del portal de Metrobús como minutas, contratos, entre otros, para poder comprender la estructura y evolución de la concesión de la línea 1 del Metrobús a lo largo de sus 10 años de operación. Por otro lado, la información recabada se contrastó directamente con el Gerente de Programación y Control Operativo, quien ha estado laborando en el organismo desde hace más de 10 años y quien a su vez presenció la puesta en marcha de la Línea 1. En el Anexo 2 se muestran las minutas referentes a las reuniones que se sostuvieron con el Gerente de Programación.

La información recabada nos muestra que hoy en día los elementos cuantitativos de una concesión no se han logrado analizar de manera sistémica, esto es, los factores clave empleados en la concesión de la Línea 1 del Metrobús han sido analizados de manera individual y sin considerar la relación que puedan tener unos con otros. Además, dichos elementos no se han establecido por medio de métodos cuantitativos, lo que al mismo tiempo ocasiona que no se haya logrado alcanzar un equilibrio financiero para que las partes involucradas en la concesión logren obtener una buena rentabilidad. Utilizando el ejemplo de la Línea 1 del Metrobús, se identifica que la falta de actualización en las tarifas otorgadas a los concesionarios por la prestación del servicio no se ha realizado de manera constante

acorde a los incrementos que se han ido presentando en los gastos de operación, como el incremento de diésel y el incremento del salario mínimo (Metrobús, 2012). La falta de actualización de la tarifa ha llevado a un desequilibrio financiero, que a su vez involucra otros factores clave de la concesión, perjudicando así al concesionario y como consecuencia, poniéndolo en riesgo financiero. Por otro lado, se ha identificado que el Jefe de Gobierno (Gobierno del Distrito Federal, 2014) es quien establece la tarifa al usuario, siendo éste un agente externo a la operación del día a día.

La falta de una actualización en la tarifa al concesionario afecta directamente a la operación del servicio, ya que el flujo de efectivo disminuye al haber incrementos en diversos rubros que constituyen el costo de la operación como: la gasolina, lubricantes, llantas, entre otros. En ese sentido, si la tarifa al concesionario no se actualiza conforme se van presentando estos incrementos, el concesionario tendrá que absorber los gastos extra, hasta que su tarifa se actualice, lo que lo pone en riesgo de pérdidas. Por otro lado, el hecho de que la tarifa al usuario sea establecida por un agente externo a la operación crea la posibilidad de que en el análisis no se consideren los factores clave necesarios para lograr obtener un equilibrio financiero entre las partes involucradas.

Por lo anterior, la presente investigación propone un análisis sistémico de los elementos cuantitativos para establecer una concesión de tal manera que como resultado final se arroje un modelo conceptual sobre el cual trabajar a lo largo de la investigación. Montevechi *et al.* (2010) mencionan que la definición del modelo conceptual es una parte clave de la investigación, ya que éste puede incrementar la calidad de los modelos simulados, mientras que al mismo tiempo puede lograr una reducción en el tiempo necesario para la construcción de los modelos computacionales. Asimismo, el modelo conceptual puede guiar la etapa de la recolección de datos, de tal manera que se busquen únicamente aquellos datos que sean necesarios para el modelo. El análisis sistémico estará apoyado en técnicas Suaves de la Investigación de Operaciones (SOR), así como la Metodología de Sistemas Suaves (MSS) y los Diagramas de Influencia con los cuales se pretende identificar los componentes clave del sistema y las relaciones que existen entre sí mismos para con ellos definir los conceptos básicos que conforman dicho sistema y generar el modelo conceptual.

La MSS consta de 7 pasos (Berge & Dahl, 2011), sin embargo hoy en día se ha vuelto una metodología flexible y por lo mismo no rigurosa en el sentido de que su uso no requiere del estricto cumplimiento de los 7 pasos del proceso. En esta investigación se adoptará una metodología conjunta, por una parte algunos de los pasos propuestos por Peter Checkland en MSS y por otro lado una metodología desarrollada por Montevechi, Leal, Pinho, Costa, Oliveira y Silva (Montevechi *et al.*, 2010) en donde definen la manera en la que se debe desarrollar un modelo conceptual que servirá como base para el desarrollo de un modelo de simulación. La metodología propuesta en esta investigación se muestra a continuación, en la Figura 3.1:

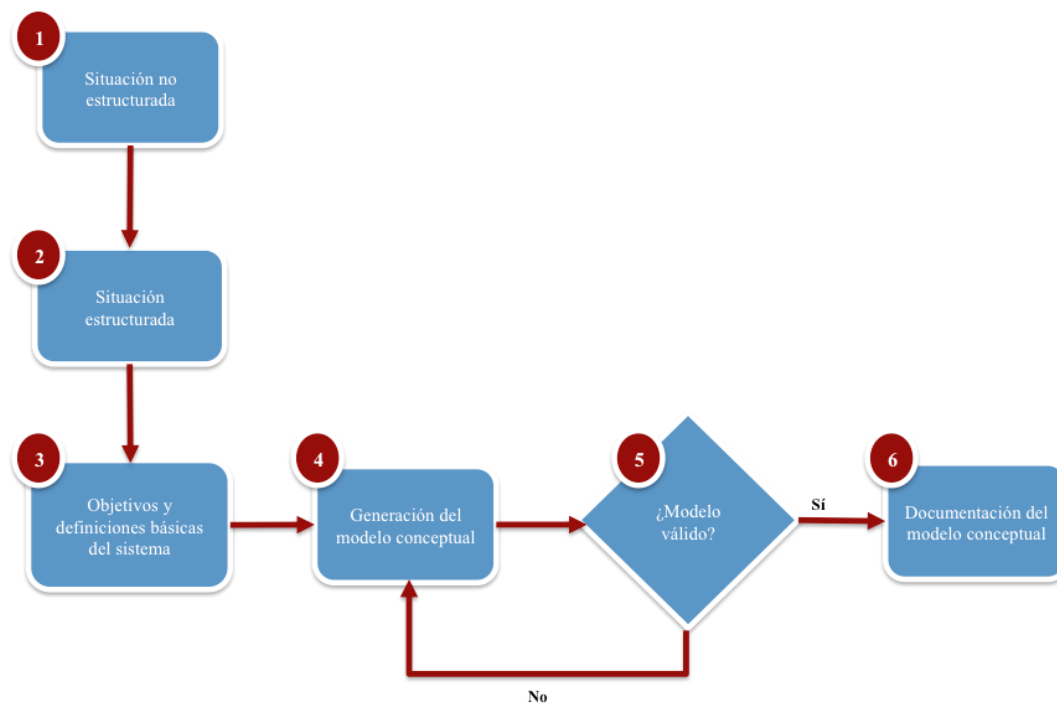


Figura 3.1 Metodología propuesta para el Análisis Sistemático

Fuente: Elaboración propia con base en la MSS de Peter Checkland.

1. **Situación no estructurada:** este paso se desarrolla con la revisión de fuentes que se encuentran disponibles para el público en general por parte de Metrobús en su portal de internet. En el portal se encuentra una serie de documentación con la que se logra tener una idea general del sistema Metrobús y la evolución que ha tenido a lo largo de sus 10 años de operación;
2. **Situación estructurada:** se logra al tener un acercamiento con los expertos en el tema, esto es, con personal de Metrobús que cuenta con más de 10 años de experiencia y quienes estuvieron presente en la consolidación y puesta en marcha de la Línea 1 del Metrobús. La información encontrada en la revisión literaria se contrasta con la experiencia del personal para lograr conceptualizar y entender el sistema;
3. **Objetivos y definiciones básicas del sistema:** al lograr una situación estructurada, se logran definir los objetivos concretos del modelo conceptual, así como los conceptos básicos que conformarán dicho modelo.
 - a. **Objetivos concretos del modelo conceptual:** una vez identificados los elementos clave que conforman el sistema, éste es analizado, de tal manera que se logre identificar las relaciones existentes entre los elementos

involucrados, para que con ello se desarrolle el modelo conceptual que servirá de base en la presente investigación;

- b. **Definiciones básicas del sistema:** las definiciones describen cada uno de los conceptos que se utilizarán en el modelo conceptual y a lo largo de la presente investigación.

4. **Generación del modelo conceptual:** el modelo conceptual que se logra generar a partir de los pasos anteriores se representa gráficamente en la Figura 3.2 con el apoyo de otra metodología suave de la Investigación de Operaciones que es el Diagrama de Influencia. Este diagrama se convierte en una herramienta visual para poder observar con mayor claridad los elementos que conforman el sistema en cuestión, así como las relaciones que existen entre cada uno de ellos. Al mismo tiempo, nos permite visualizar de manera inmediata los elementos que se tomarán como variables y aquellos que se tomarán como parámetros al momento de generar el modelo de simulación; al mismo tiempo, se incluyen en los recuadros rojos de la Figura 3.2, los elementos cuantitativos tentativos que se han identificado en la revisión bibliográfica. A manera de identificar el propósito de las variables, el diagrama se divide en 3 subsistemas: Ingreso, Financiamiento y Operación. En el subsistema de Ingreso, se muestran todas aquellas variables que están relacionadas directamente con la generación del ingreso del sistema. Es decir, la demanda es la fuente de ingresos del sistema, ya que la demanda debe pagar la tarifa al usuario para poder utilizar el servicio y es a través de esta tarifa que se le logra pagar al concesionario por el costo de operación en el que incurre. El subsistema de financiamiento considera las variables necesarias para calcular el monto total que las agencias automotrices estarán financiando para la compra de los autobuses requeridos por la operación. El subsistema de Operación considera las variables que conforman el costo total que genera la operación de las unidades por haber recorrido un cierto kilometraje.

	Elemento	Definición
Variables	Demanda	Personas que utilizan el servicio de transporte público; está compuesta por dos sectores: <ul style="list-style-type: none"> • Adultos mayores de 65 años, quienes no pagan por el servicio recibido • Personas menores a 65 años, quienes sí pagan por el servicio recibido
	Ingresos	Remuneración económica recibida por el servicio otorgado
	Utilidad	Los ingresos recibidos por la tarifa al usuario menos el costo de operación
	Inflación	Fluctuación de la inflación a lo largo de la concesión
	Diesel	Fluctuación en el precio del diesel a lo largo de la concesión
Parámetros	Financiamiento de autobuses	El plazo de financiamiento de los autobuses se fija en 5 años
	Vida útil de los autobuses	Se considera que la vida útil de los autobuses es de 10 años
	Cuota de concesionario	La cuota que recibirá el concesionario se fijará en un monto de pesos por kilómetro recorrido (\$/km) considerando el costo de operación más una utilidad
	Salario mínimo	Se fijará utilizando un promedio basado en un análisis histórico
	Recorrido por autobús	El recorrido anual que realiza un autobús
	Costo de operación	Costos de operación cuya fluctuación en el tiempo no es significativa para el análisis (lubricantes, aditivos, patio, entre otros)
Supuestos	Reposición de flota	La flotilla se cambiará por completo a los 10 años
Entorno	Aspecto político	El aspecto político se refiere a la influencia directa del gobierno en curso, ya que el Jefe de Gobierno es quien decide la tarifa al usuario
	Subsidio del gobierno	El gobierno es el responsable de otorgar el subsidio correspondiente a la diferencia que exista entre la tarifa al usuario y el costo real del servicio a través del pago de la operación de los autobuses de RTP
	Publicidad en estaciones	El gobierno puede generar ingresos adicionales por medio del arrendamiento de espacios publicitarios en las estaciones del servicio de transporte público
	Publicidad en autobuses	El concesionario puede generar ingresos adicionales por medio del arrendamiento de espacios publicitarios en sus autobuses

Tabla 3.1 Definiciones básicas del sistema

Fuente: Elaboración propia.

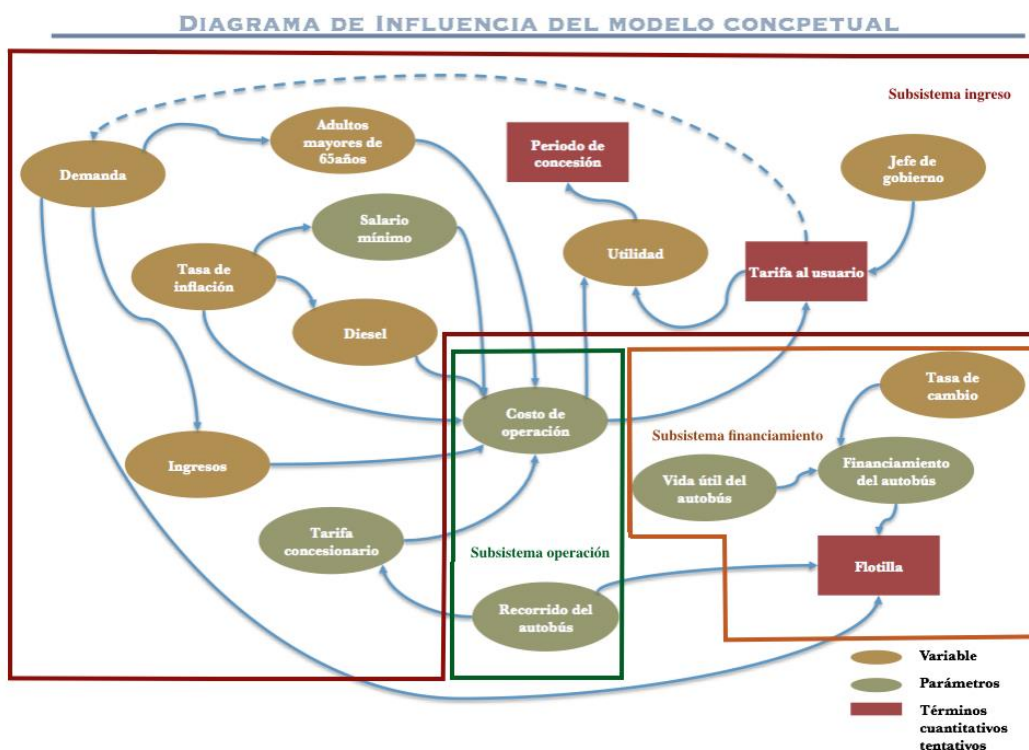


Figura 3.2 Diagrama de Influencia del Modelo Conceptual del sistema Metrobús

Fuente: Elaboración propia.

5. **Validación del modelo conceptual:** el modelo presentado anteriormente, se llevó a validación con el personal de Metrobús, quienes sugirieron como único cambio el incluir la vida útil del autobús, ya que este parámetro genera un incremento en la utilidad del concesionario. Dicho cambio fue realizado y se puede observar en la Figura 3.2;
6. **Documentación del modelo conceptual:** una vez validado el modelo por los expertos, se documentó y servirá como base de la investigación, especialmente para facilitar el desarrollo del modelo de simulación.

Cabe mencionar que el sistema que se muestra en el paso 4 es un subsistema del sistema global de transporte público de la Ciudad de México, el cual a su vez convive con otros sistemas. Al mismo tiempo, cada elemento del sistema propuesto se podría analizar como un subsistema, sin embargo, en la presente investigación se tomará como único sistema el que se muestra en la Figura 3.2, analizando sus componentes como elementos únicos en un sistema cerrado.

3.2 Generación del modelo de simulación

El sistema de estudio es un sistema dinámico que presenta una gran diversidad de variables aleatorias, algunas de ellas con incertidumbre e interrelaciones no lineales cuyo comportamiento se debe analizar a lo largo de un cierto periodo de tiempo. Por ello, se considera que la mejor herramienta de la Investigación de Operaciones a emplear es la simulación de dinámica de sistemas. Este enfoque de simulación nos permite analizar bucles de retroalimentación, variables, niveles y retrasos que pueden llegar a afectar el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo.

A fin de generar un modelo de manera estructurada, se propone el uso de la metodología de simulación desarrollada por Elizondo y Flores de la Mota (2006), la cual se puede observar en la Figura 2.3 del Capítulo 2 referente al Marco teórico. Considerando que la metodología antes mencionada es utilizada de manera general para cualquier técnica de simulación, se propone como complemento los pasos definidos específicamente para la modelación de dinámica de sistemas propuesta por Sterman (2000), los cuales se pueden observar en la Tabla 2.4 del Capítulo 2 referente al Marco teórico.

3.2.1 Formulación del problema

El primer paso, tanto de la metodología de simulación como de la modelación de dinámica de sistemas, consiste en formular el problema. Para ello, se realiza una revisión bibliográfica que posteriormente se contrasta con la información proporcionada por los expertos, de tal manera que se logre definir el problema concreto a ser abordado, así como la conceptualización global del sistema.

La elaboración de una concesión es un acto político que lo convierte en un problema complejo en donde se ven involucrados elementos intangibles (p.ej. sociales, culturales, políticos, entre otros) que difícilmente pueden ser tomados en cuenta dentro de un análisis cuantitativo. A pesar de ello, se propone el uso de un modelo de simulación de dinámica de sistemas que servirá como base y apoyo para quien toma las decisiones, de tal manera que su intuición y criterio estén fundamentados matemáticamente y dirigidos hacia un objetivo común: la búsqueda de un equilibrio financiero entre las partes involucradas. Por equilibrio financiero nos referimos a que el proyecto sea rentable económicamente, de tal manera que se generen los suficientes ingresos para cubrir los costos e incluso exista un remanente de utilidad. Por lo anterior, la intención del modelo será brindar robustez y transparencia a las inferencias, suposiciones y decisiones que de él se puedan generar.

Analizando la concesión establecida para la Línea 1 del Metrobús, así como los factores clave a considerar para lograr un equilibrio financiero, en un contrato de concesión, se identifica que es necesario analizar el comportamiento del sistema de tal manera que se puedan identificar los elementos más sensibles de la concesión y con ellos definir políticas de transporte bajo un escenario equilibrado para las partes involucradas, es decir, buscando que la concesión sea rentable tanto para el concesionario, como para el gobierno ofreciendo a los usuarios un servicio de calidad.

Al día de hoy podemos considerar el caso específico de la tarifa al usuario definida para la Línea 1 del Metrobús, en donde un agente externo, el Jefe de Gobierno en curso, es quien toma la decisión sobre qué monto establecer. Por lo anterior, podemos notar que en la actualidad no se cuenta con una base cuantitativa que le permita al gobierno decidir y negociar con mayor certeza, por lo que se propone el uso de herramientas de la Investigación de Operaciones con las que se pretende diseñar un modelo de simulación de dinámica de sistemas que permita analizar de manera sistémica, los elementos y relaciones involucrados en una concesión, con la finalidad de identificar las variables críticas y con ellas generar políticas que sirvan de base para el desarrollo de un contrato de concesión equilibrado para las partes involucradas.

3.2.1.1 *Objetivo general de la simulación*

Se pretende analizar el comportamiento del sistema de tal manera que se puedan identificar las variables críticas con la finalidad de lograr un equilibrio en el sistema y definir políticas que sirvan de base para la definición de un contrato de concesión por prestación de servicio de transporte público en la Ciudad de México buscando el mejor rendimiento tanto para el gobierno como para el privado ofreciendo un servicio que satisfaga la demanda; utilizando un modelo de simulación de dinámica de sistemas que sirva como herramienta en la toma de decisiones, empleando como caso de Estudio la Línea 1 del Metrobús.

3.2.2 *Conceptualización del sistema*

La conceptualización del sistema es el segundo paso de la metodología de simulación en donde se desarrolla el modelo conceptual, al mismo tiempo, forma parte del segundo paso de la modelación de dinámica de sistemas *Formulación de hipótesis dinámicas*. Sterman (2000), sugiere en este paso el apoyo de herramientas gráficas como el uso de Diagramas de Bucles Causales (CLD por sus siglas en inglés *Causal Loop Diagram*); este diagrama nos permite construir el modelo conceptual con una ligera variante que es el incluir las relaciones que existen entre las variables del sistema para determinar los bucles que lo conforman. Un CLD es una herramienta que nos ayuda a representar la estructura de retroalimentación del sistema. Las polaridades de cada uno de los bucles del sistema definen la estructura del sistema como tal, mas no describen el comportamiento de las variables. Es decir, describen *qué pasaría si* hubiera un cambio.

Actualmente, la literatura de dinámica de sistemas nos muestra la existencia de arquetipos, los cuales son situaciones comunes que se pueden encontrar en diferentes tipos de aplicaciones con trampas y soluciones típicas. Existe una gama de diagramas de dichos arquetipos en donde se busca representar la esencia de estas situaciones arquetípicas. Se puede observar una semejanza entre los CLD's y los diagramas de arquetipos, sin embargo no son lo mismo, ya que los diagramas de arquetipos muestran únicamente el mecanismo del arquetipo aislado, es decir, no tiene el nivel de detalle que un CLD puede llegar a tener. Senge (Pruyt, 2013) logra clasificar 9 arquetipos para dinámica de sistemas, de los cuales

“escalation” o escalamiento es el que mejor representa la esencia del problema abordado en la presente investigación. El arquetipo de escalamiento está relacionado a aquellas situaciones en las que dos o más partes buscan ventajas sobre la(s) otra(s) parte(s), lo que resulta en un escalamiento; en la Figura 3.3 podemos observar un ejemplo de este arquetipo, así como el comportamiento esperado (Gráfico 3.1) que pudiera presentar el modelo de simulación.

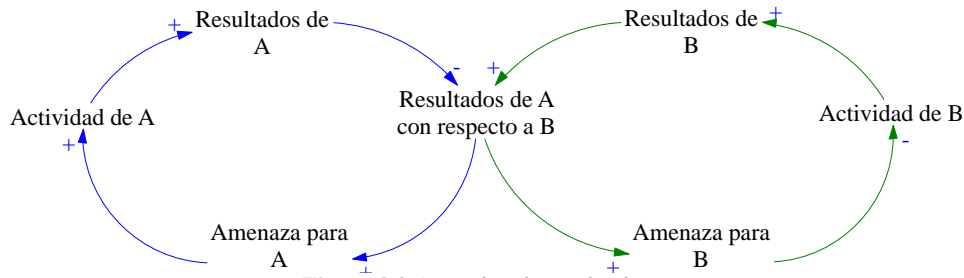


Figura 3.3 Arquetipo de escalamiento

Fuente: (Pruyt, 2013)

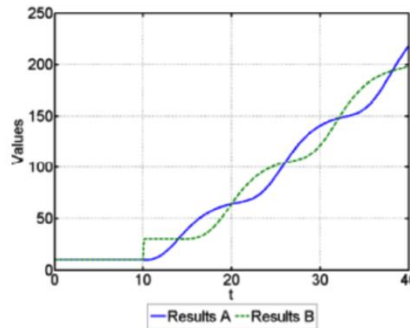


Gráfico 3.1 Posible comportamiento del arquetipo de escalamiento

Fuente: (Pruyt, 2013)

Al utilizar como caso de estudio la concesión por prestación de servicio establecida como Metrobús Línea 1, se construye el modelo conceptual de simulación considerando el sistema previamente definido en la sección 1.4 *Antecedentes del caso de estudio: Línea 1 del Metrobús*, lo cual quedó plasmado en el primer modelo conceptual que se realizó (Figura 3.4). A partir del sistema de la Figura 3.4, se utiliza como base el arquetipo de escalamiento para generar el diagrama final, mismo que se puede observar en la Figura 3.5.

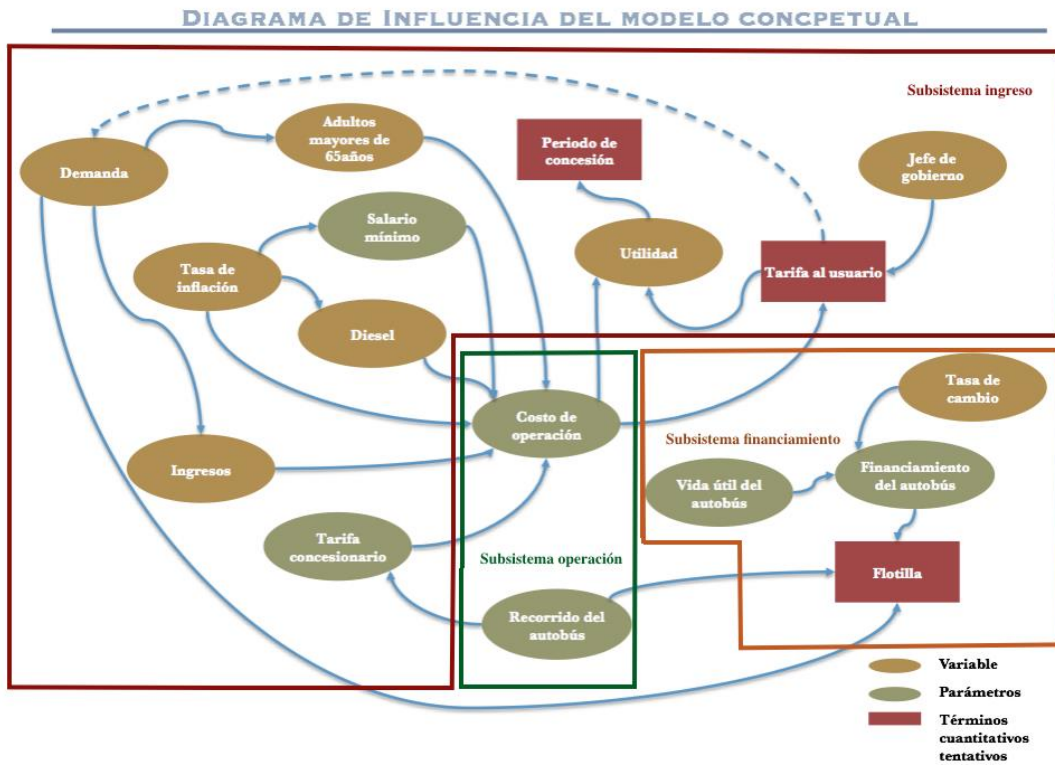


Figura 3.4 Diagrama de Influencia del Modelo Conceptual del sistema Metrobús

Fuente: Elaboración propia.

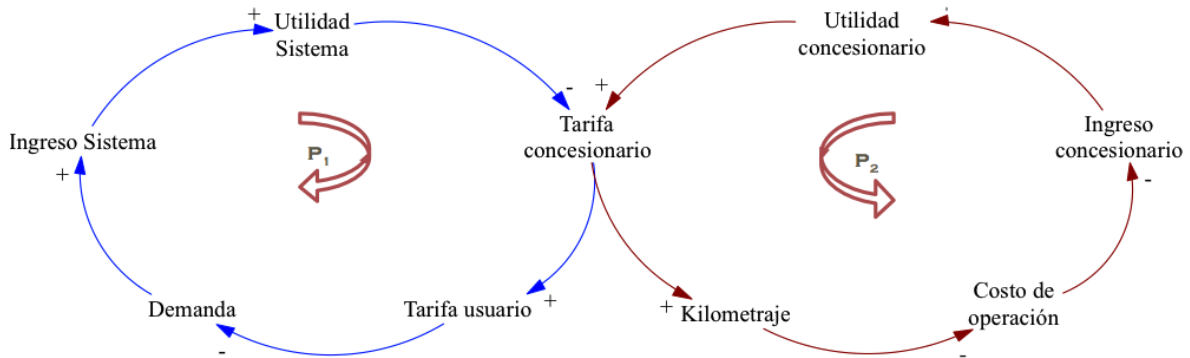


Figura 3.5 Diagrama de arquetipo de escalamiento con bucles individuales

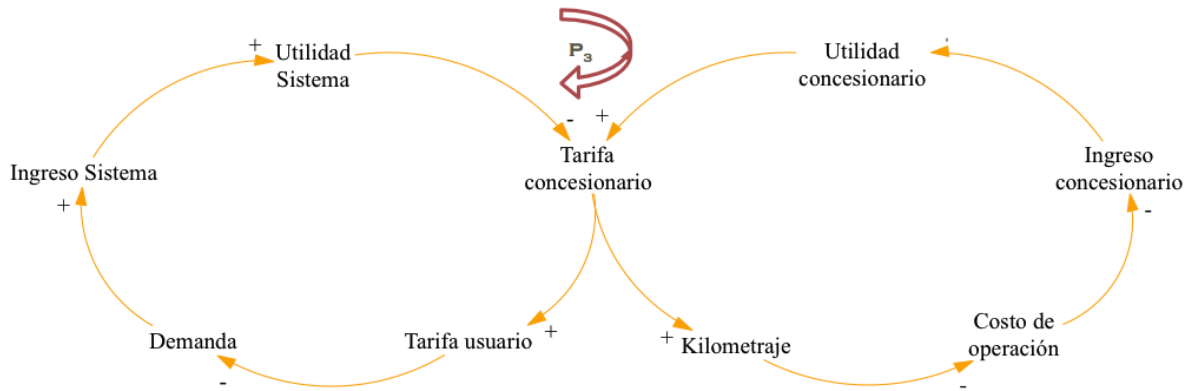


Figura 3.6 Diagrama de escalamiento con bucle general

Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de arquetipo del sistema nos arroja tres bucles:

1. P_1 es el bucle conformado por las flechas en azul que corresponde a las variables: utilidad sistema, tarifa concesionario, tarifa usuario, demanda e ingreso sistema; como se puede observar, es un bucle positivo, lo que significa que si una de estas variables incrementa, la otra deberá incrementar de igual manera, lo mismo en el caso contrario, si alguna de estas variables decrece, la otra decrecerá de igual manera;
2. P_2 es el bucle conformado por las flechas en color vino que corresponde a las variables: utilidad concesionario, ingreso concesionario, costo de operación, kilometraje y tarifa al concesionario; como se puede observar es un bucle positivo lo que significa que se comportará de la misma manera que el bucle anterior;
3. P_3 el tercer bucle está conformado por todo el sistema como se muestra en la Figura 3.6, empezando por la utilidad sistema, tarifa concesionario, kilometraje, costo de operación, ingreso concesionario, utilidad concesionario, tarifa concesionario, tarifa usuario, demanda, ingreso sistema; como podemos observar el bucle que se forma es positivo lo que significa que el sistema siempre estará tratando de encontrar su balance.

Posterior al desarrollo del diagrama de escalamiento, se genera el modelo detallado de cajas y flujos con el cual se realizará la simulación en el software Vensim (Figura 3.7).

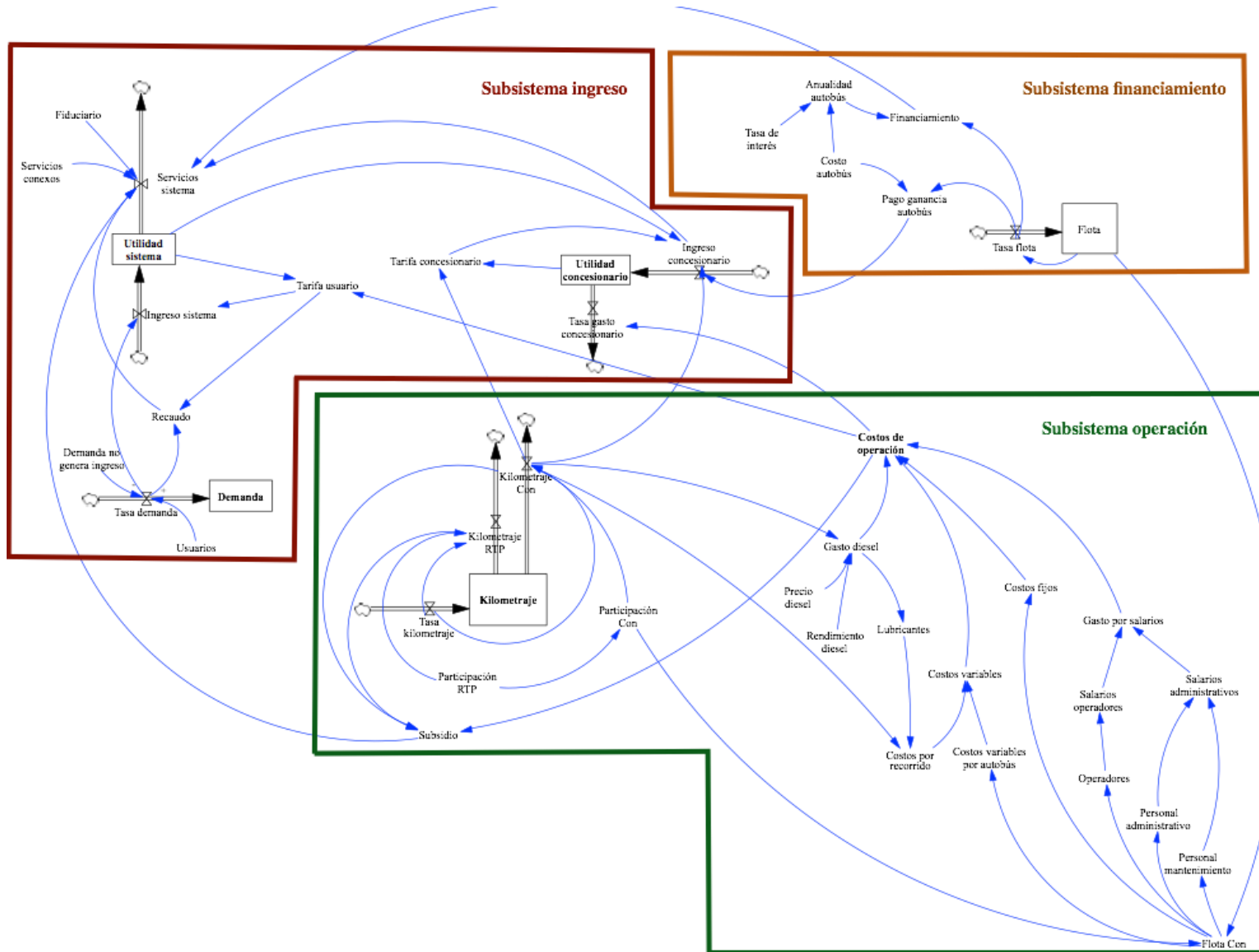


Figura 3.7 Modelo detallado de simulación de Dinámica de Sistemas

3.2.2.1 Definición de los elementos del sistema

- i. **Usuarios:** Variable aleatoria que representa el número de pasajeros que entran al sistema;
- ii. **Demanda no genera ingreso:** Porcentaje de personas que no pagan por utilizar el servicio (adultos mayores de 65 años y discapacitados);
- iii. **Demanda:** Personas que entran al sistema y pagan por el servicio (usuarios del servicio);
- iv. **Tarifa al usuario:** Valor económico que el usuario del sistema debe pagar por recibir el servicio;
- v. **Ingreso sistema:** Remuneración económica del sistema, generada por el pago de la tarifa al usuario de aquellas personas que sí pagan por utilizar el servicio, ya que los discapacitados y adultos mayores de 65 años no pagan la tarifa aun cuando sí utilizan el servicio;
- vi. **Tarifa concesionario:** Pago al privado por el servicio brindado en función de los kilómetros recorridos (\$/km);
- vii. **Ingreso concesionario:** Remuneración económica total recibida (tarifa concesionario) por kilómetro recorrido;
- viii. **Kilometraje:** Número de kilómetros recorridos por autobús en un cierto periodo de tiempo;
- ix. **Kilometraje Con:** Kilometraje asignado al concesionario;
- x. **Kilometraje RTP:** Kilometraje asignado a RTP como subsidio al sistema;
- xi. **Flota:** Número de autobuses en operación dentro de cierto periodo de tiempo;
- xii. **Flota Con:** Número de autobuses cuyos dueños son los concesionarios;
- xiii. **Costo de operación:** Costos en los que incurre el concesionario por la operación de los autobuses;
- xiv. **Gasto por salarios:** Monto total por el pago de salarios correspondiente a los operadores y administrativos;
- xv. **Precio Diésel:** Precio por litro de diésel;
- xvi. **Rendimiento diésel:** Kilómetros recorridos por litro de diésel;
- xvii. **Gasto diésel:** Costo generado por consumo de diésel en función de los kilómetros recorridos;
- xviii. **Costos fijos:** Gastos por servicios como luz, vigilancia, limpieza, entre otros;
- xix. **Costos variables:** Costos generados en función de la flota y kilómetros recorridos;
- xx. **Financiamiento:** Pago del financiamiento por la flota adquirida en cierto periodo de tiempo;
- xxi. **Tasa de interés:** Interés generado por el financiamiento de los autobuses;
- xxii. **Pago ganancia autobús:** Metrobús otorga una compensación del 50% del costo del autobús al término del pago del financiamiento con motivo de reserva para la renovación de la flota a futuro;
- xxiii. **Subsidio:** Apoyo económico por parte del gobierno a través del subsidio de los costos de operación de RTP;
- xxiv. **Servicios conexos:** Pago de luz, limpieza, vigilancia, entre otros, de las estaciones del Metrobús;

- xxv. **Recaudo:** Pago por el servicio de recaudo³;
- xxvi. **Fiduciario:** Cuota fija que se le paga al banco por el manejo del fideicomiso;
- xxvii. **Servicios sistema:** Suma de todos los egresos del sistema: Servicios conexos, recaudo, fiduciario, financiamiento de autobuses, subsidio y pago al concesionario;
- xxviii. **Utilidad sistema:** Ganancias generadas por el sistema para el Metrobús;
- xxix. **Utilidad concesionario:** Utilidad generada para el privado.

3.3 Recolección de información y datos para la construcción del modelo conceptual

Una vez identificados los elementos del sistema a considerar dentro del modelo de simulación de dinámica de sistemas, se procede a la recopilación de los datos correspondientes a dichos elementos para la construcción del modelo. La intención del modelo es proyectar a 10 años el comportamiento de la concesión, por lo que con los datos obtenidos, se generaron pronósticos acorde al comportamiento de cada uno de ellos que servirán para alimentar al modelo.

El modelo que se presenta en esta investigación es considerado un modelo macroeconómico, ya que describe el comportamiento económico de una concesión de transporte público a nivel macro. Para ello se toman en cuenta ciertos aspectos teóricos referentes a modelos macroeconómicos de simulación. Pindyck & Rubinfeld (1991) mencionan que la precisión de los datos utilizados en el modelo es clave, ya que si las condiciones iniciales del pronóstico no son exactas, se podrían generar cambios en las políticas y por lo mismo un pronóstico inadecuado. En cuanto al periodo de la simulación, Pindyck & Rubinfeld (1991) establecen que el primer año se genera con los datos históricos, mismos que serán las condiciones iniciales de las variables endógenas. Por lo tanto, las series históricas empezando en el periodo T1 y terminando en T2 se utilizan como variables exógenas. Las variables endógenas no se vuelven a reiniciar, después del año 1 los valores de las variables endógenas se determinan por la solución de la simulación. Pindyck & Rubinfeld (1991) nos mencionan la importancia de utilizar el mismo periodo de datos obtenidos para la simulación, de tal manera que al cambiar valores de los parámetros o permitir que las variables de las políticas sigan diferentes patrones de tiempo, podemos examinar qué habría pasado como resultado de políticas alternativas. En este sentido, la simulación del modelo se llevará a cabo por 10 años que representa por un lado la cantidad de años que lleva operando la Línea 1 del Metrobús y por el otro lado el plazo del contrato de concesión, que es por 10 años.

A. Demanda

La recolección de datos para la estimación de la demanda se obtuvo directamente de la gerencia operativa de Metrobús. Los datos recabados corresponden a los años 2005-2015, sin embargo, del año 2005 al 2008 han sido descartados debido a que 2005 fue el año

³ El servicio de recaudo se refiere al servicio de recolección del dinero que se deposita en las máquinas en donde se hace la recarga de las tarjetas para el acceso al servicio. Esta actividad la realiza una empresa privada a quien se le tiene que pagar mensualmente.

correspondiente a la puesta en marcha del servicio y es hasta 2008 cuando inicia operaciones el tramo sur de la línea; es por ello por lo que estos tres años muestran un comportamiento distinto al resto de la información.

Para determinar la demanda, se analiza el comportamiento que se ha tenido en el sistema hasta el momento, tal como lo podemos observar en el Gráfico 3.2.

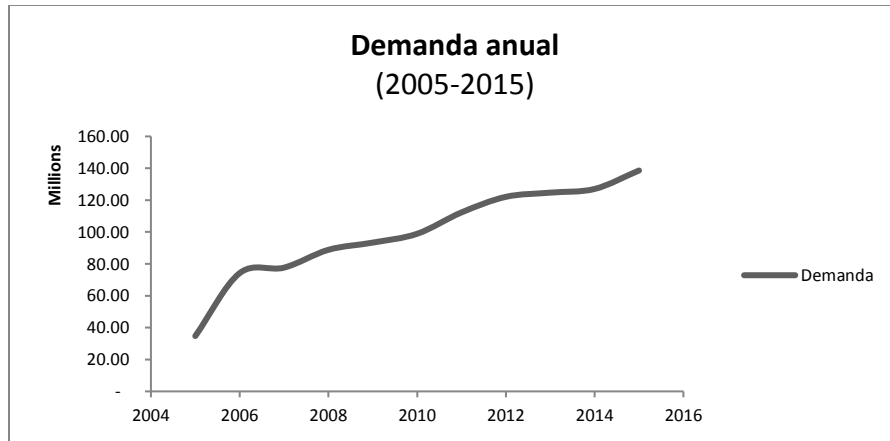


Gráfico 3.2 Comportamiento de la demanda Línea 1 Metrobús

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Metrobús

El Gráfico 3.2 muestra el comportamiento histórico del año 2005-2015 de la demanda correspondiente a la Línea 1 del Metrobús, el cual, como podemos observar sigue una tendencia lineal. Con la finalidad de introducir en el modelo una demanda aleatoria, se genera a partir de esta información histórica una distribución lineal con ayuda del software Statistica. El resultado arrojado por dicho software nos indica que la demanda sigue una distribución normal como se puede observar en el histograma de la Figura 3.8.

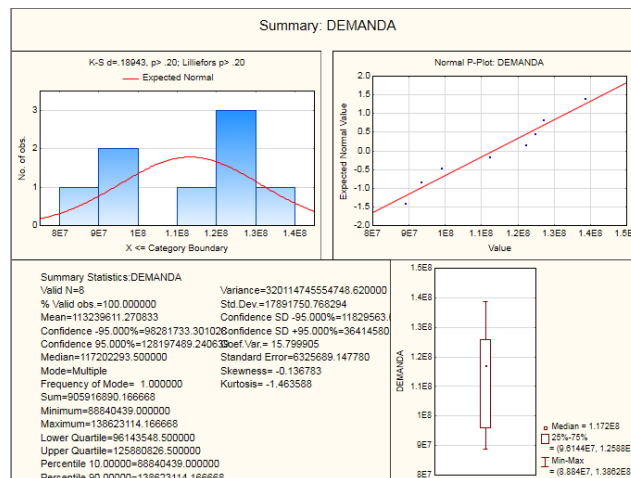


Figura 3.8 Resumen distribución normal de la demanda

Fuente: Software Statistica

Por otro lado, el comportamiento lineal nos indica que la demanda es inelástica, esto significa que a pesar del incremento que ha sufrido la tarifa al usuario a lo largo de los 10 años de operación, la demanda no se ha visto afectada. Al momento de realizar la operación para el cálculo de la elasticidad, ésta nos arroja un valor de 0.52, lo que implica que está por debajo de 1, lo que significa que la demanda es inelástica. Al ser una demanda inelástica no se considera este elemento en el modelo de simulación, ya que no implica un cambio para el sistema.

B. Tarifa usuario/ Tarifa concesionario:

Las variables tarifa usuario y tarifa concesionario son críticas en el modelo, por lo que no se querían establecer como parámetros, ya que éstas deben variar a lo largo de los años conforme evoluciona el sistema. La evolución del sistema, en cuanto a estas variables respecta, es la evolución en cuanto a la demanda y los kilómetros recorridos. Las tarifas al usuario y concesionario deberán absorber los cambios que genera el comportamiento del modelo al presentarse un incremento o decremento en la demanda, esto para el caso de la tarifa usuario, o incluso en los kilómetros recorridos para el caso de la tarifa concesionario. De esta manera, las tarifas se deberán ajustar en función de la evolución del sistema, de tal forma que se logre mantener un equilibrio financiero. Por equilibrio financiero, en el caso específico de la tarifa usuario, se debe considerar cuál debería ser el precio al público usuario si el sistema incrementa o disminuye su demanda, así como el impacto que esto tendría si el kilometraje aumentara o disminuyera, ya que los costos operativos sufrirían alteraciones. En el caso de la tarifa al concesionario, habría que considerar por una parte que la tarifa cubra los costos de operación permitiéndole al concesionario generar una ganancia, y por otro lado que esta ganancia no sea exponencial.

Las tarifas, al ser el precio con el que se generan los ingresos para las partes involucradas en el sistema, tienen una gran diversidad de variables relacionadas a ellas. En este sentido, era crucial identificar cuáles de estas variables eran las de mayor correlación para cada una de las tarifas, de tal manera que dichas tarifas se definieran en función de las variables correctas. Por ello, se recurrió a realizar un análisis de regresión múltiple con el cual se llevaron a cabo diversas pruebas para establecer la ecuación que arrojara el mejor resultado.

El análisis de regresión múltiple se llevó a cabo con el software Statsgraphics, mismo que tiene la posibilidad de realizar una serie de pruebas que nos permiten identificar aquellas variables cuya relación nos arrojen la mejor ecuación que describa esta relación. Para identificar la mejor ecuación, se llevaron a cabo varias pruebas con las diferentes variables con las que está relacionada cada una de las tarifas, hasta lograr los mejores resultados que se muestran a continuación:

Regresión Múltiple - Tarifa usuario

Variable dependiente: Tarifa usuario

Variabes independientes:

Utilidad sistema

Costos de operación

Número de observaciones: 10

Parámetro	Estimación	Error	Estadístico	Valor-P
		Estándar	T	
CONSTANTE	-0.121744	0.714436	-0.170406	0.8695
Utilidad sistema	-3.80155E-9	2.23715E-9	-1.69929	0.1331
Costos de operación	2.18738E-8	3.85326E-9	5.67671	0.0008

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	8.46843	2	4.23422	28.05	0.0005
Residuo	1.05657	7	0.150938		
Total (Corr.)	9.525	9			

R-cuadrada = 88.9074 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 85.7381 por ciento

Error estándar del est. = 0.388508

Error absoluto medio = 0.279291

Estadístico Durbin-Watson = 1.55097 (P=0.1127)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.0751833

Figura 3.9 Regresión múltiple para tarifa usuario

Fuente: Statsgraphics

Regresión Múltiple - Tarifa con

Variable dependiente: Tarifa con

Variabes independientes:

Utilidad concesionario

Kilometraje Con

Número de observaciones: 10

Parámetro	Estimación	Error	Estadístico	Valor-P
		Estándar	T	
CONSTANTE	22.0165	2.94579	7.47388	0.0001
Utilidad concesionario	3.67401E-9	3.17755E-9	1.15624	0.2855
Kilometraje Con	3.47443E-7	3.1255E-7	1.11164	0.3030

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	29.8417	2	14.9209	8.57	0.0131
Residuo	12.1833	7	1.74047		
Total (Corr.)	42.025	9			

R-cuadrada = 71.0095 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 62.7265 por ciento

Error estándar del est. = 1.31927

Error absoluto medio = 0.918497

Estadístico Durbin-Watson = 1.44081 (P=0.0247)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.243177

Figura 3.10 Regresión múltiple para tarifa concesionario

Fuente: Statsgraphics

Con base en estos datos, se construye la ecuación que se incluirá en el modelo para cada una de las variables de tarifas, logrando así que ambas estén descritas en función de las variables correctas.

C. Costos de operación: La estructura de los costos de operación se muestran en la Figura 3.11 a continuación:

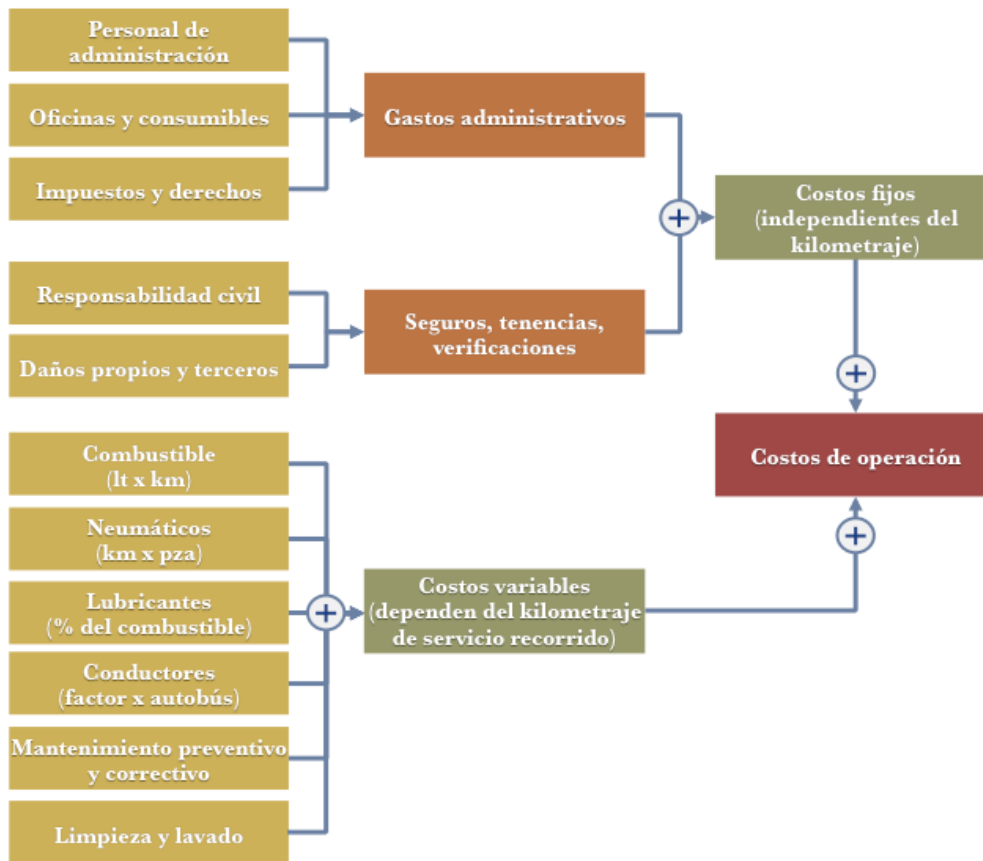


Figura 3.11 Estructura de costos de operación

Fuente: Suárez, 2009

Los datos utilizados para generar los costos de operación fueron extraídos de la tesis “Evaluación Operativa - Financiera por tipo de flota vehicular en un corredor de transporte. Caso de estudio: Línea 2 de Metrobús, Ciudad de México” (Suárez, 2009), mismos que fueron actualizados considerando la inflación anual, la evolución del precio del diésel, así como la evolución del salario mínimo para llevarlos a precios constantes de 2015 (año base) como se muestra continuación:

- a. **Inflación:** Los datos históricos de la inflación se obtuvieron del INEGI, a continuación se muestra el Gráfico 3.3 con el comportamiento que ha tenido en los últimos años.

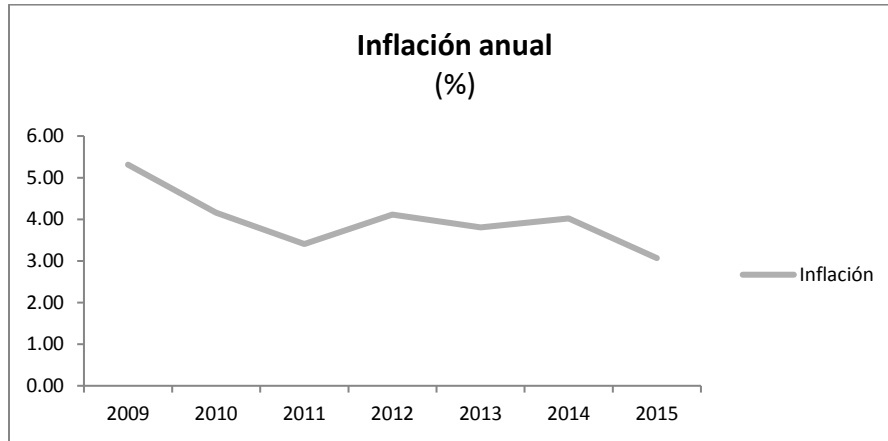


Gráfico 3.3 Inflación anual (% / 2009 - 2015)

Fuente: INEGI

- b. **Salario mínimo:** El salario mínimo, al igual que el precio del diésel se analizará de manera individual. Considerando que la Ciudad de México se encuentra en el Área Geográfica “A”, se obtiene un histórico de los salarios mínimos registrados en los últimos años; el Gráfico 3.4 muestra su comportamiento.

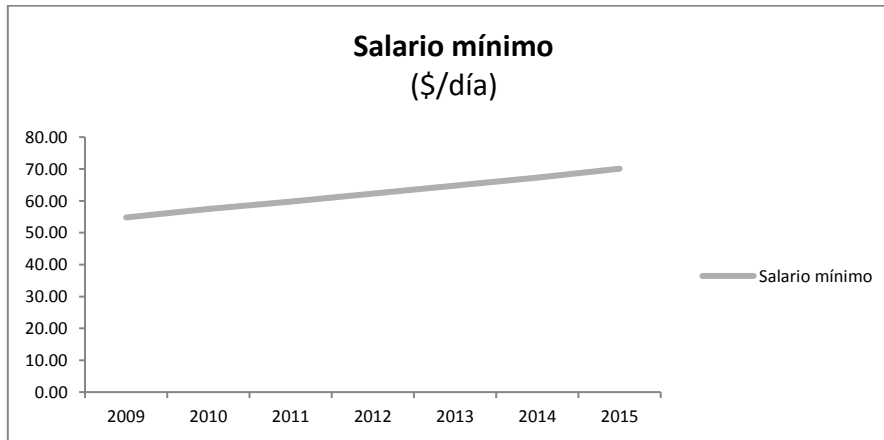


Gráfico 3.4 Salario mínimo (\$/día laborado / (2009-2015)

Fuente: Comisión Nacional de los Salarios Mínimos. Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

- c. **Precio diésel:** El precio del diésel en los últimos años ha tenido un crecimiento exponencial y muy por arriba de la inflación. Su comportamiento histórico se muestra en el Gráfico 3.5.

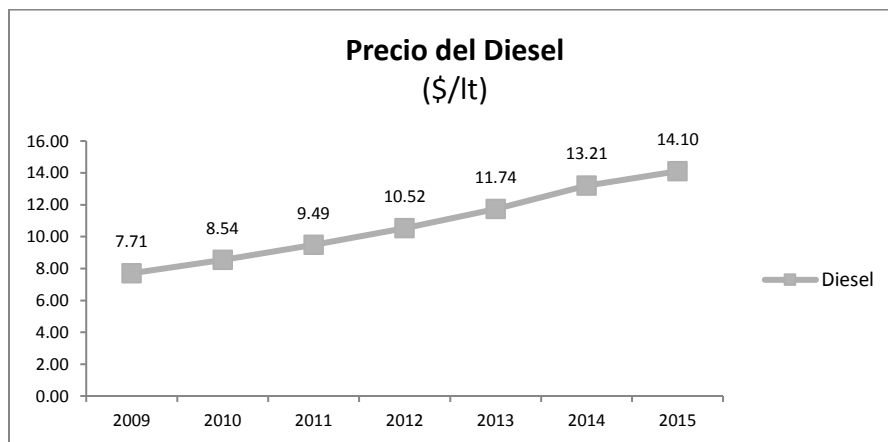


Gráfico 3.5 Precio diésel (2009-2015)

Fuente: Base de datos Institucional. Pemex

Considerando los datos antes mencionados, se logra llevar los precios corrientes de los costos de operación del año 2009 a 2015 arrojando como resultados los precios constantes que se muestran en las Tablas 3.2 a 3.4:

Costos variables por KM 2015

	<i>Monto total</i>	<i>Costo por Km</i>
Kilómetros recorridos	9,956,070	
Rendimiento (lt/km)	1.3	
Costo promedio por litro	14.10	
Combustible	\$129,476,559.00	\$10.85
Lubricantes	\$6,473,827.95	\$0.54
Porcentaje del combustible	5%	
Mantenimiento	\$10,291,576.77	\$2.73
Costo por kilómetro	\$2.73	
Llantas	\$10,810,479.80	\$0.91
Vida útil (km)	68,000.00	
Precio por llanta (con IVA)	\$6,159.86	
Llantas por unidad	10	
Subtotal	\$157,052,443.52	\$15.03

Costos variables por Autobús

	<i>Monto total</i>	<i>Costo por Km</i>
Limpieza	\$11,466,582.07	\$0.96
Costo por Autobús (\$/aut-día)	\$184.80	
Póliza anual por autobús	\$55,192.36	
No. Unidades	70	
Seguros	\$9,382,700.94	\$0.79
Promedio anual de tenencia	\$15,957.74	
Tenencia	\$2,712,815.30	\$0.23
Revista reglamentaria anual	\$1,456.19	
Derechos	\$247,552.51	\$0.02
Verificaciones al año	2.00	
Verificación semestral	\$324.01	
Verificación	\$110,162.96	\$0.01

Telemática		
Cargo por estudio técnico	\$627.07	
Derechos \$/cajón al año	\$390.54	
No. Cajones	12.00	
Bases y lanzaderas	\$7,194.72	\$0.001
Telemática por autobús al mes	\$110.88	
Radio comunicación por aut-mes	\$603.67	
Telemática y radios	\$1,457,669.61	\$0.122
Subtotal	\$25,384,678.11	\$2.13

Tabla 3.2 Costos variables a precios constantes de 2015

<i>Costos fijos de operación</i>			
	<i>Monto total</i>		<i>Costo por Km</i>
Consumibles admin (\$/aut-mes)	\$4,112.32	\$8,389,139.93	
Administración		\$35,060,099.93	\$2.94
Costo de la póliza	0.005		
Monto a garantizar	\$1,000,000.00		
Fianzas		\$5,000.00	\$0.001
Subtotal		\$35,065,099.93	\$2.94

Tabla 3.3 Costos fijos a precios constantes de 2015

<i>Salarios variables</i>			
	<i>Monto total</i>		<i>Costo por Km</i>
Salario integrado (bruto)	\$13,879.80		
Factor Op/Aut.	2.6		
No. Operadores	442		
Salarios mínimos	6.6		
Meses del año	12		
Operadores		\$73,618,459.20	\$6.17

<i>Salarios fijos</i>			
Personal administrativo por autobús	0.50		85.00
Sueldo P. Administrativo (\$/mes)		\$11,884.15	
Personal de mantenimiento por autobús	0.60		
Sueldo P. Mantenimiento (\$/mes)		\$11,884.15	102.00
Salarios mínimos	5.65		-
Personal administrativo		\$26,670,960.00	\$2.23

Tabla 3.4 Salarios a precios constantes de 2015

C. Recorrido del autobús: La gerencia operativa de Metrobús nos proporcionó los kilómetros recorridos por los autobuses de la Línea 1, tanto para RTP como para los concesionarios. En el Gráfico 3.6 se muestra la evolución del kilometraje total a lo largo de los años, es decir se toman en cuenta tanto los kilómetros recorridos por el concesionario como RTP; sin embargo, al igual que en la demanda, se eliminaron los primeros tres años, esto es de 2005 a 2008, ya que altera el resto de la información.

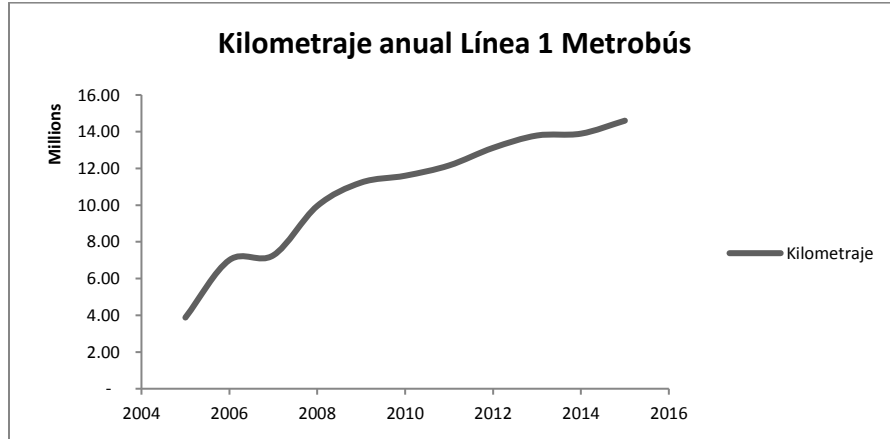


Gráfico 3.6 Kilometraje anual Línea 1 Metrobús (2005-2015)

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Metrobús

Al igual que la demanda, se busca introducir en el modelo un kilometraje aleatorio a partir de esta información histórica para generar una distribución de probabilidad con ayuda del software Statistica. El resultado arrojado por dicho software nos indica que el kilometraje sigue una distribución normal como se puede observar en el histograma de la Figura 3.12.

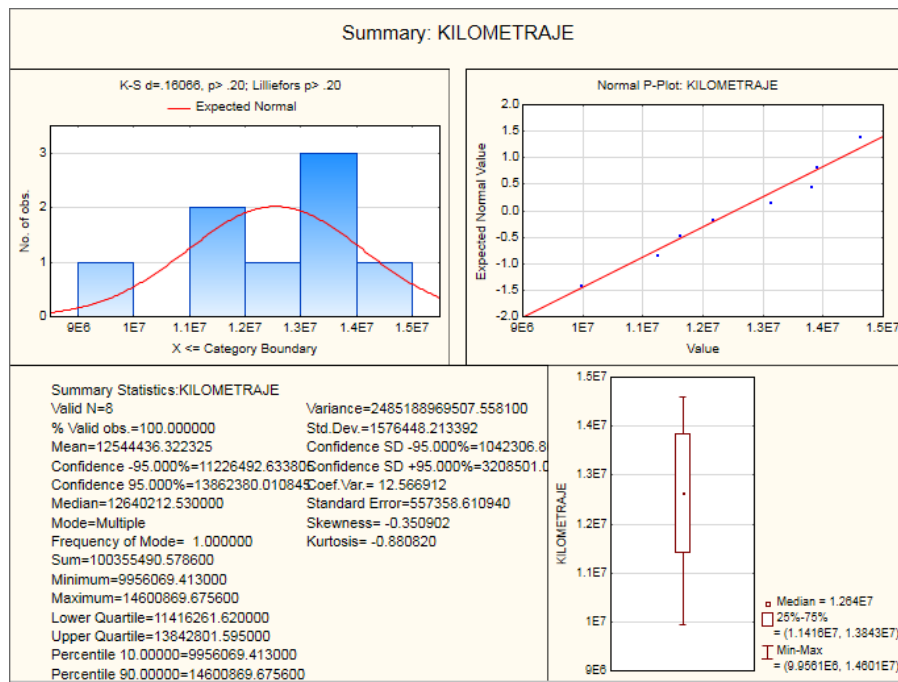


Figura 3.12 Resumen distribución normal para el kilometraje

Fuente: Software Statistica

3.4 Desarrollo, validación y verificación del programa de cómputo

3.4.1 Desarrollo del Modelo

Existen diversos softwares dedicados a la simulación de dinámica de sistemas, sin embargo únicamente se identificó Vensim como software de libre acceso por lo que fue éste el que se utilizó para el desarrollo del modelo de simulación. El programa es muy visual por lo que facilita la construcción de modelos al poder arrastrar las cajas, flujos, flechas y demás hasta la pantalla en blanco para “dibujar” el modelo deseado. La ventaja de que sea una herramienta tan visual es la facilidad con la que se logra pasar el modelo que se dibujó en papel al software, utilizando las mismas formas.

En un inicio, la herramienta era amigable por contar con un tablero de fácil interpretación, esto gracias a que cuenta con una serie de botones con acceso directo a las herramientas más utilizadas como los flujos, las cajas, la corrida de la simulación, las flechas, la función para borrar, entre otros. Por otra parte, para definir cada variable existe un menú en donde se le pueden incluir una serie de funciones precargadas por el sistema como: funciones de distribución, generación de números enteros, variables aleatorias, entre muchas más. En general, el contar con estas funciones precargadas es de gran utilidad porque es un ahorro en tiempo, ya que no hay que programarlas una a una.

No obstante, a pesar de ser un software amigable visualmente, las bases de datos para buscar apoyo no son sencillas de utilizar ni fáciles de entender, lo que complica el uso del software considerablemente cuando uno quiere utilizar funciones fuera de lo común. En el caso particular de este modelo, se requerían funciones un poco más complejas, por lo que se buscó apoyo en la sección de ayuda, sin embargo sólo se encontró información muy general sobre qué función se podría utilizar y cómo utilizarla. Una vez identificada la función que cubriría las necesidades del modelo, se intentaba aplicar dentro de la variable, sin embargo con al menos dos de estas funciones especiales que se intentaron utilizar, no se logró que éstas ejecutaran. Se realizó una búsqueda en internet, especialmente en blogs de la empresa creadora del software y se encontró que a varias personas les ocurría el mismo problema con la misma función. Al final de una larga búsqueda y varios intentos fallidos, se optó por buscar formas alternas de obtener el mismo resultado.

Después de un año de utilizar el software, se llega a la conclusión de que no fue la mejor herramienta para desarrollar el modelo. Es probable que si se hubiera adquirido otra versión, pero con costo, la experiencia hubiera sido mejor, sin embargo el software fue una limitante para poder desarrollar un mejor modelo.

El modelo detallado de Vensim parte del modelo conceptual del sistema que se realizó previamente (Figura 3.2), con el cual se logra definir el detalle de cada una de las variables involucradas en el sistema para llegar a formar el modelo de cajas y flujos de dinámica de sistemas que se muestra en la Figura 3.7. De igual manera, se utilizan los mismos subsistemas descritos previamente para una mejor interpretación del modelo. Los subsistemas que conforman al modelo son tres, los cuales se describen a continuación:

1. **Ingreso:** El ingreso está conformado por dos grandes bloques: el ingreso del sistema y el ingreso del concesionario.
 - a. **Ingreso sistema:** es el ingreso total del sistema, generado por los usuarios que pagan por recibir el servicio, ya que los adultos mayores y la gente discapacitada pueden hacer uso del servicio de manera gratuita. El dinero recibido por el pago de los usuarios es recolectado por un servicio de recaudo, una empresa privada encargada de la recolección del dinero en las estaciones del servicio. Con este ingreso se cubren todos los gastos que genera el sistema como: servicios conexos, fiduciario, financiamiento de los autobuses, concesionario y servicio de recaudo; lo cual al final de estos pagos deberá quedar una utilidad del sistema.
 - b. **Ingreso concesionario:** dado que la operación del sistema es llevada a cabo por una empresa privada, se le debe pagar por el servicio proporcionado. En este caso, al concesionario se le paga una tarifa por cada kilómetro que recorre su unidad (autobús), dicha tarifa lleva el nombre de “tarifa concesionario” con la cual deberá pagar el costo de operación y al final le quedará una utilidad.
2. **Financiamiento:** Los autobuses que se utilizan en la operación se compran por medio de financiamiento, por lo que en este subsistema se encuentran las variables involucradas. La anualidad del autobús se conforma por el costo total del autobús en conjunto con la tasa de interés que fija la empresa automotriz por otorgar el crédito. Por otro lado, existe una variable llamada “pago ganancia autobús” en donde se concentra un monto que Metrobús le regresa al concesionario al término del pago del financiamiento, con el cual se espera que el concesionario utilice para la renovación de las unidades a futuro.
3. **Operación:** La operación es llevada a cabo por el concesionario y consiste de dos grandes bloques:
 - a. **Kilometraje:** El kilometraje total del sistema se reparte en dos partes: aproximadamente el 87% lo opera el concesionario, mientras que el 13% restante lo opera RTP. El kilometraje que recorre RTP está subsidiado por el gobierno, por lo que no representa un gasto para el sistema como tal. El kilometraje que realiza el concesionario, le genera un gasto que éste deberá cubrir con la tarifa que se le paga por kilómetro recorrido.
 - b. **Costos de operación:** El costo de operación es el gasto en el que incurren las unidades por circular el kilometraje que les fue otorgado. Este gasto está conformado por 4 grandes bloques:
 - i. **Gasto diésel:** el costo total de litros de diésel consumidos por la operación;
 - ii. **Costos variables:** Costos que fluctúan dependiendo del kilometraje

recorrido y por autobús como el mantenimiento;

- iii. **Costos fijos:** Costos que se saben con certeza que se deben pagar como seguros, verificaciones, entre otros;
- iv. **Gasto por salario:** Gasto conformado por el pago de nómina de todos los trabajadores que requiere la operación como personal de mantenimiento, personal administrativo, así como los mismos operadores.

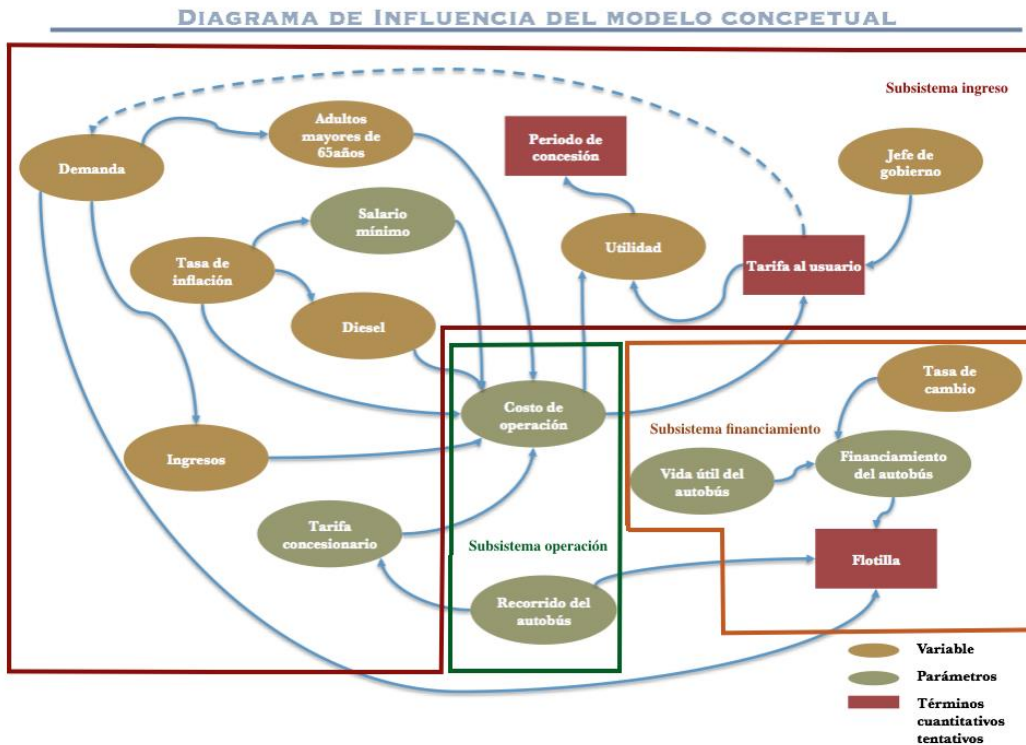


Figura 3.13 Modelo Conceptual del sistema Metrobús

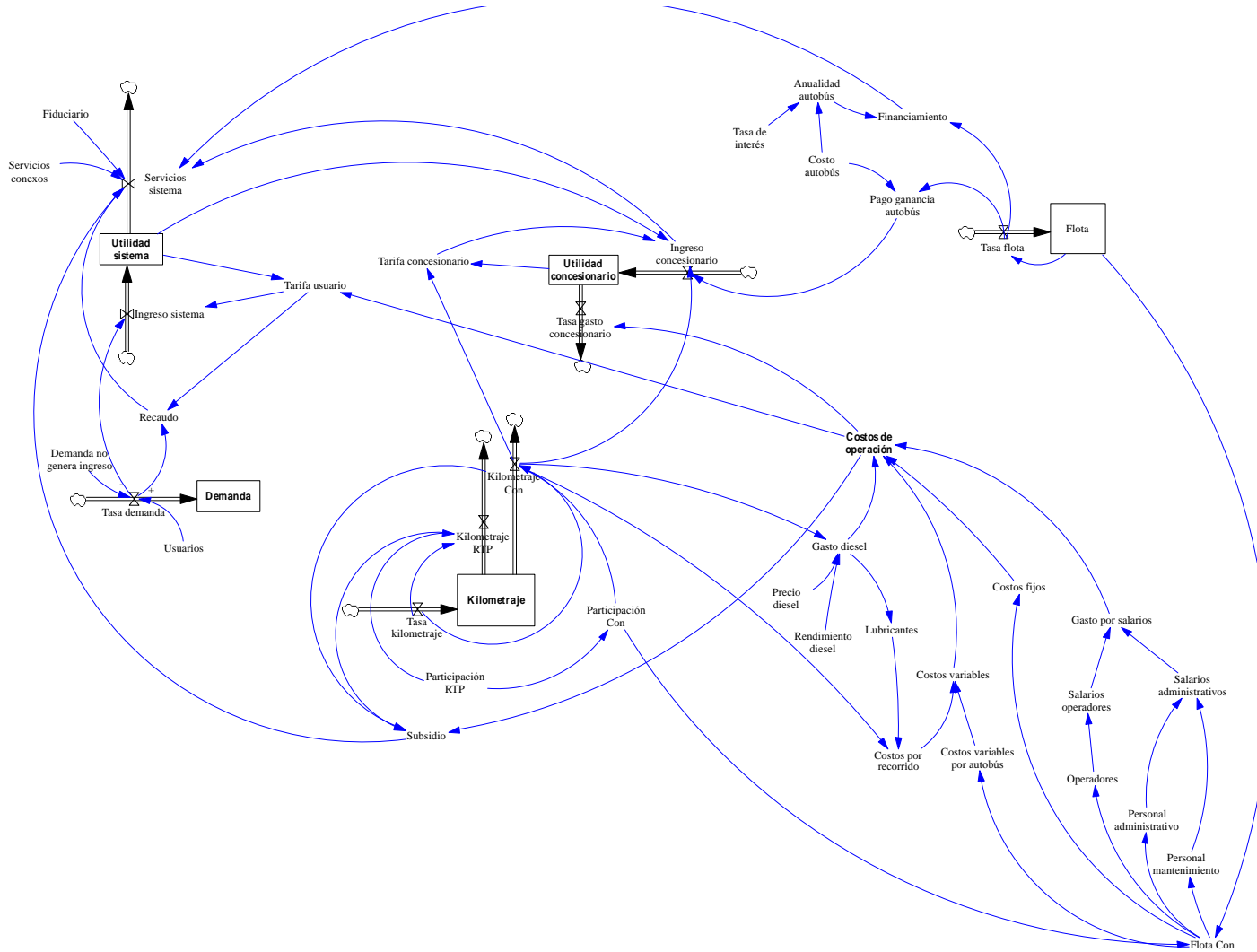


Figura 3.14 Modelo de simulación de Dinámica de Sistemas en Software Vensim

Para una mejor explicación del modelo, éste se divide en subsistemas como se muestra en la Figura 3.15.

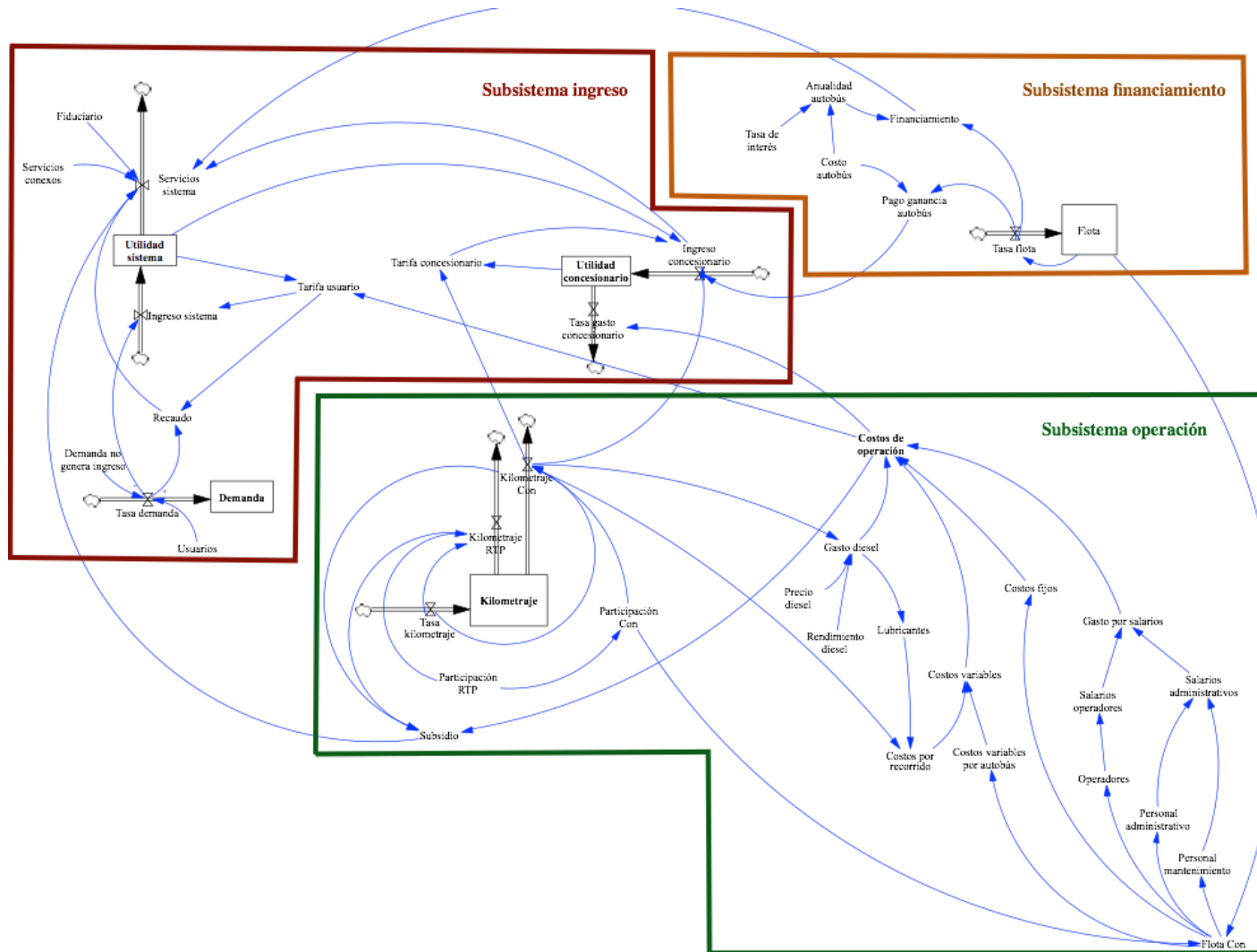


Figura 3.15 División del modelo en subsistemas

Las Tablas 3.5 a 3.7 describen los valores de las ecuaciones correspondientes a cada una de las variables por subsistema del modelo generado. Dichas ecuaciones fueron construidas con base en la recolección de datos de la sección 3.3 *Recolección de información y datos para la construcción del modelo conceptual*:

Subsistema Ingreso		
Variable	Ecuación	Observaciones
Demanda no genera ingreso	0.92	El 8% de los usuarios del sistema no pagan por recibir el servicio
Usuarios	INTEGER(RANDOM NORMAL (8.88404e+07 , 1.38623e+08 , 1.1324e+08 , 1.78918e+07 , 23))	Se utiliza una distribución generado a partir de los datos históricos
Tasa demanda	Demanda*Demanda no genera ingreso	Demanda real, descontando los usuarios gratuitos
Demanda	Tasa demanda;	Demanda acumulada
Tarifa usuario	-0.121744 - (3.80155e-09*Utilidad sistema) + (2.18738e-08*Costos de operación);	Por medio de un análisis de regresión múltiple se calcula la tarifa al usuario para que esté en función de la utilidad del sistema y los costos de operación
Tarifa concesionario	22.0165 + (3.67401e-09*Utilidad concesionario)+(3.47443e-07*Kilometraje Con);	Por medio de un análisis de regresión múltiple se calcula la tarifa al concesionario para que esté en función de la utilidad del concesionario y el kilometraje que recorre
Ingreso concesionario	IF THEN ELSE(Utilidad sistema>=0, (Kilometraje Con*Tarifa concesionario) +Pago ganancia autobús, 0);	Pago al concesionario por kilómetro recorrido más la ganancia generada por el autobús
Utilidad concesionario	Ingreso concesionario-Tasa gasto concesionario;	La utilidad del concesionario está conformada por el ingreso que recibe el concesionario, menos el costo de operación, más la ganancia que recibe por los autobuses al término del pago de su financiamiento
Utilidad sistema	Ingreso sistema-Servicios sistema;	La utilidad del sistema está dada por el ingreso total del sistema, menos el ingreso del concesionario, el pago por servicio de recaudo y otros servicios como el mantenimiento de las estaciones (luz, agua, vigilancia)
Recaudo	((Tarifa usuario*Tasa demanda)*0.99)*0.06*(1.16);	Pago a una empresa privada por el servicio de recaudación de la tarifa al usuario. La empresa es responsable del proceso de cobro, recolección e infraestructura.
Servicios conexos	3.2173e+06*PULSE(0 , 11)	Limpieza, mantenimiento menor de la infraestructura, seguridad del sistema, seguros de la infraestructura.
Fiduciario	514793*PULSE(0, 11)	Pago emitido al banco por el manejo del fideicomiso
Servicios sistema	Servicios conexos + Recaudo + Fiduciario + Financiamiento + Subsidio + Ingreso concesionario;	Servicios del sistema no relacionados directamente con la operación

Tabla 3.5 Descripción de las ecuaciones del subsistema Ingreso

Subsistema Operación		
Variable	Ecuación	Observaciones
Kilometraje	Tasa kilometraje-Kilometraje Con-Kilometraje RTP;	Se toma en cuenta únicamente el kilometraje proporcional al concesionario
Tasa kilometraje	RANDOM NORMAL(9.95607e+06 , 1.46009e+07 , 1.25444e+07 , 1.57645e+06 , 23);	Se utiliza una distribución generada a partir de los datos históricos
Kilometraje Con	Tasa kilometraje*Participación Con;	Kilometraje proporcional al concesionario
Kilometraje RTP	Tasa kilometraje*Participación RTP;	Kilometraje proporcional a RTP como subsidio a la operación
Participación Con	1-Participación RTP;	Porcentaje de participación del concesionario;
Participación RTP	0.13;	Porcentaje de participación de RTP;
Gasto por Diésel	(Kilometraje Con/Rendimiento diésel)*Precio diésel;	Gasto total por motivo de consumo de diésel en función del precio por litro y el rendimiento del diésel por kilómetro
Rendimiento Diésel	1.3 lt;	
Precio Diésel	14.1;	Precio constante por litro de diésel en 2015
Lubricantes	Gasto diésel*0.05;	El costo de los lubricantes corresponde a un 5% del gasto total por diésel
Costos por recorrido	(2.73*Kilometraje Con)+(Kilometraje Con*0.91)+Lubricantes;	Costo de operación en función de los kilómetros recorridos: Mantenimiento + Llantas + Lubricantes. El mantenimiento considera un promedio anualizado por mantenimiento preventivo, mayor, correctivo y siniestros.
Costos variables por autobús	(184.8 *365*Flota Con)+(55192.4*Flota Con)+(15957.7*Flota Con)+(1456.19*Flota Con)+(324.01 *2*Flota Con)+(390.54*12)+(627.07*4)+(110.88 + 603.67)*12)*Flota Con	Costo de operación en función de la flota: Limpieza + Seguros + Tenencia + Derechos + Verificación + Bases y Lanzaderas + Telemática y radios.
Costos Variables	Costos por recorrido+Costos variables por autobús;	Total de costos variables
Costos Fijos	((4112.32*12)*Flota Con)+5000;	Costos fijos por flota: Consumibles administración + Fianzas.
Tasa flota	PULSE(1 , 10)*INTEGER(Flota*0.09);	La función pulse habilita la ecuación a partir del año 1 hasta el año 10. La flota se incrementa a una tasa del 9% anual. La tasa se obtiene a partir del rendimiento de la demanda histórica
Flota	Tasa flota;	Flota total anual
Flota Con	INTEGER(Flota*Participación Con);	Flota total del concesionario
Operadores	INTEGER(2.6*Flota Con);	Se requieren de 2.6 operadores por autobús
Salarios Operadores	Operadores*13879.8*12;	El salario total de los operadores equivale al número total de operadores, multiplicado por el salario
Personal Administrativo	INTEGER(0.5*Flota Con);	El personal administrativo se compone de 0.5 personas por autobús
Personal Mantenimiento	INTEGER(0.6*Flota Con);	El personal de mantenimiento se compone de 0.6 personas por autobús
Salarios administrativos	(Personal administrativo+Personal mantenimiento)*11884.2*12	Salario anualizado correspondiente al personal administrativo y de mantenimiento.
Gasto por salarios	Salarios administrativos+Salarios operadores;	Costo total de salarios
Costo de operación	Costos fijos+Costos variables+Gasto diesel+Gasto por salarios;	Monto total del costo de operación

Tabla 3.6 Descripción de las ecuaciones del subsistema Operación

Subsistema Financiamiento		
Variable	Ecuación	Observaciones
Tasa de interés	0.09;	La tasa de interés del acreedor es del 9% anual
Costo autobús	5.5e+06;	Costo por autobús considerando IVA
Anualidad autobús	$\text{Costo autobús} / (((1 + \text{Tasa de interés})^5 - 1) / (\text{Tasa de interés} * (1 + \text{Tasa de interés})^5))$;	Pago anual de financiamiento por autobús a una tasa del 9%
Financiamiento	$(\text{PULSE}(0, 9) * (\text{Anualidad autobús} * 70)) + (\text{PULSE}(2, 10) * (\text{Anualidad autobús} * \text{Tasa flota}))$;	El pago de financiamiento se refiere al pago de las anualidades de toda la flota a un plazo de 5 años
Pago ganancia autobús	$\text{PULSE}(6, 10) * (((\text{Costo autobús} / 1.16) * 0.5) / 5) * 70 + \text{PULSE}(7, 10) * (((\text{Costo autobús} / 1.16) * 0.5) / 5) * \text{Tasa flota}$;	Metrobús otorga una compensación del 50% del costo del autobús antes del IVA al término del pago del financiamiento con motivo de reserva para la renovación de la flota a futuro

Tabla 3.7 Descripción de las ecuaciones del subsistema Financiamiento

3.4.2 Validación del modelo

Se desarrolló una metodología de validación basada en la propuesta de Yaman Barlas (Barlas, 1996) en donde se consideran dos fases de validación. En la primera fase se busca la validación de la estructura interna del modelo, mientras que en la segunda fase se busca la validación del comportamiento del modelo como se muestra en la Figura 3.16.

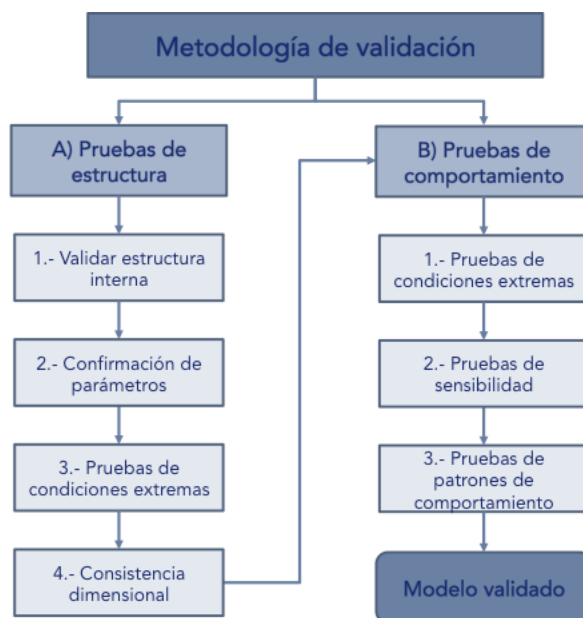


Figura 3.16 Metodología de validación

Fuente: Elaboración propia

A. Pruebas de estructura:

1.- *Validación de la estructura interna del modelo.* La estructura interna del modelo debe ser validada por los expertos, de tal manera que se asegure la semejanza del modelo con la vida real. Los expertos serán los únicos que podrán identificar si la estructura del modelo no va acorde al sistema real, de esta manera se puede asegurar que el comportamiento y por ende los resultados generados por el modelo representen la realidad.

En el caso particular del modelo desarrollado en la Figura 3.7, se acudió con el gerente de operaciones de Metrobús para su validación. El proceso consistió en verificar que efectivamente las variables y parámetros tuvieran las relaciones adecuadas para representar el sistema actual. Una vez validadas las relaciones del modelo se procedió a validar las ecuaciones de cada una de las variables buscando que dichas ecuaciones representaran las relaciones existentes en el sistema real. Una vez que el gerente de operaciones validó la estructura interna del modelo, se procede a la segunda etapa.

2.- *Confirmación de parámetros.* La confirmación de parámetros se llevó a cabo de la misma manera que la validación de las ecuaciones, se le mostró al gerente de operaciones lo que se estaba tomando como parámetro en el modelo, así como el valor que se le asignó a cada uno, de tal manera que los analizara de manera conceptual y numérica. La participación del experto termina en este paso, es decir, una vez aprobada la estructura interna del modelo, lo cual incluye las ecuaciones y parámetros con los que se conforma; procedemos a realizar los siguientes pasos de la validación.

3.- *Pruebas de condiciones extremas.* En esta parte del análisis se pretende evaluar la validez de las ecuaciones bajo condiciones extremas. Esto implica que cada ecuación del modelo se prueba al poner valores extremos como entrada en las variables para poder comparar el valor de la salida con lo que debería ocurrir de manera lógica en el sistema bajo las mismas condiciones. Las pruebas se llevaron a cabo en todas las ecuaciones, un ejemplo claro de lo que se realizó fue el modificar la variable de *demanda* y poner valor de cero, es decir, verificar el comportamiento del modelo considerando que no hay demanda que entre al sistema. El resultado lógico sería que habría pérdidas para ambas partes, es decir, las utilidades del sistema así como las del concesionario deberían ser negativas a lo largo de toda la simulación. Este ejemplo se puede ver en el Gráfico 3.7 a continuación:

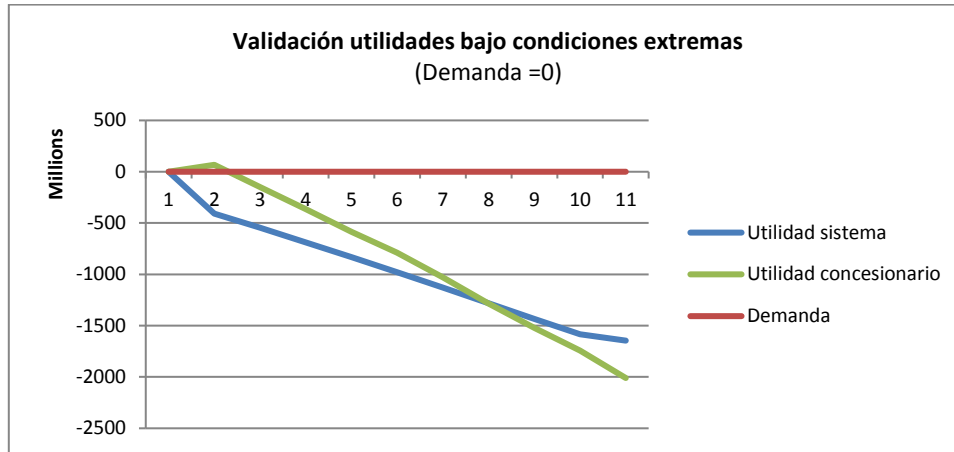


Gráfico 3.7 Validación de utilidades bajo condiciones extremas

4.- *Consistencia dimensional*: En este paso se revisa el lado derecho y el lado izquierdo de cada una de las ecuaciones del modelo para validar que las dimensiones en ambos lados concuerden con lo que realmente se busca. Esta tarea se llevó a cabo con todas las ecuaciones hasta validar que efectivamente cada una de ellas tuviera las dimensiones correctas.

B. Pruebas de comportamiento:

Las pruebas de comportamiento se llevan a cabo para identificar patrones de comportamiento del sistema en general. Para ello, se utiliza el modelo desarrollado y se seleccionan variables y parámetros a fijar y a modificar, esto es, se identifica una serie de variables y parámetros a las que no se les va a modificar su valor, mientras que a otras sí se modificaría su valor. Una vez que se identifiquen los elementos a fijar y a modificar, se llevan a cabo varias corridas en las que se van intercambiando estos elementos, de tal manera que todos sean modificados en alguna de las corridas realizadas. Al llevar a cabo estas corridas se van realizando las siguientes pruebas con las cuales se identifica lo siguiente:

1.- *Prueba de condiciones extremas*. A diferencia de la prueba de condiciones extremas en la fase de validación de estructura interna en donde se modificaba una ecuación a la vez, en esta etapa se toma un conjunto de parámetros previamente seleccionado y se modifican todos los parámetros al mismo tiempo. De esta manera, al modificar un conjunto se puede observar el comportamiento generado del sistema para compararlo con la realidad.

2.- *Pruebas de sensibilidad del comportamiento*. Al ir modificando las ecuaciones y los parámetros del modelo, se logra identificar cuáles son los parámetros a los que el modelo es altamente sensible. En este caso podemos notar que la demanda es uno de los factores que generan mayor sensibilidad en el modelo, ya que el ingreso total del sistema depende directamente de la demanda, por lo que si la demanda es baja, los ingresos serán bajos y por lo tanto el gobierno y el concesionario se ven afectados.

Por otra parte, está el kilometraje ya que el ingreso del concesionario depende directamente del kilometraje realizado en el año, por lo que a bajo kilometraje menor su utilidad; mientras que a menor kilometraje mayores los costos de operación y viceversa, a mayor kilometraje menor el costo de operación.

3.- Pruebas de patrones de comportamiento. La prueba busca predecir patrones de comportamiento en el modelo, es decir, periodos, frecuencias, tendencias, amplitudes, entre otras. Por lo tanto, para poder llevar a cabo esta prueba, se hace un análisis visual de las gráficas generadas en donde se comparan para poder medir las características de los patrones de comportamientos típicos como la amplitud de un pico, el tiempo entre dos picos, valor mínimo, vacíos, número de inflexión, entre otros. En el caso del modelo analizado, se realizaron gráficos para todas las variables de tal manera que se lograron identificar aquellas variables de mayor sensibilidad en el modelo, ya que su comportamiento variaba considerablemente a la hora de hacer cada modificación.

3.4.3 Verificación del modelo

El modelo se verificó mediante una hoja de cálculo en Excel, con el propósito de cerciorarnos que los datos que estuviera arrojando el modelo en Vensim fueran los correctos. Al iniciar con las pruebas se detectaron varios errores que se fueron modificando hasta llegar a la versión final que se muestra en la Figura 3.7.

La metodología desarrollada para el proceso de verificación fue la siguiente:

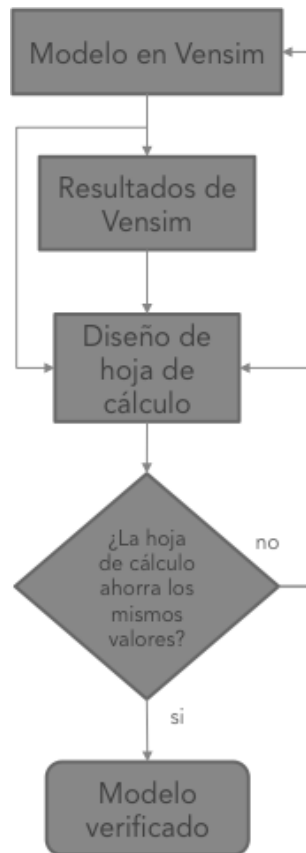


Figura 3.17 Metodología de verificación del modelo programado

Fuente: Elaboración propia.

La metodología se siguió de la siguiente manera:

- i. Se realizó el modelo del problema a resolver en Vensim, considerando todas las variables relevantes sin complicar en exceso el modelo. Previamente se calcularon los pronósticos de algunas de las variables, así como los parámetros requeridos;
- ii. Se corrió el modelo. Los resultados fueron exportados a una hoja de cálculo para su interpretación y verificación;
- iii. Con las relaciones de las variables establecidas en el paso 1, se diseñó una hoja de cálculo. Este proceso se siguió paso a paso para cada variable de la Figura 3.7.
- iv. Se realizó una comparación con los resultados del punto anterior. Si la variable a analizar cumplía con la comparación, el modelo quedaba verificado para esa variable. Este proceso se siguió paso a paso para cada variable de la Figura 3.7.

La metodología se siguió para cada una de las variables presentadas en la Figura 3.7 y el modelo en Vensim fue verificado cuando todas las variables arrojaron los mismos resultados tanto en la hoja de cálculo como en Vensim.

4 Resultados

Una vez que el modelo fue validado y verificado, se procedió a utilizarlo para generar los resultados. Una simulación (corrida del modelo), representa 10 años de la concesión, ya que éste es el periodo considerado actualmente para la concesión de la Línea 1 del Metrobús y por otro lado, es el tiempo disponible de datos históricos con los que se cuentan al día de hoy. Como se puede observar en el análisis financiero, el periodo de 10 años (periodo actual del contrato de concesión), es tiempo suficiente para que el concesionario genere ganancias. En todo caso, si el periodo de concesión llegara a ser mayor a los 10 años, el concesionario continuaría incrementando exponencialmente sus ganancias. Por lo tanto, con la finalidad de obtener un mejor panorama del comportamiento del sistema, se generan 30 corridas del modelo. En este caso, se realizan específicamente 30 corridas, ya que se logra identificar que el sistema ya no varía su comportamiento a partir de la corrida 25.

Cada simulación arroja los valores de todas las variables del modelo, a lo largo del periodo de 10 años. Al realizar las pruebas de comportamiento del modelo en la etapa de validación (Sección 3.4.2), se logran identificar las variables de mayor sensibilidad, mismas que se mencionan a continuación por subsistema:

Subsistema Ingreso	Subsistema Operación
Usuarios	Tasa kilometraje
Tarifa usuario	Kilometraje Con
Tarifa concesionario	Kilometraje RTP
Ingreso concesionario	Costo de operación
Ingreso sistema	Costo por km
Utilidad concesionario	
Utilidad sistema	
Subsidio	
Servicios sistema	

Tabla 4.1 Variables sensibles del modelo

Considerando que estas variables son las de mayor sensibilidad en el modelo, se identifican aquellas cuya ecuación es independiente a las demás para modificarla en cada corrida. El resto de las variables no se modifican, ya que su ecuación está definida en función de las variables independientes, lo que obliga a que en el momento de que se realice un cambio en dicha variable independiente, las dependientes cambien de igual manera. Por lo tanto, las variables independientes son los usuarios y el kilometraje, ya que están definidas por una función de distribución aleatoria construida con base en los datos históricos obtenidos; estas

funciones serán diferentes en cada corrida. En ese sentido, considerando las variables del subsistema ingreso que son dependientes a la variable usuarios, se encuentran: tarifa usuario, ingreso sistema, utilidad sistema, así como servicios sistema. Por el otro lado, la variable kilometraje tiene como variables dependientes: tarifa concesionario, ingreso concesionario, utilidad concesionario, subsidio, tasa kilometraje, kilometraje concesionario, kilometraje RTP, costo de operación y costo por kilómetro. De esta manera, al modificar estas dos variables (usuarios y kilometraje), en realidad estamos modificando las 14 variables de mayor sensibilidad en el modelo.

Dado el comportamiento del modelo analizado, se puede afirmar que éste corresponde a un modelo macroeconómico. Por lo mismo, los pronósticos generados a partir de un modelo de esta naturaleza, no sólo sirven para predecir sino también para realizar el análisis de sensibilidad del modelo y evaluar las políticas que de él emanen (Pindyck & Rubinfeld, 1991).

Para una mejor interpretación de los resultados obtenidos por cada una de las corridas realizadas, se construyen gráficos para las 14 variables de mayor sensibilidad en el modelo. Por lo tanto, se generó un gráfico para cada conjunto de variables cuya relación fuera directa, de tal manera que se lograran identificar las alteraciones que sufrían entre sí, derivados de los nuevos valores de las variables independientes (usuarios y kilometraje). A continuación, se muestran los gráficos generados con los valores de las variables sensibles obtenidos en la Corrida 1; cabe mencionar que este mismo procedimiento se repitió para las 30 corridas generadas, de tal manera que se pudieran identificar patrones de comportamiento.

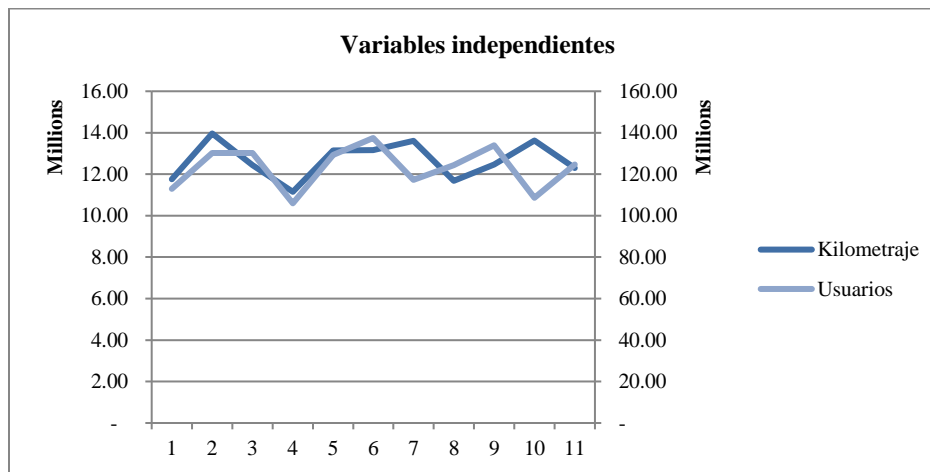


Gráfico 4.1 Variables independientes

El Gráfico 4.1 muestra los valores que arrojaron las funciones de distribución para las variables usuarios y kilometraje. Es con base en estos valores, que el resto de las variables dependientes se actualizan. Cabe recalcar que para cada una de las 30 corridas las funciones de distribución toman nuevos y diferentes valores a lo largo de la simulación con los cuales el resto de las variables se actualizarán. El generar las corridas nos permite construir una gran base de datos con la cual se podrá realizar el análisis de sensibilidad.

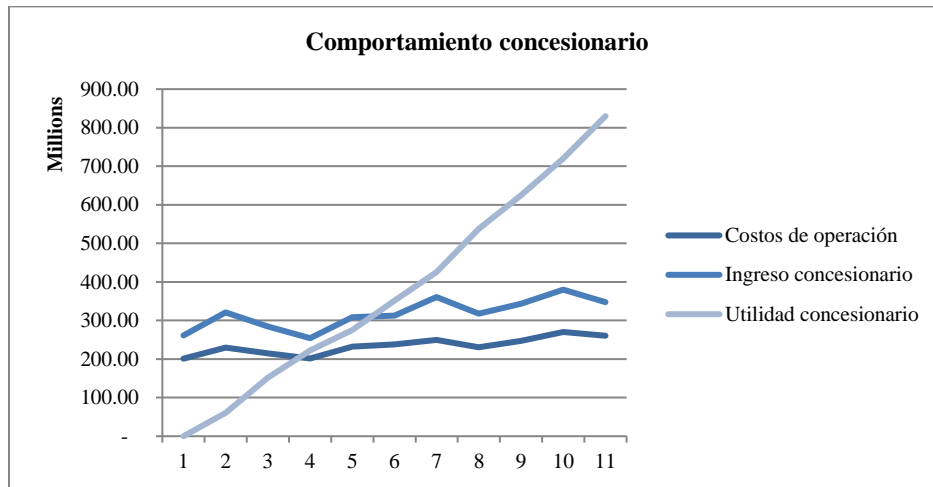


Gráfico 4.2 Comportamiento concesionario

El ingreso del concesionario tiene un comportamiento similar al de los costos de operación y éste último siempre está por debajo del ingreso lo que significa que el concesionario siempre genera utilidad a lo largo de los 10 años de la concesión.

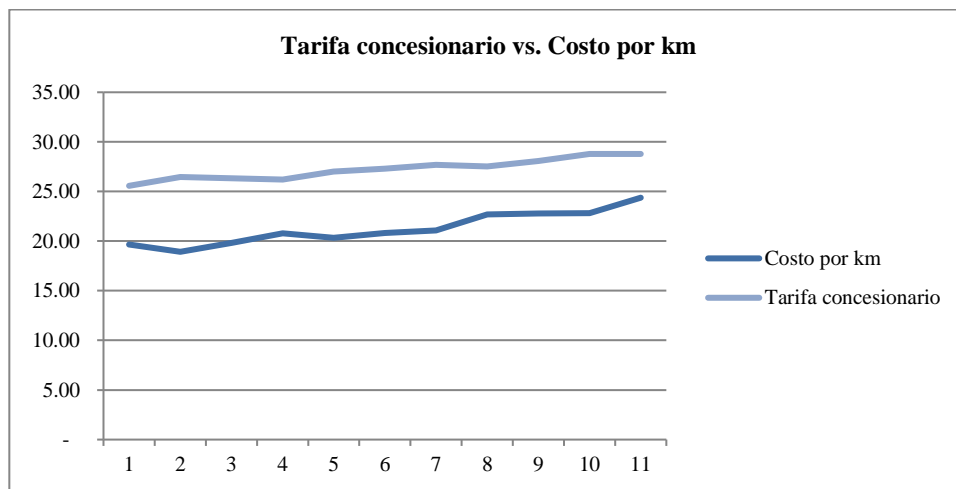


Gráfico 4.3 Tarifa concesionario vs Costo por km

En cuanto a la tarifa del concesionario, podemos observar que siempre se mantiene por arriba del costo por kilómetro generado por la operación del servicio, éste costo debe ser absorbido por el concesionario. Por lo anterior, es que podemos garantizar el comportamiento del Gráfico 4.2 en donde se demuestra que el concesionario va generando una utilidad exponencial a lo largo del periodo de la concesión.

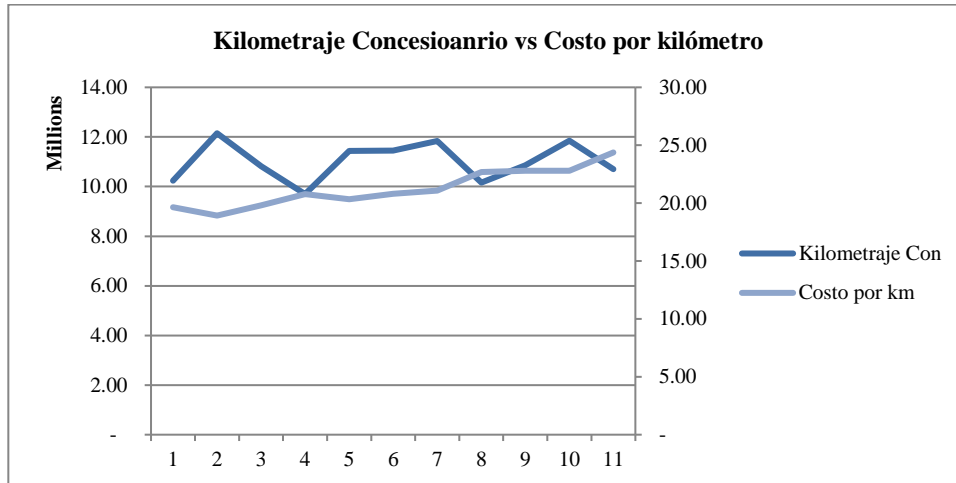


Gráfico 4.4 Kilometraje Concesionario vs Costo por km

El Gráfico 4.4 nos muestra que el kilometraje recorrido por el concesionario se comporta inversamente proporcional al costo de operación por kilómetro, lo que significa que a mayor kilometraje recorrido menor el costo de operación por kilómetro. Este fenómeno lo podemos observar en el año 2 donde se marca el pico más alto de kilometraje recorrido y el pico más bajo del costo por kilómetro.

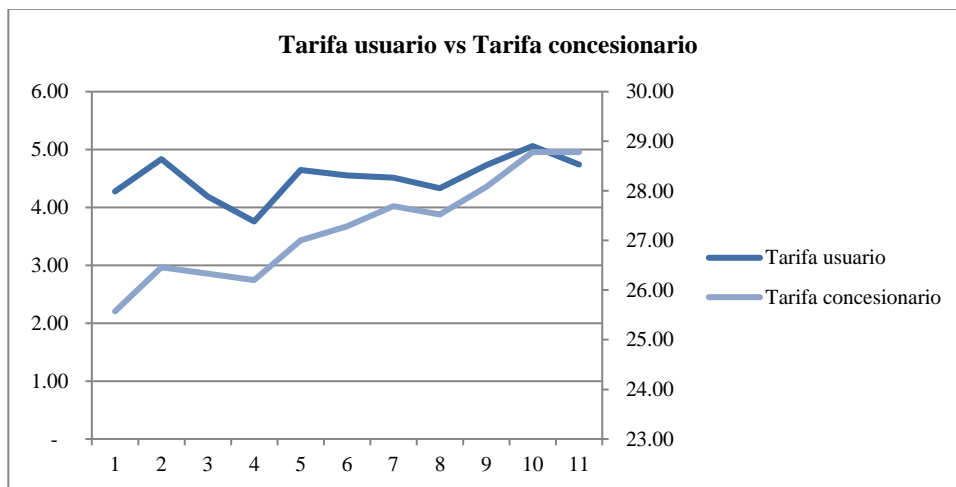


Gráfico 4.5 Tarifa usuario vs Tarifa concesionario

El Gráfico 4.5 nos muestra un comportamiento similar en la evolución de la tarifa al usuario y la tarifa al concesionario, lo que significa que mientras una aumenta la otra lo hace en una proporción similar.

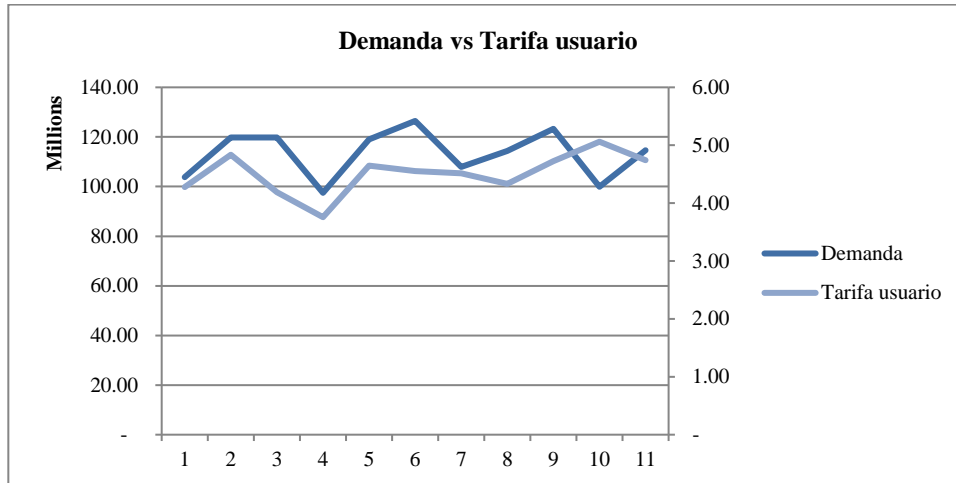


Gráfico 4.6 Demanda vs Tarifa usuario

La tarifa al usuario tiene un comportamiento similar a la demanda, ya que mientras la demanda incrementa la tarifa al usuario incrementa por igual, sin embargo existe un punto como se muestra en el periodo 10, en el que la demanda baja considerablemente y por lo mismo la tarifa se eleva drásticamente. Este comportamiento nos indica que la demanda debe estar dentro de cierto rango para mantener un equilibrio en el sistema.

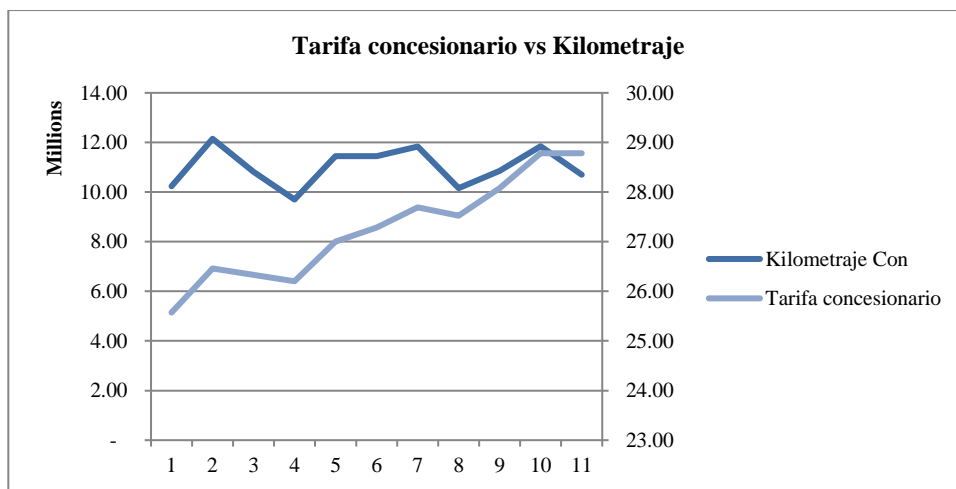


Gráfico 4.7 Tarifa concesionario vs Kilometraje

El Gráfico 4.7 nos muestra como la tarifa del concesionario se comporta de la misma manera en la que se comporta el kilometraje, es decir mientras el kilometraje aumenta, la tarifa al concesionario aumentará, mientras que si el kilometraje baja, la tarifa del concesionario bajará de la misma forma.

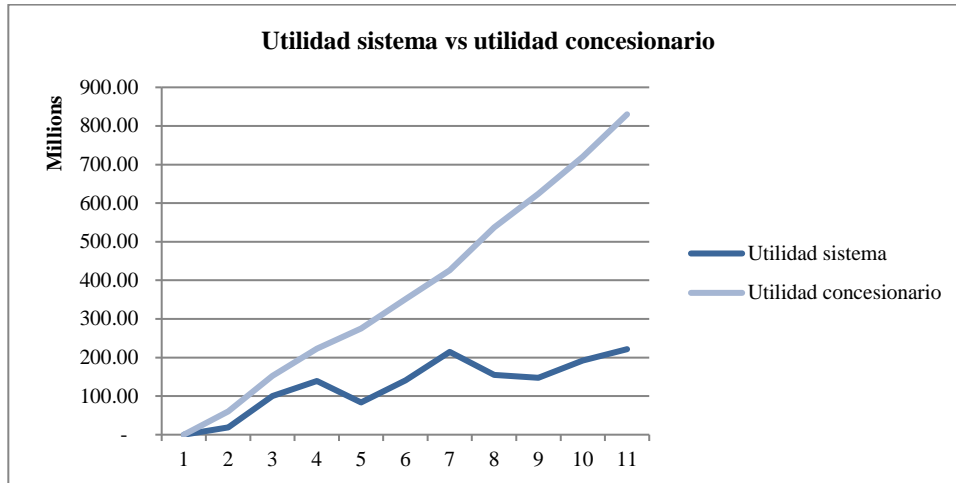


Gráfico 4.8 Utilidad sistema vs Utilidad concesionario

El Gráfico 4.8 nos muestra como el concesionario genera una utilidad considerablemente mayor a la del sistema. La utilidad del concesionario tiene un crecimiento exponencial a lo largo de los 10 años, mientras que la utilidad del sistema muestra varios picos y su crecimiento está muy por debajo de la utilidad del concesionario.

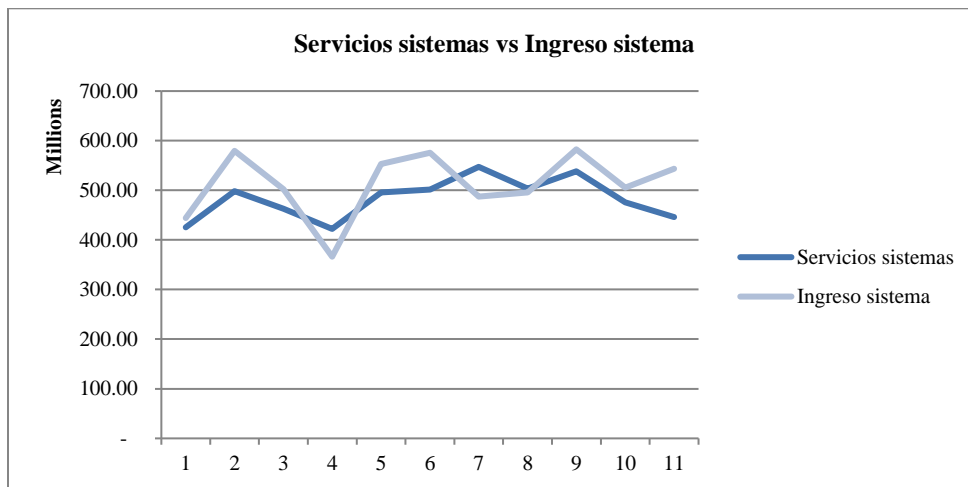


Gráfico 4.9 Servicios sistemas vs Ingreso sistema

El Gráfico 4.9 nos muestra la sensibilidad de los servicios del sistema, es decir que los egresos que presenta el sistema son apenas cubiertos por los ingresos del mismo sistema, a diferencia de los egresos del concesionario que están por debajo de manera constante a lo largo de toda la simulación. En el caso de los ingresos del sistema, la demanda es la variable de la cual dependen por lo que si sucede una disminución considerable de ésta, se genera un pico como el que se observa en el Gráfico 4.9, en el periodo 4, en donde los ingresos están por debajo de los egresos.

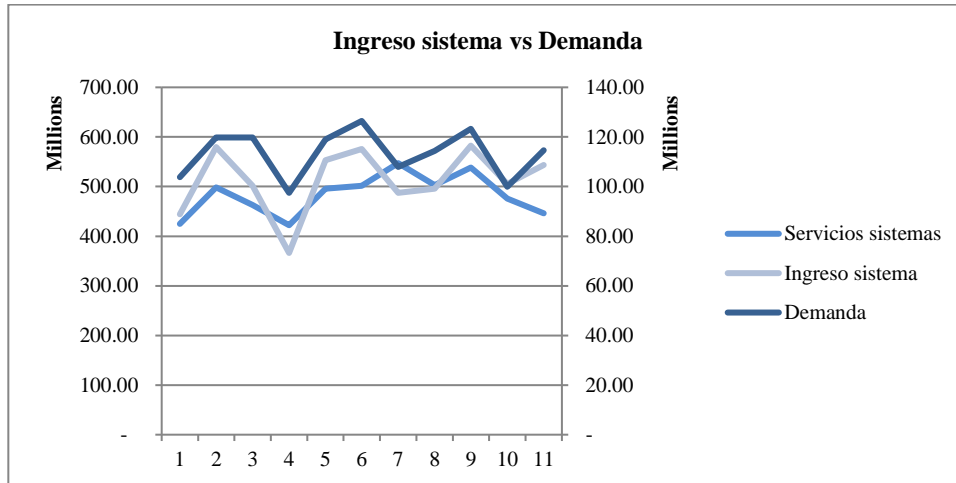


Gráfico 4.10 Ingreso sistema vs Demanda

El Gráfico 4.10 nos muestra con claridad cómo el ingreso del sistema y los servicios dependen 100% de la demanda que entra al sistema. Podemos observar el punto del año 4 en donde la demanda cae considerablemente y por ende el ingreso del sistema es rebasado por los egresos (servicios del sistema) generando una pérdida. En los años 6 y 7, en los que la demanda crece hasta alcanzar su tope máximo, el ingreso del sistema crece muy por arriba de los servicios del sistema, lo cual genera una mayor utilidad.

Los Gráficos 4.1 a 4.10 fueron generados para cada una de las 30 corridas realizadas, de tal manera que se lograran identificar patrones de comportamiento en el modelo y con ellos lograr establecer las políticas para una mejor definición de una concesión de Transporte Público.

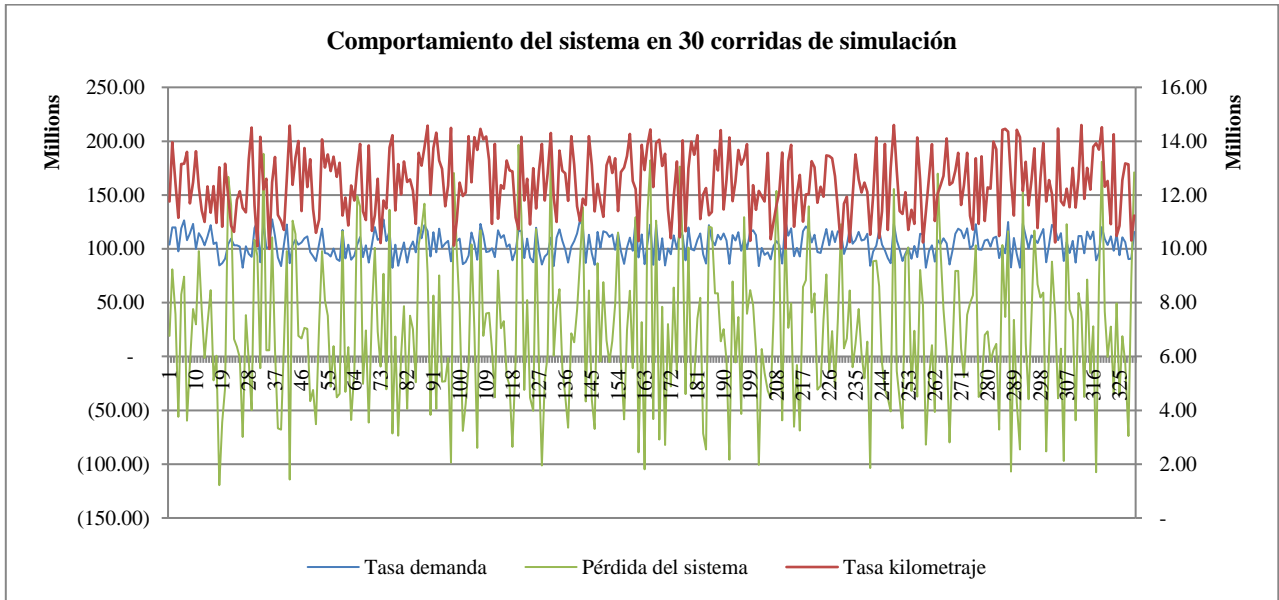


Gráfico 4.11 Comportamiento del sistema en 30 corridas de simulación

El Gráfico 4.11 muestra un resumen del comportamiento macroeconómico del modelo a lo largo de las 30 corridas realizadas. La línea verde muestra la pérdida o ganancia total del sistema a lo largo del contrato de concesión, es decir la pérdida o ganancia después de haber descontado los servicios del sistema al ingreso del mismo. La línea roja muestra el kilometraje recorrido por todo el sistema, como podemos observar fluctúa tanto como lo hace la pérdida/ganancia del sistema. Por último, la línea azul representa la demanda que entra al sistema, misma que fluctúa al igual que el resto de las variables pero en un rango menor. Como podemos observar, el sistema no logra alcanzar una estabilidad a lo largo de los años, es por ello por lo que se propone un análisis de sensibilidad con el que se identifiquen los puntos cruciales para los cuales el sistema logre un equilibrio financiero entre las partes involucradas.

El comportamiento inestable que muestra el sistema es un fenómeno esperado dentro de la teoría macroeconómica, ya que Pindyck & Rubinfeld, (1991) establecen que al simular un modelo econométrico, es posible que éste muestre un comportamiento oscilatorio o incluso inestable. La importancia de la estabilidad del desempeño de un modelo de pronóstico depende del periodo del mismo pronóstico. Se podría decir que en particular, una inestabilidad técnica puede tener pocas consecuencias en un modelo de pronóstico a corto plazo como es el caso del modelo presentado en esta investigación. De esta manera, se sugiere llevar a cabo el análisis de sensibilidad en donde se identifiquen rangos de valores para las variables, con los cuales se puede pueda alcanzar una estabilidad en el sistema.

4.1 Análisis de sensibilidad

Retomando la teoría macroeconómica, es de nuestro conocimiento que los pronósticos generados a partir de un modelo de esta naturaleza, no sólo sirven para predecir sino también para realizar el análisis de sensibilidad del modelo y evaluar las políticas que de él emanen (Pindyck & Rubinfeld, 1991). En este sentido, la base de datos que se generó con los pronósticos de cada una de las corridas realizadas, se utiliza para desarrollar el análisis de sensibilidad. Por otro lado, el contar con esta gran base de datos, nos permite identificar cómo se comportan cada una de las variables del modelo desarrollado (Figura 3.7) bajo diferentes circunstancias, dándonos así la oportunidad de realizar un análisis sistémico. El análisis de sensibilidad que se describe a continuación se realiza de manera sistémica, ya que la principal tarea que en él se desarrolla es identificar cómo el valor mínimo y máximo de cada una de las variables sensibles afecta al resto de las variables. Dentro del presente análisis se consideran parte de las variables identificadas en la Tabla 4.1, las cuales se mencionan a continuación:

- Tarifa usuario
- Trifa concesionario
- Kilometraje
- Demanda
- Costo por kilómetro
- Utilidad sistema
- Utilidad concesionario

El resto de las variables no son incluidas, ya que están consideradas indirectamente; por ejemplo, el ingreso al concesionario se está considerando dentro de la utilidad concesionario, el mismo caso sería para la variable ingreso sistema. En general, la manera en la que se llevó a cabo el análisis fue identificando los valores mínimos y máximos que tomaron las variables antes mencionadas dentro de las 30 corridas que se llevaron a cabo en la etapa de resultados. El análisis sistémico corresponde a identificar el comportamiento del sistema, cuando cada una de las variables toma su valor mínimo y máximo. Este tipo de análisis nos permite identificar rangos para cada una de las variables analizadas, en los que el sistema esté en equilibrio, es decir, nos permite identificar hasta qué valor puede tomar una variable antes de que el sistema se desequilibre o genere pérdidas. Por ejemplo, hasta qué valor se puede establecer la tarifa al usuario, de tal manera que la utilidad del sistema siga siendo positiva.

Para llevar a cabo el análisis de sensibilidad del modelo desarrollado, se presenta una matriz con las variables sensibles, en donde se muestran los valores mínimos y máximos arrojados para cada una de estas variables en las 30 corridas que se llevaron a cabo. El procedimiento que se siguió para analizar cada una de dichas variables fue el siguiente:

- i. Se obtuvo el valor mínimo de la variable dentro de los resultados generados en las 30 corridas que se llevaron a cabo;
- ii. Se identifican los valores correspondientes al resto de las variables sensibles bajo el valor mínimo de la variable que está siendo analizada, i.e., el valor mínimo de la tarifa

al usuario en las 30 corridas realizadas es de \$3.64, cuando la variable tomó este valor, la tarifa del concesionario tomó un valor de \$25.62, recorriendo 9,503,619 km, para satisfacer una demanda de 99,297,440 pasajeros a un costo por kilómetro de \$20.01, lo que implicó una pérdida para el sistema de \$37,597,989.27, mientras que el concesionario generó una utilidad de \$53,275,067.63;

- iii. El procedimiento antes mencionado se repite para el valor máximo de la variable que está siendo analizada;
- iv. Una vez que se obtienen los valores mínimos y máximos de la variable analizada, se procede a analizar de la misma manera la siguiente variable;
- v. El procedimiento se repite hasta concluir con todas las variables sensibles del modelo.

La tabla 4.2 muestra los valores para todas las variables sensibles, la diagonal marcada en naranja representa los valores mínimos y máximos que tomaron cada una de estas variables.

		Tarifa usuario (\$)	Tarifa concesionario (\$)	Kilometraje concesionario (km)	Demanda (pasajeros)	Costo por kilómetro (\$)	Utilidad sistema (\$)	Utilidad concesionario (\$)
Tarifa usuario (\$)	Mínimo	3.64	25.62	9,503,619.00	99,297,440.00	20.01	-37,597,989.27	53,275,067.63
	Máximo	6.29	28.85	12,441,000.00	110,400,000.00	22.43	-81,797,018.53	79,796,130.32
Tarifa concesionario (\$)	Mínimo	3.86	25.13	8,956,998.00	115,951,280.00	20.13	61,527,517.81	44,784,990.00
	Máximo	5.89	29.64	12,627,006.00	120,328,640.00	22.95	85,603,086.98	84,475,084.21
Kilometraje (km)	Mínimo	3.75	25.30	8,698,660.20	101,690,360.00	20.47	5,743,765.21	42,021,071.19
	Máximo	5.14	27.20	12,702,261.00	111,978,720.00	19.42	41,372,451.27	98,823,590.58
Demanda (pasajeros)	Mínimo	5.08	28.84	12,377,142.00	82,322,704.00	23.11	-71,480,949.55	70,921,023.66
	Máximo	4.54	26.20	10,848,639.00	127,443,920.00	19.81	110,593,725.68	69,322,803.21
Costo por kilómetro (\$)	Mínimo	5.08	26.42	12,686,949.00	116,328,480.00	18.76	77,143,939.28	97,182,029.34
	Máximo	4.87	27.99	9,309,000.00	101,200,000.00	25.77	101,141,566.95	20,665,980.00
Utilidad sistema (\$)	Mínimo	4.74	27.19	11,342,364.00	84,636,044.00	21.33	-119,496,250.31	66,466,253.04
	Máximo	5.05	27.75	9,331,794.00	116,896,120.00	24.90	196,618,121.80	26,595,612.90
Utilidad concesionario (\$)	Mínimo	4.28	27.69	8,713,920.00	114,803,120.00	25.60	122,930,623.64	18,212,092.80
	Máximo	5.14	27.20	12,702,261.00	111,978,720.00	19.42	41,372,451.27	98,823,590.58

Tabla 4.2 Análisis de sensibilidad

Fuente: Elaboración propia

Una vez que se obtienen los valores se procede a analizar el comportamiento de las variables para poder identificar de manera holística el comportamiento del sistema. Este análisis de sensibilidad fue desarrollado para identificar rangos de valores críticos (mínimos y máximos) para cada variable, de tal manera que se lograra identificar el punto en donde se puede alcanzar un equilibrio económico en el sistema. A continuación se presenta el análisis por variable de los resultados obtenidos:

a. **Tarifa usuario:**

- i. El valor mínimo que toma es de \$3.64 pesos, mientras que el valor máximo es de \$6.29, lo que representa un incremento del 42% en 10 años; lo que significa que la tarifa que se utiliza actualmente en el sistema (\$6 pesos por viaje) está por debajo de este rango. Cabe mencionar que el valor mínimo lo toma a inicios de la corrida, es decir, en el año 1, lo que significa que a partir de este punto la tarifa comienza a incrementarse como sucede en el sistema actual;
- ii. La demanda que se atendió en ese periodo fue baja, aproximadamente 99 millones de pasajeros (MDPa), cuando el rango de esta variable va de 82 a 127 MDPa, por lo que el sistema presentó una pérdida de aproximadamente \$38 MDP;
- iii. El kilometraje fue bajo de igual manera, ya que se recorrieron aproximadamente 9 millones de kilómetros (MDK); siendo que el rango de esta variable va de 8.7 a 12.7 MDK;
- iv. Al tener un kilometraje bajo, la tarifa al concesionario se comportó de la misma manera ya que se calculó en \$25.62 pesos cuando su rango va de \$25.13 a \$29.64;
- v. En cuanto al costo por kilómetro muestra un comportamiento similar al resto de las variables, ya que está en un valor bajo con \$20.01 pesos por kilómetro, cuando su rango va de \$18.76 a \$25.77 pesos por kilómetro. Por lo tanto, el concesionario logra obtener una utilidad de alrededor de \$53.3 MDP, ya que este costo le genera un margen al concesionario del 22%;
- vi. En general, se puede decir que el tener una tarifa de usuario baja, es por una demanda baja, lo cual genera una pérdida para el sistema, haciendo que el negocio no sea rentable para el gobierno, mientras que para el concesionario, aun cuando recorre pocos kilómetros, sigue generando una utilidad, ya que en este caso maneja un margen de aproximadamente un 22% por kilómetro recorrido;
- vii. Por otro lado, la tarifa al usuario máxima es de \$6.29 pesos, sin embargo la utilidad del sistema, aún con una tarifa tan alta sigue generando pérdidas de aproximadamente \$82 MDP. Dicha pérdida puede ser ocasionada por el kilometraje que es alto, ya que se recorren aproximadamente 12 MDK, lo que implica un egreso mayor. Esta pérdida se genera aún con una demanda más alta que en este caso es de 110 MDPa, lo que significa que aún con este incremento del 10% de pasajeros, dado que el kilometraje recorrido es alto, el ingreso del sistema no es suficiente para cubrir los egresos en su totalidad;

- viii. En el escenario de la tarifa al usuario máxima, la tarifa al concesionario se muestra con un incremento del 11%, ya que se calcula en \$28.85 pesos. A su vez, los kilómetros recorridos son aproximadamente 12.4 MDK, lo que implica un incremento del 24% con respecto al escenario mínimo; casi llegando al límite superior de su rango. Bajo este mismo escenario, la utilidad del concesionario alcanza a llegar a los \$79.8 MDP, lo que representa un incremento del 33% con respecto al escenario de la tarifa al usuario mínima;
- ix. Analizando el comportamiento de la tarifa al usuario, podemos observar que aun cuando la tarifa es alta, no significa necesariamente que el sistema esté en equilibrio y que por lo mismo esté generando una utilidad. Es importante identificar que existen varios factores que afectan directamente el equilibrio económico del sistema, por lo que es importante identificar cuáles son, así como los valores aproximados que deberían tener para poder lograr dicho equilibrio;

El valor mínimo de la variable tarifa usuario es de \$3.64 pesos, mientras que el máximo es de \$6.29. Cuando la variable toma su valor mínimo, genera pérdidas en el sistema aun cuando la demanda y el kilometraje que atiende son bajos. Con lo cual se puede concluir que el tener una tarifa al usuario baja es ocasionado por una demanda baja, lo que a su vez genera pérdidas en el sistema haciendo que el negocio no sea rentable para la parte del gobierno. Por otro lado, el concesionario, a pesar de haber recorrido pocos kilómetros genera una utilidad del 22%. En términos del comportamiento del sistema bajo el valor máximo de la tarifa, aun cuando éste es alto, el sistema sigue generando pérdidas debido a que el kilometraje recorrido fue alto. En este sentido, se puede concluir que el equilibrio del sistema en cuanto a la tarifa usuario, depende tanto de la demanda del sistema como del kilometraje recorrido.

b. Tarifa concesionario:

- i. El valor mínimo que toma es de \$25.13 pesos, mientras que el valor máximo es de \$29.64, lo cual representa un incremento del 15%;
- ii. El costo por kilómetro se calcula en \$20.13 pesos, bajo el escenario de la tarifa al concesionario mínima; lo que le genera un margen del 20% al concesionario, el cual representa una utilidad de aproximadamente \$44.7 MDP;
- iii. En cuanto a la tarifa al usuario bajo el valor mínimo de la tarifa al concesionario, se calcula en un valor de \$3.86 pesos. Bajo este escenario, logramos identificar que la demanda se calcula en aproximadamente 116 MDPa, lo que es considerablemente mayor a lo que se calculó en el apartado anterior, esta demanda sin embargo,

- ya logra generar una utilidad al sistema de aproximadamente \$61.5 MDP;
- iv. En este escenario podemos observar que a pesar de que el kilometraje recorrido de 8.9 MDK se acerque al límite inferior de su rango (8.7 a 12.7 MDK), el concesionario sigue generando utilidades, gracias al margen tan alto que maneja, mismo que le permite al sistema generar una mayor utilidad;
 - v. El valor máximo que alcanza la tarifa al concesionario es de \$29.64 pesos recorriendo un kilometraje de 12.7 MDK, lo que representa un incremento del 29% con respecto a los kilómetros recorridos del escenario anterior; este kilometraje satisface una demanda de 120.3 MDPa lo que representa un incremento del 4% con respecto al escenario mínimo;
 - vi. Bajo el escenario máximo, la tarifa al usuario es de \$5.89 pesos por persona, dado que se tiene una demanda alta, el sistema logra generar una utilidad de aproximadamente \$85.6 MDP, la cual representa un incremento del 28% con respecto al escenario mínimo;
 - vii. Es importante notar que el costo por kilómetro recorrido se incrementó a \$22.95 pesos, lo que representa un aumento del 12%, ya que el kilometraje también sufrió un incremento del 29% y por lo mismo el margen del concesionario se incrementa a un 23%, siendo que en el escenario mínimo alcanzaba un margen del 20%;

Como se puede observar, la tarifa al concesionario logra tener fluctuaciones a lo largo de las corridas presentadas, lo que da indicios a considerar que esta tarifa debería ser dinámica. Es decir, la tarifa concesionario debería de fluctuar a lo largo de los años, ya que el costo por kilómetro varía según el kilometraje recorrido: a mayor kilometraje el costo por kilómetro disminuye y viceversa, a menor kilometraje mayor el costo por kilómetro. En este sentido, es importante notar que si la tarifa al concesionario únicamente incrementa, esto le beneficiaría al concesionario y su margen de ganancia incrementaría exponencialmente.

c. **Kilometraje:**

- i. El rango del kilometraje va de 8.7 a 12.7 MDK, lo que representa un incremento del 32%, en el caso del valor mínimo, la tarifa al usuario se calcula en \$3.75 pesos para atender una demanda de 101.7 MDPa; en este escenario, el sistema logra generar una utilidad mínima de \$5.7 MDP;

- ii. En cuanto al concesionario, su tarifa se calcula en \$25.3 pesos por kilómetro a un costo de \$20.47, lo cual le deja un margen del 19% con el que logra generar una utilidad de \$42 MDP;
- iii. En el caso del valor máximo del kilometraje (12.7 MDK) se logra un costo por kilómetro de \$19.42, el cual representa una disminución del 5% con respecto al escenario mínimo; por otro lado, la tarifa al concesionario alcanza los \$27.2 pesos, generando un incremento del 7%, lo que a su vez le genera un margen al concesionario del 29%. Este escenario es un claro ejemplo en donde el concesionario puede generar utilidades elevadas si no se tiene cuidado con la tarifa que se le paga, ya que aunque la tarifa no esté en el límite superior, el costo de operación se redujo por la cantidad de kilómetros recorridos y esto le genera un margen de ganancia por arriba de lo normal;

Como podemos ver en el caso concreto del kilometraje, a menor kilometraje mayor el costo por kilómetro y por lo tanto menor su margen de utilidad, sin embargo a mayor kilometraje menor el costo por kilómetro y por lo mismo mayor el margen de utilidad del concesionario, lo que generaría un incremento exponencial de sus utilidades.

d. Demanda:

- i. El rango de la demanda oscila entre los 82.3 y 127.4 MDPa, lo que implica un incremento del 35%. En el caso del límite inferior, a una tarifa de usuario de \$5.08 pesos, se estaría generando una pérdida para el sistema de \$71.4 MDP;
- ii. En el caso del rango superior de la demanda, a una tarifa de \$4.54 pesos, se logra obtener una utilidad de \$110.6 MDP, lo que representa un incremento del 165% con respecto al valor mínimo;
- iii. En cuanto al kilometraje, se observa que en el límite inferior de la demanda, se recorren 12.4 kilómetros a una tarifa de concesionario de \$28.84 y un costo por kilómetro de \$23.11, dado que es un kilometraje alto y una demanda baja, es por ello por lo que el sistema sufre la pérdida de \$71.4 MDP. Bajo este escenario el concesionario genera un margen del 20%;
- iv. En el límite superior de la demanda, 127.4 MDPa, se calcula un recorrido de 10.8 MDK, lo que implica un decremento del 14%, a una tarifa de concesionario de \$26.2 pesos, lo cual representa un decremento del 10% con respecto al escenario mínimo; bajo un costo por kilómetro

de \$19.81 pesos, el cual, de igual manera representa un decremento del 17%.

- v. Dado que la demanda incrementó en un 35% y el kilometraje disminuyó en un 14%, el sistema logra incrementar su utilidad en un 165%, generando 110.6 MDP, con una tarifa al usuario de \$4.54. Bajo este escenario, aún el concesionario logra ganar un margen del 24%;

Como se puede observar, una demanda alta podría garantizar que el sistema no tuviera pérdidas. No obstante, cabe mencionar que es a partir de la demanda que se genera el ingreso del sistema y con este mismo ingreso es con el que se absorbe el gasto del concesionario por lo tanto, se debe tener en cuenta que si el kilometraje recorrido y la tarifa que se le paga al concesionario es alto, el sistema podría generar pérdidas aún con una demanda alta. Esto es, una demanda alta no puede garantizar que el sistema no genere pérdidas, ya que está directamente relacionada con el kilometraje y la tarifa al concesionario.

e. Costo por kilómetro:

- i. El costo por kilómetro oscila entre \$18.76 y \$25.77, el cual se encuentra por debajo del rango de la tarifa al concesionario que va de \$25.13 a \$29.64, esto significa que por muy baja que esté la tarifa del concesionario, lo máximo que podría perder serían \$0.64 centavos por kilómetro recorrido;
- ii. El rango del costo por kilómetro implica un incremento del 27%, sin embargo, si el costo por kilómetro se incrementa en un 27%, significa que el kilometraje se redujo en un 36% y por lo tanto la utilidad del concesionario disminuye en un 370%, aun cuando la tarifa al concesionario se incrementó en un 6%;
- iii. En el escenario del costo por kilómetro mínimo, se presenta una demanda de 116 MDPa a una tarifa de usuario de \$5.08 que genera una utilidad al sistema de \$77 MDP. En este escenario, el kilometraje está casi en su límite superior con 12.7 MDK y presenta una tarifa de concesionario por \$26.42, lo que le genera un margen del 29%. Esto significa que el margen más alto que puede alcanzar el concesionario es cuando el costo por kilómetro está en su límite inferior, que a su vez se logra cuando el kilometraje está por su límite superior, por lo que habría que tenerlo en consideración para el cálculo apropiado de la tarifa de concesionario;
- iv. En el caso opuesto, es decir, con un costo por kilómetro de \$25.77, a una tarifa de concesionario de \$27.99 recorriendo 9.3 MDK, se logra un margen del 8%, lo que significa que es en este momento en donde el

concesionario maneja el margen más bajo, sin embargo sigue generando utilidad mas no pérdida;

Podemos identificar que el costo por kilómetro es una variable sensible que le puede brindar un margen o muy alto o muy bajo al concesionario por lo que debería monitorearse de tal manera que se calculara en función de la tarifa al concesionario y el costo por kilómetro.

f. Utilidad del sistema:

- i. La utilidad del sistema logra su valor máximo incrementando un 161% con respecto al valor mínimo, considerando que la demanda incrementó en un 28%, el kilometraje disminuyó en un 22%, la tarifa al concesionario incrementó un 2% y la del usuario incrementó un 6%;
- ii. El sistema genera su mayor pérdida (\$119.5 MDP) cuando presenta una demanda baja, en este caso de 84.6 MDP, para una tarifa de usuario de \$4.74, recorriendo 11.3 MDK a una tarifa de concesionario de \$27.19;
- iii. Por el contrario, genera su mayor utilidad cuando atiende una demanda de 116.9 MDPa a una tarifa de usuario de \$5.05, recorriendo 9.3 MDK a una tarifa de concesionario de \$27.75;

Para lograr utilidad en el sistema, se debe compensar el kilometraje recorrido con la demanda que ingrese al sistema, si una de las variables está fuera de los rangos de seguridad, el sistema puede generar pérdidas.

g. Utilidad del concesionario:

- i. La utilidad del concesionario logra su valor máximo incrementando un 82% con respecto al valor mínimo, considerando que la demanda disminuyó en un 3%, el kilometraje incrementó en un 31%, la tarifa al concesionario disminuyó un 2%, sin embargo, el costo por kilómetro disminuyó un 32% y el sistema disminuyó su utilidad en un 197% aun cuando la tarifa al usuario incrementó un 17%;
- ii. El concesionario logra su menor utilidad cuando recorre 8.7 MDK a una tarifa de \$27.69 bajo un costo por kilómetro de \$25.6, alcanzando un margen del 8%;
- iii. Sin embargo, logra su mayor utilidad cuando recorre 12.7 MDK a una tarifa de \$27.2 bajo un costo por kilómetro de \$19.42 pesos alcanzando un margen del 29%.

El concesionario siempre logra generar utilidad, aun cuando su tarifa está en el valor mínimo. Por ello, es que se debe tener especial cuidado en los kilómetros que recorre, así como en la tarifa que se le asigna, ya que de lo contrario éste siempre se verá beneficiado e incluso podría generar utilidades por arriba de lo esperado.

Como conclusión general, se desarrolla una tabla comparativa (Tabla 4.3) en donde se muestran las variables analizadas, así como las relaciones que tienen cada una de ellas con el resto de las variables. Al mismo tiempo, se identifica el tipo de relación que presentan, es decir, la relación puede llegar a ser directamente proporcional o indirectamente proporcional. Si la relación es directamente proporcional, significa que cuando una de las variables incrementa, la otra incrementará de igual forma; es decir, se comportan de la misma manera. Por otro lado, si la relación es indirectamente proporcional significa que cuando una variable incrementa la otra decrecerá; es decir, su comportamiento es opuesto.

En general, podemos observar (Tabla 4.3) que únicamente existe una variable, la demanda, que tiene relación con dos variables, mientras que el resto de las variables tienen 3 variables relacionadas, con la excepción del costo por kilómetro que tiene relación con 4 variables. Este análisis nos permite comprobar que las variables analizadas son las más sensibles por la cantidad de variables relacionadas que tiene cada una de ellas. En cuanto al tipo de relación que presentan las variables, podemos identificar que son directamente proporcional, a excepción del costo por kilómetro, quien muestra una relación inversamente proporcional al kilometraje del concesionario. Esta última relación corresponde al comportamiento que presentó el costo por kilómetro con respecto al kilometraje del concesionario, en donde se identificó que a mayor kilometraje menor el costo por kilómetro, obteniendo así un mayor margen de ganancia, lo que a su vez genera una mayor utilidad para el concesionario.

	Tarifa usuario	Tarifa concesionario	Kilometraje concesionario	Demanda	Costo por kilómetro	Utilidad sistema	Utilidad concesionario	Total Variables relacionadas
Tarifa usuario				Directamente proporcional	Directamente proporcional	Directamente proporcional		3
Tarifa concesionario			Directamente proporcional		Directamente proporcional		Directamente proporcional	3
Kilometraje concesionario		Directamente proporcional			Inversamente proporcional		Directamente proporcional	3
Demanda	Directamente proporcional					Directamente proporcional		2
Costo por kilómetro	Directamente proporcional	Directamente proporcional	Inversamente proporcional				Directamente proporcional	4
Utilidad sistema	Directamente proporcional			Directamente proporcional				2
Utilidad concesionario		Directamente proporcional	Directamente proporcional		Directamente proporcional			3

Tabla 4.3 Tabla comparativa de variables sensibles con sus relaciones

Fuente: Elaboración propia

Por último, como parte del análisis de sensibilidad se evalúa la variable subsidio, con el fin de determinar si es posible eliminarla del modelo sin ocasionar un desequilibrio. Para ello, se siguió una metodología distinta al resto de las variables. El procedimiento consistió en graficar el comportamiento del sistema con el subsidio, es decir la situación actual y posteriormente, modificar la participación del concesionario de un 87% a un 100%, lo que implica que el 13% de los kilómetros que recorría RTP como subsidio del sistema se traspasan al concesionario. Como podemos observar en el Gráfico 4.12, el sistema presenta varios periodos con pérdidas, mientras que el concesionario siempre está generando una utilidad. Por otro lado, podemos observar cómo los servicios del sistema tienen un comportamiento a la par con el ingreso del propio sistema, lo que le hace tener un margen de ganancia muy bajo o casi nulo. Al eliminar el subsidio (Gráfico 4.13) podemos notar que el sistema mejora sus utilidades y que prácticamente ya no existen periodos con pérdida, lo cual contribuye para alcanzar el equilibrio económico buscado. Sin embargo, algo importante de notar es que en el momento que se elimina el subsidio, los kilómetros deberán ser recorridos por otra entidad, en este caso, el único que lo podría hacer sería el concesionario. Esto implicaría que el concesionario tendrá asignado un mayor número de kilometraje y por ende estaría generando una mayor utilidad como se observa en el Gráfico 4.13, que a diferencia del pico máximo de utilidad que se podría alcanzar en un modelo con subsidio sería de aproximadamente 1,000 MDP, mientras que el modelo sin subsidio, se logra alcanzar un pico de aproximadamente 1,400 MDP. El que el concesionario genere una mayor utilidad es motivo de análisis, sin embargo, la mejora financiera del modelo es evidente si eliminamos un egreso como el subsidio a futuro. En otras palabras, el análisis de sensibilidad muestra que es factible eliminar el subsidio que hoy se le da al sistema, ya que éste no se vería afectado, sino por el contrario el sistema ya no presentaría pérdidas; lo que implica una mejora financiera en el modelo.

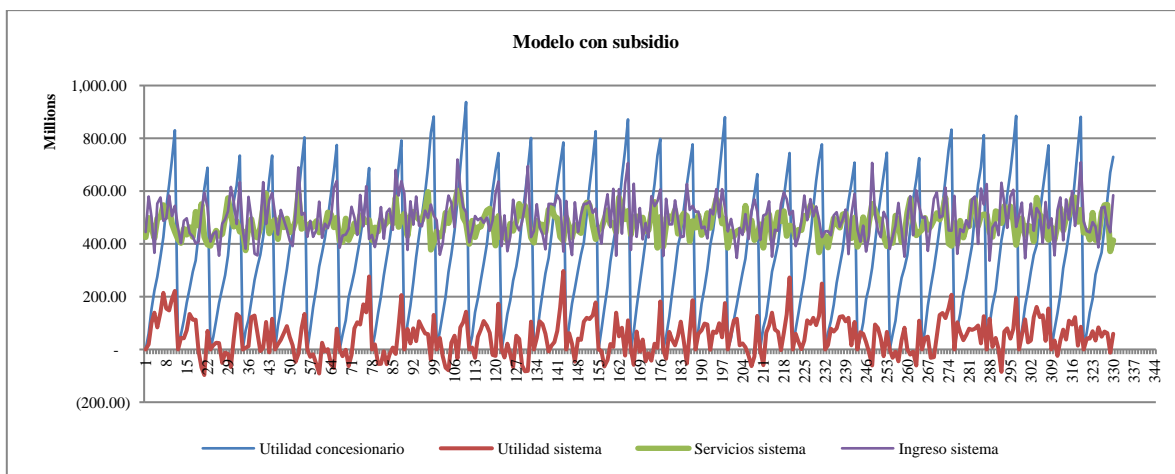


Gráfico 4.12 Modelo con subsidio

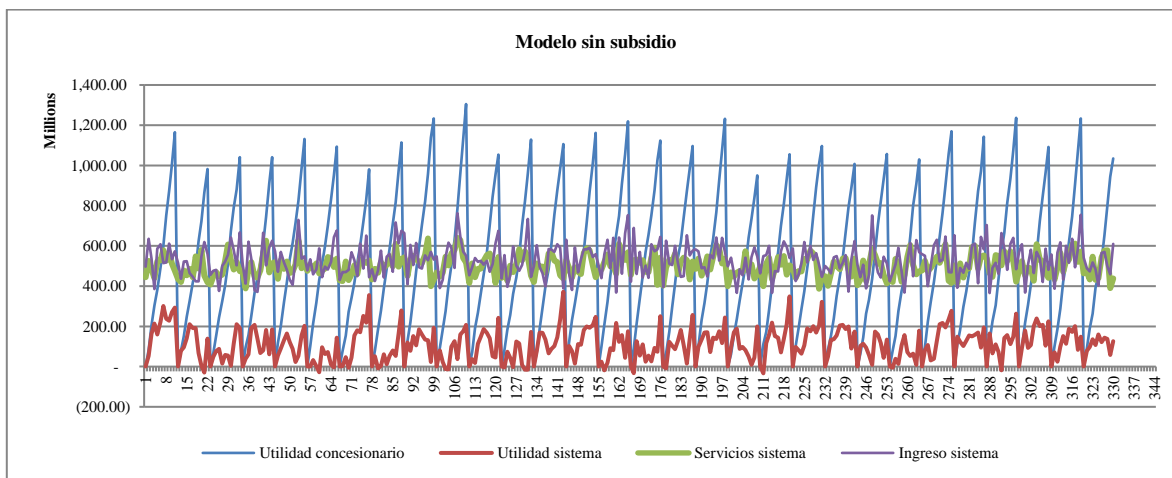


Gráfico 4.13 Modelo sin subsidio

4.1.1 Evaluación financiera

A fin de realizar un análisis holístico y completo de una concesión, se procede a analizar financieramente la información que el modelo de simulación generó. Para ello, se comienza por identificar los flujos de efectivo que generó dicho modelo en los 10 años de simulación, representándolos mediante la ayuda de los estados de resultados. Sin embargo, en primera instancia debemos identificar la depreciación que estarán generando los autobuses, así como los intereses que se tendrán que pagar por su financiamiento. La depreciación, en cuestiones de transporte, se obtiene en línea recta a 4 años como se muestra en la Tabla 4.4. La manera como se calcula dicha depreciación es dividiendo el costo de los autobuses (antes de impuestos), entre los 4 años en los que se irán depreciando. En este caso, se inicia con una flota de 60 autobuses, misma que irá incrementando a lo largo de la simulación como se muestra en la Tabla 4.4. Por ejemplo, en el año 1 se inicia con una flota de 60 autobuses lo que implica un monto total a depreciar de aproximadamente 82 MDP, sin embargo, para el año 2 se adquieren 11 autobuses más, los cuales se deberán depreciar de la misma manera que los 60 iniciales; por lo tanto, para el año 2 se estarían depreciando 71 autobuses lo que corresponde a un monto total a depreciar de aproximadamente 97 MDP.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Autobuses										
60	82,500,000	82,500,000	82,500,000	82,500,000						
11		15,125,000	15,125,000	15,125,000	15,125,000					
12			16,500,000	16,500,000	16,500,000	16,500,000				
15				20,625,000	20,625,000	20,625,000	20,625,000			
14					19,250,000	19,250,000	19,250,000	19,250,000		
15						20,625,000	20,625,000	20,625,000	20,625,000	
Monto Total a Depreciar	82,500,000	97,625,000	114,125,000	134,750,000	71,500,000	77,000,000	60,500,000	39,875,000	20,625,000	-

Tabla 4.4 Depreciación en línea recta de los autobuses

Fuente: Elaboración propia con base en la teoría de finanzas corporativas

Posteriormente, se procede a calcular la tabla de amortización, de tal manera que podamos identificar los montos anuales correspondientes al pago del financiamiento de los autobuses tal como se muestra en la Tabla 4.5.

Año	Saldo inicial	Pago total	Pago interés	Pago principal	Saldo final
1	\$330,000,000.00	\$84,840,510.80	\$29,700,000.00	\$55,140,510.80	\$274,859,489.20
2	\$335,359,489.20	\$100,394,604.44	\$30,182,354.03	\$70,212,250.41	\$265,147,238.79
3	\$331,147,238.79	\$117,362,706.60	\$29,803,251.49	\$87,559,455.11	\$243,587,783.68
4	\$326,087,783.68	\$138,572,834.30	\$29,347,900.53	\$109,224,933.77	\$216,862,849.91
5	\$293,862,849.91	\$158,368,953.49	\$26,447,656.49	\$131,921,296.99	\$161,941,552.92
6	\$244,441,552.92	\$94,738,570.39	\$21,999,739.76	\$72,738,830.63	\$171,702,722.29
7	\$171,702,722.29	\$79,184,476.74	\$15,453,245.01	\$63,731,231.74	\$107,971,490.56
8	\$107,971,490.56	\$62,216,374.58	\$9,717,434.15	\$52,498,940.43	\$55,472,550.12
9	\$55,472,550.12	\$41,006,246.88	\$4,992,529.51	\$36,013,717.37	\$19,458,832.75
10	\$19,458,832.75	\$21,210,127.70	\$1,751,294.95	\$19,458,832.75	\$0.00

Tabla 4.5 Amortización del financiamiento de los autobuses

Fuente: Elaboración propia con base en la teoría de finanzas corporativas

Con la información generada por el modelo, la depreciación y la tabla de amortización, se procede a elaborar los estados de resultados tanto para el concesionario como para el sistema, que en este caso sería el gobierno, como se muestran en las Tablas 4.6 y 4.7.

Estado de Resultados para concesionario que opera un BRT										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingreso concesionario	\$321,470,782.45	\$284,914,384.82	\$254,190,832.39	\$308,986,854.46	\$312,384,749.63	\$360,954,324.79	\$317,674,265.55	\$343,167,666.15	\$379,998,979.61	\$347,321,551.20
Costo de operación	\$229,909,006.74	\$214,773,970.72	\$201,973,882.34	\$233,012,366.69	\$238,487,985.92	\$249,834,268.58	\$231,086,577.39	\$247,805,484.35	\$270,712,577.38	\$261,272,710.36
Utilidad bruta	\$91,561,775.71	\$70,140,414.10	\$52,216,950.05	\$75,974,487.77	\$73,896,763.71	\$111,120,056.21	\$86,587,688.16	\$95,362,181.80	\$109,286,402.23	\$86,048,840.84
Utilidad de operación	\$91,561,775.71	\$70,140,414.10	\$52,216,950.05	\$75,974,487.77	\$73,896,763.71	\$111,120,056.21	\$86,587,688.16	\$95,362,181.80	\$109,286,402.23	\$86,048,840.84
Utilidad antes de impuestos	\$91,561,775.71	\$70,140,414.10	\$52,216,950.05	\$75,974,487.77	\$73,896,763.71	\$111,120,056.21	\$86,587,688.16	\$95,362,181.80	\$109,286,402.23	\$86,048,840.84
Pago de impuestos	\$27,468,532.71	\$21,042,124.23	\$15,665,085.02	\$22,792,346.33	\$22,169,029.11	\$33,336,016.86	\$25,976,306.45	\$28,608,654.54	\$32,785,920.67	\$25,814,652.25
Utilidad neta	\$64,093,243.00	\$49,098,289.87	\$36,551,865.04	\$53,182,141.44	\$51,727,734.60	\$77,784,039.34	\$60,611,381.71	\$66,753,527.26	\$76,500,481.56	\$60,234,188.59
Flujo de efectivo	\$64,093,243.00	\$49,098,289.87	\$36,551,865.04	\$53,182,141.44	\$51,727,734.60	\$77,784,039.34	\$60,611,381.71	\$66,753,527.26	\$76,500,481.56	\$60,234,188.59
Tasa de descuento	9%									
VPN	\$373,350,429.11									

Tabla 4.6 Estado de Resultados para un concesionario que opera BRT

Como podemos observar, el flujo de efectivo para cada año del proyecto se obtiene a partir de la utilidad neta. Una vez generados los 10 flujos de efectivo, estos se descuentan a una tasa del 9%, misma tasa con la que el acreedor financia los autobuses, por lo que sería el costo de oportunidad de colocar ese mismo dinero en el mercado, para obtener el Valor Presente Neto (VPN) del Proyecto. Realizando un análisis costo-beneficio, podemos ver que en el caso del concesionario el proyecto es rentable, ya que su VPN es positivo, lo que quiere decir que a 10 años el concesionario estaría generando una utilidad y ésta será de aproximadamente 373 millones de pesos. Como podemos observar en la Tabla 4.6, los flujos de efectivo para cada uno de los 10 años analizados son positivos, lo que significa que el concesionario empieza a generar utilidades desde el primer año de operación. Este fenómeno se presenta gracias a que el concesionario no tiene la necesidad de realizar una inversión, ya que el sistema es quien absorbe la compra de los autobuses y por lo mismo elimina el factor de riesgo por inversión del concesionario.

Estado de Resultados para el gobierno que proporciona un BRT										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingreso sistema	\$579,400,957.48	\$501,824,552.25	\$366,247,714.3	\$553,263,905.18	\$575,812,708.48	\$487,565,775.25	\$495,732,653.15	\$582,545,138.38	\$505,677,712.77	\$543,668,060.25
Costo de operación	\$420,451,378.38	\$392,379,031.83	\$363,069,487.9	\$419,279,518.49	\$422,677,413.66	\$472,660,997.33	\$430,794,946.61	\$457,702,355.72	\$396,967,081.77	\$365,703,661.87
Utilidad bruta	\$158,949,579.11	\$109,445,520.42	\$3,178,226.43	\$133,984,386.69	\$153,135,294.82	\$14,904,777.92	\$64,937,706.54	\$124,842,782.66	\$108,710,631.00	\$177,964,398.38
Gastos generales	\$78,009,355.97	\$70,402,474.24	\$59,148,030.92	\$76,672,128.97	\$79,044,027.69	\$74,658,882.55	\$72,420,233.96	\$80,900,188.92	\$79,026,614.79	\$80,233,746.85
Utilidad antes de depreciación	\$80,940,223.13	\$39,043,046.18	-\$55,969,804.49	\$57,312,257.71	\$74,091,267.13	-\$59,754,104.63	-\$7,482,527.43	\$43,942,593.74	\$29,684,016.21	\$97,730,651.54
Depreciación	\$82,500,000.00	\$97,625,000.00	\$114,125,000.0	\$134,750,000.00	\$71,500,000.00	\$77,000,000.00	\$60,500,000.00	\$39,875,000.00	\$20,625,000.00	\$-
Utilidad de operación	\$76,449,579.11	\$11,820,520.42	-\$110,946,773.5	-\$765,613.31	\$81,635,294.82	-\$62,095,222.08	\$4,437,706.54	\$84,967,782.66	\$88,085,631.00	\$177,964,398.38
Pago de intereses	\$29,700,000.00	\$30,182,354.03	\$29,803,251.49	\$29,347,900.53	\$26,447,656.49	\$21,999,739.76	\$15,453,245.01	\$9,717,434.15	\$4,992,529.51	\$1,751,294.95
Utilidad antes de impuestos	\$46,749,579.11	-\$18,361,833.61	-\$140,750,025.1	-\$30,113,513.84	\$55,187,638.33	-\$84,094,961.84	-\$11,015,538.47	\$75,250,348.51	\$83,093,101.49	\$176,213,103.44
Pago de impuestos	\$14,024,873.73	\$-	\$-	\$-	\$16,556,291.50	\$-	\$-	\$22,575,104.55	\$24,927,930.45	\$52,863,931.03
Utilidad neta	\$32,724,705.37	-\$18,361,833.61	-\$140,750,025.1	-\$30,113,513.84	\$38,631,346.83	-\$84,094,961.84	-\$11,015,538.47	\$52,675,243.96	\$58,165,171.04	\$123,349,172.40
Flujo de efectivo	\$115,224,705.37	\$79,263,166.39	\$26,625,025.06	\$104,636,486.16	\$110,131,346.83	-\$7,094,961.84	\$49,484,461.53	\$92,550,243.96	\$78,790,171.04	\$123,349,172.40
Tasa de descuento	9%									
VPN	\$326,842,346.95									
TIR	83%									

Tabla 4.7 Estado de Resultados para el gobierno que proporciona un BRT

En el caso del gobierno podemos observar que los flujos de efectivo son mayores a los del concesionario, sin embargo, existen 5 de 10 años en los que el gobierno presenta pérdidas. No obstante, aún con estas pérdidas el análisis costo-beneficio arroja que el negocio es rentable para el gobierno, ya que su VPN es positivo y nos indica que a 10 años de la concesión estaría generando una utilidad de aproximadamente 326 MDP, lo que vendría siendo 46.5 MDP menos que el concesionario. En el caso del gobierno, se puede hacer la evaluación financiera calculando la Tasa Interna de Retorno (TIR) para poder identificar el rendimiento del proyecto y complementar el análisis costo-beneficio. A diferencia del concesionario, el gobierno sí realiza una inversión al inicio de la concesión, dicha inversión representa la compra de los autobuses necesarios para iniciar la operación. En este caso, la TIR del proyecto sería del 83%, lo cual es una cifra bastante alta que nos indica que el rendimiento del dinero invertido será del 83%, lo que vendría siendo los 326 MDP de utilidad esperada al final del año 10 de operación.

4.2 Discusión Interna

Al inicio de la investigación, se lograron identificar una serie de elementos clave que abarcaban la constitución legal de una concesión y aquellos elementos con los que se estableció la concesión de la Línea 1 del Metrobús (Tabla 1.1). A lo largo de la investigación, se llevaron a cabo una serie de pasos para lograr analizar cuantitativamente los elementos antes mencionados, de tal manera que a partir de los resultados generados se obtuvieran afirmaciones y políticas para cada uno de estos elementos, mismas que servirían de base para el desarrollo de futuras concesiones de transporte público.

1. El *periodo de concesión* establecido en el contrato de la Línea 1 del Metrobús fue por 10 años, mismo que se estableció en función a la vida útil de los autobuses. En ese sentido, logramos identificar que el periodo de concesión no fue definido mediante un análisis cuantitativo. Sin embargo, los resultados del modelo de simulación desarrollado en la presente investigación, demuestran que el periodo de 10 años es tiempo suficiente para que tanto el gobierno como el concesionario, generen utilidades. No obstante, derivado del análisis se logra identificar que el propio sistema es quien absorbe la inversión del concesionario, ya que el pago del financiamiento de los autobuses proviene de los ingresos del sistema, más no de los ingresos del concesionario. Dado que el concesionario no es quien paga por los autobuses, éste no adquiere el riesgo de la inversión y por lo mismo tiene la capacidad de generar utilidades desde el inicio de la operación. Un factor a considerar, es que si este esquema de negocio llegara a cambiar y el concesionario fuera el responsable del pago del financiamiento de los autobuses, se tendría que hacer un nuevo análisis para determinar si el periodo de 10 años es tiempo suficiente para que el concesionario recupere su inversión y genere utilidades.

Política periodo de concesión: El periodo de concesión para una Concesión por Transporte Público en la Ciudad de México se puede establecer en 10 años, siempre y cuando el financiamiento de los autobuses sea absorbido por los ingresos del sistema, más no por el concesionario mismo.

2. La *demanda* es la variable más sensible del sistema, en cuanto a ingresos se refiere, ya que es a partir de ésta que el sistema genera todo el flujo de efectivo con el cual se pagarán todos los servicios derivados de la operación para que una vez pagados dichos servicios, se logre obtener una ganancia. Por lo tanto, la demanda que ha presentado el sistema a lo largo de los años, ha sido suficiente para hacer que el negocio sea rentable, sin embargo, el análisis de sensibilidad nos arroja que la demanda debe ser mayor a 100 millones de pasajeros al año, para que el negocio sea rentable, es decir que no existan pérdidas a lo largo de la concesión.

Política demanda: La demanda mínima para que una Concesión por Transporte Público tipo BRT en la Ciudad de México, sea rentable es de 100 millones de pasajeros al año.

3. La *tarifa al usuario* de la concesión actual de la Línea 1 del Metrobús, es establecida por el Jefe de Gobierno en curso, sin embargo se considera que éste es un ente ajeno a la operación diaria del sistema y por lo mismo, dada la falta de análisis cuantitativo para su cálculo, esta variable fue analizada con detenimiento en el modelo. Los resultados arrojados establecen que la tarifa al usuario se debe calcular en función de las variables costo por kilómetro y utilidad del sistema, de tal manera que se logre establecer una tarifa con la que se puedan pagar los gastos de la operación e incluso generar utilidades para que el sistema logre mantener un equilibrio financiero. El análisis de sensibilidad nos arroja que la tarifa al usuario oscila en un rango de \$3.64 como límite inferior y \$6.29 como límite superior, lo que implica que la tarifa al usuario con la que opera actualmente la Línea 1 del Metrobús (\$6 pesos por viaje) es una tarifa adecuada con la que se puede alcanzar un equilibrio financiero en el sistema. Sin embargo, se logra identificar que dicho equilibrio no depende únicamente de la tarifa al usuario establecida, sino por la relación que existe entre la demanda, el costo por kilómetro y la utilidad del sistema. Es decir, aún si se cuenta con una tarifa al usuario alta, pero la demanda es baja y se recorre un número alto de kilómetros, el sistema generará pérdidas porque se le tiene que pagar al concesionario un monto mayor por los kilómetros que recorrió.

Política tarifa al usuario: La tarifa al usuario se debe calcular en función de las variables costo por kilómetro y utilidad del sistema, manteniendo como valor mínimo una tarifa al usuario de \$5 pesos.

4. El análisis de sensibilidad muestra que el *costo de operación* presenta un comportamiento de economía de escala, es decir, a mayor kilometraje recorrido, menor el costo de operación. Este hallazgo resulta de gran interés, ya que es un dato que no se había identificado al inicio de la investigación. Por lo tanto, dado el comportamiento del costo de operación, se propone que la *tarifa al concesionario* sea dinámica. El propósito de establecer la tarifa bajo un esquema dinámico es para compensar las ganancias que pudiera llegar a tener el concesionario, impidiendo así que genere utilidades irracionales. La manera en cómo funcionaría este nuevo esquema, es ajustando la tarifa al concesionario cuando exista un incremento en el kilometraje recorrido, es decir, si se presenta un incremento en el kilometraje, la tarifa al concesionario deberá disminuir y viceversa, si el kilometraje disminuye, la tarifa deberá incrementar. El hallazgo enfocado al comportamiento en el costo de operación, se deriva de la relación que existe entre éste y el kilometraje asignado al concesionario, ya que la relación entre ambos es inversamente proporcional. Dado este tipo de relación, se identificó que a mayor kilometraje menor el costo de operación y por ende el margen de utilidad del concesionario se incrementa considerablemente. El impedir que el concesionario genere utilidades irracionales o ilimitadas en una concesión es un aspecto que se busca desde un ámbito legal, tal y como se menciona en la *Sección 1: Concesiones del Transporte Público en México*, en donde se señala que la ganancia del concesionario debe ser moderada, de tal manera que nos permita encontrar el equilibrio financiero deseado.

Política tarifa concesionario: La tarifa al concesionario deberá ser dinámica y su cálculo deberá ser en función de los kilómetros recorridos, considerando que a mayor kilometraje menor el costo de operación; el valor mínimo que puede tomar la tarifa al concesionario será de \$25.5 pesos por kilómetro recorrido.

5. Actualmente, el gobierno otorga un *subsidio* a la concesión de la Línea 1 del Metrobús, el cual se genera a través del pago por la operación de los autobuses manejados por RTP (aproximadamente un 13% de la operación). Por lo tanto, como parte del análisis de sensibilidad, se analiza la posibilidad de eliminar dicho subsidio sin afectar el equilibrio financiero del sistema. Los resultados derivados de este análisis muestran que el subsidio puede ser eliminado y que aun cuando el sistema ya no cuenta con dicho subsidio, los resultados económicos mejoran considerablemente, ya que se dejan de generar pérdidas en el sistema. Es importante recalcar que el modelo, bajo el esquema actual en donde se considera el subsidio del 13% de la operación por RTP, presenta pérdidas a lo largo de las 30 corridas de la simulación; lo que implica que sin el subsidio, el sistema se vería beneficiado económicamente, ya que éste dejaría de tener pérdidas. Sin embargo, habría que analizar el hecho de que el kilometraje que ya no estaría recorriendo RTP pasara a ser operado por el concesionario, ya que habría que considerar el punto anterior en el que se comprueba que a mayor kilometraje, mayor su margen de ganancia y por lo mismo el concesionario estaría generando mayores utilidades.

Política de subsidio: El sistema no requiere de un subsidio para operar sanamente.

6. El análisis financiero que se llevó a cabo para las dos partes involucradas en la concesión (Metrobús-sistema, y concesionario), mostraron en ambos casos, un Valor Presente Neto positivo, lo que significa que el negocio es rentable para las dos partes involucradas. En el caso específico del concesionario, podemos observar que desde el primer año de operación comienza a generar utilidades; visto de otra manera, el concesionario no presenta pérdidas en ninguno de los 10 años de su operación. Esto se debe a que el propio sistema es quien se encarga de absorber el gasto por financiamiento de los autobuses y no el concesionario como tal. Por otro lado, tal y como se identificó en el análisis de sensibilidad, la tarifa al concesionario siempre está por arriba de sus costos operativos, lo que le permite generar utilidades de manera constante. El VPN del concesionario es de aproximadamente 373 millones de pesos, lo que significa que al final de los 10 años de operar la concesión ese será el flujo de efectivo con el que contará. Como podemos observar, para el concesionario es un excelente negocio el formar parte de una concesión de Transporte Público bajo el esquema actual, ya que no está arriesgando capital.

En el caso del sistema, los resultados del análisis financiero son opuestos a los del concesionario ya que éste sí presenta pérdidas en 5 de los 10 años de operación, sin embargo su VPN es positivo y presenta una TIR del 83%, lo que significa que aun cuando genera pérdidas en la mitad del periodo de la concesión, las ganancias que genera en el resto del periodo le son suficientes para que el negocio sea rentable. Como podemos observar, el negocio de una concesión por Transporte Público, bajo el esquema actual, implica un riesgo bastante alto para el gobierno, sin embargo

logran encontrar el equilibrio financiero al término del periodo de la concesión.

7. Por último, se hace incapié en que los precios utilizados para el análisis son precios constantes, los cuales están calculados con base del año 2015, por lo que a futuro, estos precios deberán ser inflacionados para su correcta actualización.

4.3 Conclusiones

La metodología desarrollada en el presente estudio, logra resolver el problema de investigación planteado inicialmente, mediante el desarrollo de un modelo de simulación de Dinámica de Sistemas, mismo que describe el sistema de una concesión de Transporte Público en la Ciudad de México, utilizando como caso de estudio la Línea 1 del Metrobús. Dentro del modelo se establecen los elementos de mayor relevancia, así como las relaciones que de ellos emanan, logrando así obtener los resultados buscados. Estos resultados fueron sometidos a un análisis sistémico de sensibilidad, con el cual se logran identificar aquellos elementos sensibles en el sistema. Con la identificación de estos elementos, así como su comportamiento dentro del sistema, se logran definir políticas que le servirán como base al gobierno, para el desarrollo de futuras concesiones. Al mismo tiempo, estas políticas podrán brindarle al gobierno la posibilidad de tener una mejor negociación con el privado.

Retomando las preguntas de investigación planteadas al inicio, cabe mencionar que se logra obtener una respuesta para cada una de ellas. Se identifica que al día de hoy no existe una metodología con base matemática que apoye la elaboración de un contrato de concesión. Al mismo tiempo, se identifica que las concesiones a nivel mundial están despuntando, ya que los gobiernos principalmente, se están viendo obligados a recurrir a un privado para que los apoye en proyectos para los que no cuentan con las capacidades necesarias para desarrollarlos de manera independiente.

En ese sentido, se logra alcanzar el objetivo general de la investigación, ya que el modelo desarrollado fue trasladado a una hoja de cálculo para que personas que no están familiarizadas con la simulación puedan utilizarlo como herramienta en el desarrollo y/o evaluación de futuras concesiones. Esta hoja de cálculo contiene todas las fórmulas y criterios utilizados en el modelo de simulación para que el usuario sólo tenga que ingresar los nuevos parámetros que deberán analizarse y el mismo modelo despliega los resultados deseados. Si el usuario no quisiera utilizar la herramienta, las políticas descritas en la sección anterior sirven de base para la definición de una concesión que sea rentable para las partes involucradas.

El modelo desarrollado en la investigación logra tener un enfoque sistémico gracias a la herramienta de Investigación de Operaciones que se utilizó: Dinámica de Sistemas. Con ella logramos identificar las variables de mayor relevancia en el sistema analizado, así como las relaciones que tienen cada una de ellas con el resto de las variables para lograr identificar el comportamiento sistémico de la concesión. Esta herramienta nos ayudó a diseñar y cuantificar el sistema, así como a calcular cada una de las variables para poder identificar aquellas de mayor sensibilidad. Por último, el modelo desarrollado se logra trasladar a una hoja de cálculo, de tal manera que les sirva de herramienta analítica al gobierno para futuras

concesiones. Al estar en una hoja de cálculo, se facilita la modificación de parámetros o incluso variables para adaptarlo a otros medios de transporte.

Es importante recalcar, que independientemente de que se lleve a cabo un análisis sistémico de una concesión, utilizando la herramienta desarrollada en esta investigación, cualquier modelo de transporte público no tiene éxito si no existe una demanda. En ese sentido, al realizar el modelo de simulación de una concesión de transporte público podemos identificar que la demanda es una de las variables más sensibles dentro del modelo. Es por ello, por lo que podemos concluir que cuando el gobierno busque realizar este tipo de contratos, es necesario que se realice un estudio detallado de la demanda, ya que de no poder garantizarla, el negocio no tendría éxito.

El costo de operación disminuye conforme el kilometraje incrementa, por lo que se sugiere que en líneas con una gran demanda, como es el caso de la Línea 1 del Metrobús, se utilice una flotilla biarticulada. Los costos de este tipo de flota son muy similares a los de la flota articulada, sin embargo se tendrían menos autobuses y por lo mismo el mantenimiento a largo plazo sería menor que el de la flota articulada.

Las variables más sensibles del modelo, como se mencionó anteriormente, son la demanda y el kilometraje. Son estas mismas variables las que logran que el sistema alcance un equilibrio financiero. En cuanto al kilometraje podemos observar que a mayor número de kilómetros recorridos menor el costo de operación, sin embargo se debe garantizar cierto kilometraje al concesionario para que el negocio sea rentable y por el otro lado se debe tener cuidado con los kilómetros asignados, ya que un kilometraje excesivo puede generar ganancias exponenciales al concesionario. Los resultados del análisis de sensibilidad sugieren que el monto mínimo de kilómetros a recorrer por el concesionario sea de 8.7 MDK, ya que con este valor su margen de utilidad alcanza un 8%, pues el costo de operación alcanza su valor máximo, sin embargo, aunque sea bajo, el concesionario sigue generando una utilidad. Por otro lado, el valor máximo de kilómetros generados por el modelo alcanzó los 12.7 MDK, en este punto el margen de utilidad pasa de un 8% a un 29%, ya que el costo de operación alcanza uno de sus valores mínimos. En este escenario, se recomienda analizar a detalle la ganancia que se le quiere proporcionar al concesionario, ya que si el kilometraje tiende a la alza, la utilidad tenderá a la alza por igual, debido a que el costo de operación disminuirá y por lo mismo el margen de utilidad incrementará.

En cuanto a la demanda, podemos observar que para garantizar una utilidad al sistema ésta no debe bajar de los 112 millones de pasajeros, ya que con esta demanda le permite generar una utilidad aun cuando el concesionario recorra 12.7 millones de kilómetros. Sin embargo, si el kilometraje es de 9.3 MDK para abajo, se puede lograr una utilidad siempre y cuando la demanda esté por arriba de los 101 MDPa. Como podemos observar, el que el gobierno genere una utilidad depende no sólo de la demanda, ya que puede haber una demanda alta pero si coincide con un kilometraje alto, es probable que aún con una gran cantidad de usuarios, el sistema tenga pérdidas.

La utilidad del concesionario crece exponencialmente a partir de los 12 MDK recorridos. En proporción con la utilidad del sistema, no logra alcanzar a la utilidad generada por el concesionario. Como medio de mitigación para este comportamiento, se propone que la tarifa al concesionario sea dinámica y por lo mismo se vaya ajustando periódicamente tanto a la alza como a la baja en función de los kilómetros asignados, de tal manera que se logre controlar el margen de utilidad generado por el concesionario y no se generen ganancias exponenciales. Como podemos observar, la otra variable sensible de la utilidad del sistema es el kilometraje que se le paga al concesionario por operar, ya que representa entre un 57% y 80% del total de sus egresos.

El subsidio que existe actualmente en la concesión de la Línea 1 del Metrobús se puede eliminar para que el gobierno no continúe absorbiendo este gasto y le sea más sencillo generar una utilidad. Sin embargo, el eliminar el subsidio implicaría que los kilómetros recorridos al día de hoy por RTP se trasladen en automático al concesionario. El hecho de que el concesionario recorra una mayor cantidad de kilómetros le concede en automático una mayor utilidad.

El software utilizado para la modelación con dinámica de Sistemas fue Vensim, sin embargo presenta varios errores y limitantes, por lo que después de trabajar con él un año, se recomienda que para futuros proyectos de Dinámica de Sistemas se utilice otro software distinto a éste. Algunas de las limitaciones presentadas fue el que al poner una función de distribución aleatoria en una variable, Vensim genera siempre los mismos valores para dicha variable, la manera de contrarrestar este error es cambiando el valor semilla manualmente. En el caso particular de esta investigación, para poder realizar las 30 corridas del modelo se tuvo que modificar el valor semilla de cada variable aleatoria, de tal manera que los datos fueran diferentes para el análisis.

En cuanto al aspecto financiero, podemos observar que las dos partes se benefician con el proyecto, sin embargo el concesionario es quien genera 46 MDP (aproximadamente 12.6%) más a lo largo de los 10 años. Un aspecto importante es que aun cuando el sistema presenta 5 periodos de pérdida a lo largo de los 10 años de la concesión, genera una utilidad de aproximadamente 327 MDP con un rendimiento del 83%, lo que significa que es un buen negocio para ambas partes.

4.4 Discusión Externa

Existen factores externos que influyen directamente en el desarrollo de la investigación, como por ejemplo el software con el que se desarrollan los modelos de simulación. En el caso de la simulación de Dinámica de Sistemas, herramienta de la Investigación de Operaciones con la que se desarrolló el modelo, existen pocas alternativas de software, por ello, se optó por utilizar Vensim; esto principalmente porque es un software que cuenta con una versión gratuita y una interacción gráfica que facilita su uso. Al principio, el software parecía ser una buena alternativa, sin embargo conforme el modelo se iba complicando, el software pasó de ser una ayuda a ser una limitante. La bondad del programa es que presenta

una serie de herramientas gráficas que facilitan la construcción del modelo, no obstante, las funciones con las que cuenta para la formulación de variables es lo que en específico, se convirtió en una limitante de la investigación. El programa te permite introducir funciones para describir cada una de las variables del modelo, para ello, cuenta con una serie de funciones preestablecidas como las funciones de distribución, entre algunas otras. Sin embargo, en repetidas ocasiones algunas de estas funciones fallaban, un ejemplo fue una función con la que se podía ingresar una base de datos a partir de un archivo de excel. Se intentó durante varios días que la función lograra cumplir con el objetivo de ingresar los datos al modelo, sin embargo nunca se logró. Leyendo en los blogs de la misma empresa que desarrolló el software, se identificó que varios usuarios tenían el mismo problema y no se mostraba una solución más que cambiar de versión de software por una cuya licencia incurría en un costo. Dada esta situación, se llegó a la conclusión que lo mejor era encontrar otro medio con el cual ingresar los datos deseados, dado que el modelo ya estaba muy avanzado y comenzar a utilizar un nuevo software sólo retrasaría la investigación. La conclusión final en cuanto al software seleccionado es que no se recomienda utilizar Vensim, por lo menos la versión gratuita, para desarrollar modelos complejos de simulación de Dinámica de Sistemas.

Por otro lado, durante la construcción del modelo, se logró identificar que éste representaba un modelo macroeconómico por lo que se recurrió a la teoría macroeconómica para lograr identificar cómo formular las variables tarifa al usuario y tarifa al concesionario, así como para tener una idea más certera de cómo se podría llegar a comportar el sistema. La teoría macroeconómica (Pindyck & Rubinfeld, 1991) fue de gran ayuda, ya que gracias a ella logramos construir las variables antes mencionadas, por medio de la regresión múltiple, de tal manera que se lograron identificar los parámetros y variables que definían a cada una de ellas para obtener un valor de mayor exactitud y con ello mejorar la calidad de los resultados obtenidos del modelo. Por otro lado, la teoría macroeconómica nos ayudó a identificar que el comportamiento que presentaban las 30 corridas realizadas, en donde el modelo no lograba alcanzar una estabilidad, era un comportamiento normal para un modelo macroeconómico, lo que a la vez nos ayuda a validar que el modelo se construyó correctamente.

En cuanto a la revisión bibliográfica realizada en la *Sección 2.1: Estado del arte*, se llega a coincidir con la autora Medda (2006), quien afirma en su artículo "*A game theory approach for the application of risks in transport public private partnerships*" que una correcta asignación de riesgos entre las partes conlleva a un equilibrio financiero a lo largo de la concesión. Esta afirmación concuerda con el hecho de que la manera en la que se logra encontrar el equilibrio financiero en un esquema como el que maneja al día de hoy la concesión del Metrobús, es que el sistema sea quien absorba el riesgo de la inversión, ya que únicamente se cuenta con un periodo de 10 años, en los cuales el concesionario tendría que recuperar lo invertido y generar ganancias. Por otro lado, el alargar el periodo de concesión únicamente beneficiaría más al concesionario, ya que éste ganaría utilidades irracionales; esta afirmación concuerda con lo que concluye Zhang (2013) en su artículo "*Price, capacity and concession period decisions of Pareto-efficient BOT contracts with demand uncertainty*", en donde afirma que a medida que el periodo de concesión incrementa, las ganancias del concesionario incrementarán, por lo tanto, el privado siempre buscará un periodo de concesión mayor. Cuatro autores (Chen & Subprasom, 2007; Hanaoka & Palapus, 2012; Ng et al., 2007; Zhang, 2011) consideran de gran importancia llevar a cabo un análisis financiero,

ya que éste, a través del cálculo de la TIR y el VPN permite identificar si el periodo de concesión es el apropiado. El que el periodo de concesión sea el apropiado se comprueba cuando se obtiene un VPN positivo para ambas partes involucradas, así como una TIR alta para la parte que incurre con el riesgo de la inversión. Como lo mencionamos anteriormente, el VPN para ambos está por arriba de los 300 MDP, mientras que la TIR del sistema es del 83%, lo que significa que efectivamente es un negocio rentable. En general, podemos concluir que los resultados arrojados por la investigación coinciden con las principales conclusiones a las que llegaron los autores consultados (Tabla 2.2), lo que una vez más logra validar la metodología desarrollada en la presente investigación.

Trabajo a futuro:

En este modelo la flotilla se calculó utilizando tasas de rendimiento, sin embargo se sugiere que se calcule en función del Volumen Diario de Máxima Demanda (VDMD). Este método por sí mismo puede ser un tema de tesis, ya que se realizan mediciones por hora en diversas estaciones de la línea para identificar las horas pico. Un ejercicio similar se realizó en la tesis de Fernando Suárez, la cual podría servir de complemento para el modelo presentado en esta investigación.

5 Referencias

- Allen, T. T. (2011). *Introduction to Discrete Event Simulation and Agent-based Modeling*.
- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, 12(3), 183–210.
- Berge, L., & Dahl, F. A. (2011). Using soft systems methodology as a precursor for an emergency department simulation model. *Operational Research Society*, 24(3), 168–189. <http://doi.org/10.1057/ori.2011.8>
- Cedillo, M., & Sánchez, C. (2008). *Análisis Dinámico de Sistemas Industriales* (Primera Ed). México D.F.: Trillas.
- Chen, A., & Subprasom, K. (2007). Analysis of Regulation and Policy of Private Toll Roads in a Build-Operate-Transfer Scheme Under Demand Uncertainty. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(6), 537–558. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2006.11.009>
- Flores de la Mota, I., & Elizondo, M. (2006). *Apuntes de Simulación*.
- Gobierno del Distrito Federal. (2004). GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL. *Gaceta Oficial Del Distrito Federal*, 101(1º de octubre), 1–112.
- Gobierno del Distrito Federal. (2014). Ley de Movilidad del Distrito Federal.
- Hanaoka, S., & Palapus, H. P. (2012). Reasonable concession period for build-operate-transfer road projects in the Philippines. *International Journal of Project Management*, 30(8), 938–949. <http://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.02.001>
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones* (9º). Mc Graw Hill.
- Martin, J. (2003). *Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de sistemas*. Alianza editorial. Barcelona. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Dinamica+De+Sistemas+-#1>
- Medda, F. (2006). A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships. *International Journal of Project Management*, 25, 213–218. <http://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.06.003>
- Metrobús. (2006). *Convenio de Coordinación para la Entrega de la Participación en la Tarifa del Corredor “Metrobús Insurgentes.”*
- Metrobús. (2012). *Convenio para el Incremento de la Participación en los Recursos de la Línea 1 de Metrobús*. México D.F.
- Montevechi, B., Leal, F., Ferreira de Pinho, A., Silva Costa, R., Oliveira, M. L., & Silva, A. (2010). Conceptual Modeling in Simulation Projects by Mean Adapted IDEF: An Application in a Brazilian Tech Company. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, (2010), 1624–1635.
- Ng, S. T., Xie, J., Cheung, Y. K., & Jefferies, M. (2007). A Simulation Model for Optimizing the Concession Period of Public–Private Partnerships Schemes. *International Journal of Project Management*, 25(8), 791–798. <http://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.05.004>
- Niu, B., & Zhang, J. (2013). Price , capacity and concession period decisions of Pareto-efficient BOT contracts with demand uncertainty. *Transportation Research Part E*, 53, 1–14. <http://doi.org/10.1016/j.tre.2013.01.012>
- Pindyck, R., & Rubinfeld, D. (1991). *Econometric Models & Economic Forecasts* (Third

- Edit). Singapore.
- Pruyt, E. (2013). *Small System Dynamics Models for Big Issues*. TU Delft Library, Delft, The Netherlands.
- Ramos Peña, L. A. (2011). Los Servicios Públicos y la Concesión Administrativa. *Lecturas Jurídicas*, VI(15), 7–41.
- Sokolowski, H. A., & Banks, C. M. (2010). *Modeling and Simulation Fundamentals*. John Wiley & Sons, Inc. Publication.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics Systems Thinking and Modeling for a Complex World*.
- Suárez, J. L. (2009). *Evaluación Operativa - Financiera por tipo de flota vehicular en un corredor de transporte. Caso de estudio: Línea 2 de Metrobús, Ciudad de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Zhang, X. (2009). Win – Win Concession Period Determination Methodology. *Journal of Construction Engineering and Management*, (June), 550–559.
- Zhang, X. (2011). Expert Systems with Applications Web-based concession period analysis system. *Expert Systems With Applications*, 38(11), 13532–13542.
<http://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.030>

6 Bibliografía

- Allen, T. T. (2011). *Introduction to Discrete Event Simulation and Agent-based Modeling*.
- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, 12(3), 183–210.
- Berge, L., & Dahl, F. A. (2011). Using soft systems methodology as a precursor for an emergency department simulation model. *Operational Research Society*, 24(3), 168–189. <http://doi.org/10.1057/ori.2011.8>
- Cedillo, M., & Sánchez, C. (2008). *Análisis Dinámico de Sistemas Industriales* (Primera Ed). México D.F.: Trillas.
- Chen, A., & Subprasom, K. (2007). Analysis of Regulation and Policy of Private Toll Roads in a Build-Operate-Transfer Scheme Under Demand Uncertainty. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(6), 537–558. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2006.11.009>
- Flores de la Mota, I., & Elizondo, M. (2006). *Apuntes de Simulación*.
- Gobierno del Distrito Federal. (2004). GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL. *Gaceta Oficial Del Distrito Federal*, 101(1º de octubre), 1–112.
- Gobierno del Distrito Federal. (2014). Ley de Movilidad del Distrito Federal.
- Hanaoka, S., & Palapus, H. P. (2012). Reasonable concession period for build-operate-transfer road projects in the Philippines. *International Journal of Project Management*, 30(8), 938–949. <http://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.02.001>
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones* (9º). Mc Graw Hill.
- Martin, J. (2003). *Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de sistemas*. Alianza editorial. Barcelona. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Dinamica+De+Sistemas+-#1>
- Medda, F. (2006). A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships. *International Journal of Project Management*, 25, 213–218. <http://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.06.003>
- Metrobús. (2006). *Convenio de Coordinación para la Entrega de la Participación en la Tarifa del Corredor “Metrobús Insurgentes.”*
- Metrobús. (2012). *Convenio para el Incremento de la Participación en los Recursos de la Línea 1 de Metrobús*. México D.F.
- Montevechi, B., Leal, F., Ferreira de Pinho, A., Silva Costa, R., Oliveira, M. L., & Silva, A. (2010). Conceptual Modeling in Simulation Projects by Mean Adapted IDEF: An Application in a Brazilian Tech Company. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, (2010), 1624–1635.
- Ng, S. T., Xie, J., Cheung, Y. K., & Jefferies, M. (2007). A Simulation Model for Optimizing the Concession Period of Public–Private Partnerships Schemes. *International Journal of Project Management*, 25(8), 791–798. <http://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.05.004>
- Niu, B., & Zhang, J. (2013). Price , capacity and concession period decisions of Pareto-efficient BOT contracts with demand uncertainty. *Transportation Research Part E*, 53, 1–14. <http://doi.org/10.1016/j.tre.2013.01.012>
- Pindyck, R., & Rubinfeld, D. (1991). *Econometric Models & Economic Forecasts* (Third

- Edit). Singapore.
- Pruyt, E. (2013). *Small System Dynamics Models for Big Issues*. TU Delft Library, Delft, The Netherlands.
- Ramos Peña, L. A. (2011). Los Servicios Públicos y la Concesión Administrativa. *Lecturas Jurídicas*, VI(15), 7–41.
- Sokolowski, H. A., & Banks, C. M. (2010). *Modeling and Simulation Fundamentals*. John Wiley & Sons, Inc. Publication.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics Systems Thinking and Modeling for a Complex World*.
- Suárez, J. L. (2009). *Evaluación Operativa - Financiera por tipo de flota vehicular en un corredor de transporte. Caso de estudio: Línea 2 de Metrobús, Ciudad de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Zhang, X. (2009). Win – Win Concession Period Determination Methodology. *Journal of Construction Engineering and Management*, (June), 550–559.
- Zhang, X. (2011). Expert Systems with Applications Web-based concession period analysis system. *Expert Systems With Applications*, 38(11), 13532–13542.
<http://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.030>

7 Anexos

1. Terminología:

Para fines de la presente investigación, se toman en cuenta las definiciones establecidas en la Ley de Movilidad del Distrito Federal (Gobierno del Distrito Federal, 2014):

Término	Definición
Concesión	Acto administrativo por virtud del cual la Secretaría confiere a una persona física o moral la prestación temporal del servicio de transporte público de pasajeros o de carga, mediante la utilización de bienes del dominio público o privado del Distrito Federal;
Concesionario	Persona física o moral que es titular de una concesión otorgada por la Secretaría, para prestar el servicio de transporte público de pasajeros y/o de carga;
Corredor de Transporte Público	Transporte público de pasajeros colectivo, con operación regulada, controlada y con un recaudo centralizado, que opera de manera preferencial o exclusiva en una vialidad, total o parcialmente confinados, que cuenta con paradas predeterminadas y con una infraestructura para el ascenso y descenso de pasajeros, terminales en su origen y destino, con una organización para la prestación del servicio con personas morales;
Parque vehicular	Conjunto de unidades vehiculares destinados a la prestación de servicios de transporte;
Servicio de Transporte Público	Es la actividad a través de la cual, la Administración Pública satisface las necesidades de transporte de pasajeros o carga, por sí, a través de entidades, concesionarios o mediante permisos en los casos que establece la Ley y que se ofrece en forma continua, uniforme, regular, permanente e ininterrumpida a persona indeterminada o al público en general, mediante diversos medios;
Tarifa	Es el pago unitario previamente autorizado que realizan los usuarios por la prestación de un servicio;

2. Minutas Metrobús:

Institución	Asistente	Fecha y ubicación de la reunión
Metrobús	Ing. Fernando Seuz Osorio Zúñiga	10 de febrero de 2015 en las
UNAM	Ing. Eugenia Paz Pichardo	Oficinas de Metrobús

- La demanda esperada es de 233,000 usuarios por día;
- La velocidad del autobús en el recorrido es de 20 km/hr;
- El periodo de concesión fue calculado con base en la vida esperada de los autobuses, la cual puede llegar a ser entre 8 y 15 años, por lo tanto se tomó como media 10 años para otorgar el periodo de todas las concesiones del Metrobús;
- El financiamiento de los autobuses es de 5 años por lo general;
- Metrobús exige que al término del periodo de la concesión (10 años), la flota se cambie por completo para poder volver a ser acreedor a la renovación del contrato de concesión. Lo anterior, es una manera en la que el gobierno obliga al privado a renovar la flota para que la calidad del servicio continúe;
- El **aspecto político** es de suma importancia, ya que la tarifa al usuario es definida por el jefe de gobierno que esté en ese momento;
- El Metrobús propone la tarifa que se debería de cobrar con un fundamento matemático, sin embargo es el jefe de gobierno quien tiene la última palabra;
- La tarifa se calcula con base en el número de días acorde a la siguiente clasificación:

Tipo de día	Porcentaje de ocupación
Día hábil	100%
Sábado	65%
Domingo	35%
Especiales	35%
Vacaciones	80%
Demanda Total Anual	

Los días especiales se consideran como los días festivos por ley y los días festivos de costumbre.

- Un factor importante a considerar es que todos los usuarios se transportan, sin embargo no todos pagan, ya que se considera que aproximadamente el 8% de los usuarios son mayores de 70 años. Por lo tanto, el ingreso neto se reduce al 92% de la afluencia;
- Los costos en que incurren los autobuses son los siguientes:
 - Combustible;
 - Lubricantes (rellenos);
 - Add Blue (aditivo);
 - Fumigación (dos veces por año);
 - Operadores;
 - Patio;
 - Administración de la empresa;

- Radios;
- Verificaciones;
- Tenencias;
- Llantas;
- Mantenimiento (preventivo, correctivo y de siniestro);
- Seguro;
- Derechos de concesión;
- Derecho de bases y lanzadores;
- Lavado;
- Un autobús recorre aproximadamente 350 km/día;
- Los costos operativos de mayor relevancia son los operadores y el combustible, los cuales representan entre un 55 – 60% del costo total;
- El costo del diésel se debe considerar como una variable crítica, ya que éste puede se puede incrementar a una tasa incluso mayor que a la de inflación;
- La tarifa actual del servicio es de \$6 pesos, mientras que su costo real es de aproximadamente \$6.2 pesos, la diferencia es subsidiada por el gobierno;
- El subsidio que da el gobierno lo hace por medio de RTP a quien sólo le paga los costos de operación;
- El porcentaje de participación que se le otorgó a RTP se definió con base en la demanda que atendía cuando operaba en Insurgentes, la longitud del recorrido de superposición con el corredor, la demanda que atiende y el número de vehículos con su respectivo tipo; se calcula su proporción de la misma manera;
- El trasbordo es gratis, sin embargo esto aplica únicamente para una tarjeta, es decir, si algún usuario prestó su tarjeta a otro usuario, el trasbordo del primero será gratis, mientras que el del segundo será cobrado como un pasaje normal. Esta es un área de oportunidad, ya que para los concesionarios que reciben el trasbordo es un ingreso que pierden;
- La línea 1 del Metrobús está conformada por 4 concesionarios;
- Existen costos asociados directamente al sistema Metrobús, los cuales se mencionan a continuación:
 - Componente de mantenimiento menor o mayor (mantenimiento de las vías)
 - **Mantenimiento mayor:** Este servicio es proporcionado por el gobierno de la Ciudad de México a fondo perdido, por lo que no incurre en un gasto para el Metrobús. Sin embargo, el principal problema de esta prestación es que no siempre se realizan las obras de manera inmediata por lo que los autobuses se siguen dañando lo que le afecta directamente al operador;
 - **Mantenimiento menor:** se refiere a cuestiones sencillas como la pintura de las estaciones;
 - Pago del fideicomiso (se le paga al banco por la gestión del fideicomiso);
 - Sistema de recaudo (incluye todos los equipos, recaudación de efectivo, tarjetas, en si todo el sistema completo);
 - Metrobús;

- La tarifa que se le debería pagar al gobierno por parte de los concesionarios por la explotación de los bienes de la nación no se toma, se utiliza como subsidio para el incremento del diésel, sin embargo la cuota no debe dejar de existir para que el día que sea necesario tomarla se pueda hacer;
- El gobierno es el responsable del pago de los sueldos del personal administrativo del Metrobús, por lo que no se busca que sea un negocio;
- El orden de la distribución de los ingresos recaudados en el fideicomiso es el siguiente:
 1. Pago al banco por la recaudación del dinero en el fideicomiso;
 2. Pago del financiamiento de los autobuses, ya que se utilizan como garantía. El crédito y los propios autobuses están a nombre del concesionario, sin embargo se les pueden retirar en caso de no cumplir con la inversión;
- Cuando se realiza el cambio de los autobuses, el gobierno le otorga un bono a la empresa, mismo que se utiliza como enganche para la compra de los nuevos autobuses. Cabe mencionar que el bono se hace a nombre de la empresa pero se entrega directamente a la distribuidora de los autobuses para que el privado no pueda utilizar el dinero en otras operaciones;
- Los costos del operador más los costos del sistema generan los costos totales anuales, los cuales al dividirlos entre la demanda anual nos arroja la tarifa técnica de donde se parte para definir la tarifa comercial;
- Si la tarifa técnica es mayor a la comercial, se tiene que buscar la manera de subsidiar la diferencia;
- El concesionario recibe el número total de kilómetros que estaría recorriendo anualmente, por lo que su cuota se fija en un precio por kilómetro recorrido (\$/km);
- Existe la posibilidad de generar un ingreso adicional:
 - Publicidad en los autobuses que es un ingreso adicional para la operadora;
 - Publicidad en la estación que es un ingreso adicional para el gobierno, el cual es el único ingreso real que éste genera y se utiliza directamente para los subsidios requeridos;
- El Metrobús está conformado por 241 personas del organismo y 441 vehículos más personal de conducción y administración de las empresas operadoras;
- Los autobuses se cotizan en dólares pero el tipo de cambio y la tasa se fija en el momento en que se hace la transacción, por lo tanto los pagos son en pesos;
- La SEMOVI no ha podido generar las placas especiales para el Metrobús, por lo que los autobuses circulan sin éstas;
- Se sugiere crear una serie de escenarios con los cuales analizar las distintas posibilidades de concesión con un modelo que sea flexible;

Próximos pasos:

Institución	°Asistente	Compromiso
Metrobús	Ing. Fernando Seuz Osorio Zúñiga	Especificaciones para carta compromiso y acuerdo de confidencialidad
UNAM	Ing. Eugenia Paz Pichardo	Análisis sistémico

Institución	Asistente	Fecha y ubicación de la reunión
Metrobús	Ing. Fernando Seuz Osorio Zúñiga	11 de marzo de 2015 en las
UNAM	Ing. Eugenia Paz Pichardo	Oficinas de Metrobús

- A partir de la puesta en marcha de la Línea 2 del Metrobús los concesionarios comenzaron a operar como sistema, es decir, las unidades pertenecientes al concesionario de un corredor pueden operar en otra línea si es necesario satisfacer la demanda de dicha línea y/o están siendo subutilizados en el corredor en el que se encuentran;
- La Línea 1 entra bajo la modalidad de operar como un sistema y también puede ser sujeta a prestar unidades o recibir unidades de otros concesionarios;
- La empresa CE417M es el concesionario de la Línea 2, ocasionalmente presta unidades para que operen en la Línea 1;
- La empresa CE4 es la más eficiente de los concesionarios de Metrobús, tiene circulando toda su flota por el día y por las noches les realizan el mantenimiento correspondiente;
- La empresa RECSA es quien más kilómetros recorre de todos los concesionarios;
- La concesión busca transportar usuarios y que los operadores ganen cierta utilidad por brindar el servicio;
- En promedio se recorren 85,000 km/año/unidad, sin embargo depende del corredor en el que se encuentren;
- Una de las principales pérdidas de dinero para los concesionarios es la ineficiencia en el mantenimiento de sus unidades, ya que hay algunos que tienen los autobuses detenidos por demasiado tiempo. Por otro lado, hay quienes realizan el servicio por las noches sin afectar su operación;
- Metrobús le otorga cierto kilometraje a cada una de las unidades que manejan los concesionarios, por lo que si el concesionario solicita permiso para la compra de otra unidad, Metrobús tiene la posibilidad de negarle el kilometraje y por ende la unidad estaría sin permiso para circular;
- Cada autobús opera en promedio, de 300 a 320 días anuales, considerando fines de semana y mantenimiento que implica la salida de circulación;
- La tarifa otorgada al concesionario por kilómetro recorrido varía dependiendo del negocio generado por el corredor al que fue asignado (si hay más negocio se paga más y viceversa);
- La concesión debe garantizar una utilidad muy grande, ya que cada empresa está conformada por alrededor de 5 y 8 socios por autobús, mismos que se deben repartir las ganancias generadas;
- Las concesiones del Metrobús se otorgan como licitaciones de asignación directa;
- Si un operador no trabajó correctamente, la concesión no se le cancela, sin embargo se le limita;
- Metrobús genera rutas dentro de un mismo corredor para satisfacer el incremento en la demanda sin subutilizar autobuses en ciertos tramos que presente una demanda menor. Esto es debido a que existen tramos que presentan una demanda mayor y por

lo mismo se requiere de un mayor número de autobuses, sin embargo, por lo general, el usuario no recorre todo el corredor lo que implicaría que habría tramos en los que el autobús iría subutilizado, por lo mismo se crean rutas cortas en las que los tramos de mayor demanda sean atendidos sin perder la eficiencia de las unidades. En corredores que presentan este tipo de situaciones, es en los que se opera como sistema y los autobuses que están siendo subutilizados en un corredor operan en otro para satisfacer la demanda y lograr una mayor eficiencia de la unidad;

- Se presentó el modelo conceptual del sistema para el cual se hicieron las siguientes observaciones:
 - Considerar la vida útil del autobús como parámetro del sistema;
 - Enumerar las variables y etapas;
 - Se propone evaluar el modelo en dólares para evitar considerar la inflación en el análisis.

Próximos pasos:

Institución	°Asistente	Compromiso
Metrobús	Ing. Fernando Seuz Osorio Zúñiga	Especificaciones para carta compromiso y acuerdo de confidencialidad
UNAM	Ing. Eugenia Paz Pichardo	Recolección de datos para el modelo de simulación