

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS

UNIDAD DE TITULACIÓN

**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE UNA RED DE TRANSPORTE
URBANO TERRESTRE PÚBLICO, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE
UN SOFTWARE ESPECIALIZADO ACORDE AL INICIO DE
OPERACIONES DEL METRO DE QUITO EN EL CENTRO
HISTÓRICO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
MAGÍSTER EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS, MENCIÓN OPERACIONES
EN SECTORES ESTRATÉGICOS**

LENIN PATRICIO CORTEZ CHULDE

lenincortez89@gmail.com

Director: Pedro Enrique Buitrón Flores, MSc.

pedro.buitron@epn.edu.ec

2019

APROBACIÓN DEL DIRECTOR

Como director del trabajo de titulación ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE UNA RED DE TRANSPORTE URBANO TERRESTRE PÚBLICO, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN SOFTWARE ESPECIALIZADO ACORDE AL INICIO DE OPERACIONES DEL METRO DE QUITO EN EL CENTRO HISTÓRICO, desarrollado por Lenin Patricio Cortez Chulde, estudiante de la Maestría en Administración de Empresas, mención Operaciones en Sectores Estratégicos, habiendo supervisado la realización de este trabajo y realizado las correcciones correspondientes, doy por aprobada la redacción final del documento escrito para que prosiga con los trámites correspondientes a la sustentación de la Defensa oral.

Pedro Enrique Buitrón Flores

DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Lenin Patricio Cortez Chulde, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Lenin Patricio Cortez Chulde

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado a mis padres, por su inapelable presencia y soporte en todo momento.

Para mis hermanos, que siempre tengan presente el valor del esfuerzo y de la dedicación en sus vidas.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por sus sabios consejos y por ser reflejo del esfuerzo diario. A Alexandra, Christian y Sebastián, por estar siempre a mi lado y ser mi mayor motivación.

Agradezco a mis maestros, cuyo conocimiento e instrucción ha propiciado mi crecimiento profesional. A mi director, M.Sc. Pedro Buitrón por sus acertadas directrices y apoyo en la consecución de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABLAS	ii
LISTA DE ANEXOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Pregunta de investigación	2
1.2 Objetivo general	2
1.3 Objetivos específicos	2
1.4 Hipótesis	2
1.5 Marco teórico	3
1.5.1 Eficiencia en el transporte	3
1.5.1.1 Eficiencia	3
1.5.1.2 Técnicas de evaluación de eficiencia	3
1.5.1.3 Programación matemática para medida de eficiencia	4
1.5.1.3.1 Conceptos básicos del DEA	4
1.5.1.3.2 Formulación matemática	5
1.5.1.3.3 Análisis Slacks	7
1.5.1.4 Estrategia de mejora	8
1.5.2 Transporte	8
1.5.2.1 Políticas públicas en el transporte	10
1.5.3 Grafos y redes	10
1.5.3.1 Componentes de grafos y redes	12
1.5.3.2 Problema de la ruta más corta (SPP)	13
1.5.4 Redes de transporte	14
1.5.4.1 Red de transporte de buses	14
1.5.4.2 Análisis de la envolvente de datos de red en el transporte	16
1.5.5 Optimización	16
1.5.5.1 Cálculo de rutas óptimas	18
1.5.5.1.1 Algoritmo Dijkstra	18
1.5.5.1.2 Uso de sistemas de información geográfica (SIG)	19

1.5.6	Regulación de transporte	19
1.5.7	Análisis de demanda y oferta	20
1.5.7.1	Transporte Urbano	21
1.5.7.2	Transporte Metro de Quito	23
2.	METODOLOGÍA	25
2.1	Enfoque del proyecto	25
2.2	Alcance del proyecto de investigación	25
2.3	Diseño de la investigación	25
2.4	Selección de la muestra	26
2.4.1	Límites geográficos del estudio	26
2.4.2	Rutas de transporte urbano	26
2.4.3	Operación Metro de Quito	26
2.5	Herramientas de análisis de datos	26
2.5.1	Selección de Entradas y Salidas	27
2.5.2	Selección de Modelo para análisis DEA	27
2.5.3	Selección de Software para análisis DEA	27
2.5.4	Optimización de rutas mediante SIG	28
2.6	Procedimiento	28
2.6.1	El marco de la aplicación de la DEA	28
2.6.2	Análisis de red vial de Quito	28
2.6.3	Generación de rutas optimizadas	29
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	30
3.1	Resultados	30
3.1.1	Estado actual de la red de transporte urbano terrestre público en el Centro Histórico	30
3.1.1.1	Rutas del Centro Histórico	31
3.1.1.2	Área de influencia Metro de Quito	34
3.1.1.3	Evaluación inicial de la eficiencia en el CHQ	37
3.1.1.3.1	Modelo DEA con Rendimientos Constantes (CRS)	40
3.1.1.3.2	Modelo DEA con Rendimientos Variables (VRS)	41
3.1.1.3.3	Eficiencia de escala	42
3.1.1.3.4	Análisis Slack	46
3.1.2	Variables críticas que influyen en la operación de la red	49

3.1.3 Red de transporte público optimizada a través de la utilización de software especializado	49
3.1.4 Eficiencia de red de transporte optimizado acorde a la implementación del metro de Quito	58
3.2 Discusión	60
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
4.1 Conclusiones	61
4.2 Recomendaciones	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXOS	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de transporte inadecuado.....	9
Figura 2 - Modelos básicos de diseño de red.....	11
Figura 3 - Esquemmatización de red.....	12
Figura 4 - Institucionalidad del sistema de transporte en el DMQ.....	20
Figura 5 – Factores de la demanda de transporte.....	21
Figura 6 - Tráfico según Google Maps en Centro Histórico.....	22
Figura 7 - Derivaciones de una previsión inadecuada de la demanda.....	23
Figura 8 - Sistema Metropolitano de transporte - Mapa con línea de metro.....	24
Figura 9 – Límites del Centro Histórico.....	30
Figura 10 – Rutas de transporte urbano.....	33
Figura 11 – Paradas de transporte urbano en el CHQ.....	34
Figura 12 – Área de influencia del Metro de Quito del CHQ.....	35
Figura 13 – Isócronas de accesibilidad peatonal desde Estación San Francisco.....	36
Figura 14 – Isócronas de accesibilidad peatonal desde Estación Alameda.....	36
Figura 15 – Selección de modelo de envolvente.....	38
Figura 16 – Eficiencia técnica global (CRS).....	41
Figura 17 – Eficiencia técnica pura (VRS).....	41
Figura 18 – Eficiencia de escala (EE).....	43
Figura 19 – Arcos y nodos Centro Histórico de Quito.....	50
Figura 20 – Análisis de ruta óptima con PgRouting en QGIS.....	50
Figura 21 – Ubicación de paradas intermedias y destinos de ruta mediante GIS.....	51
Figura 22 – Resolución de ruta óptima con puntos de control.....	52
Figura 23 – Selección de ruta a optimizar.....	54
Figura 24 – Rutas posibles de una línea respecto a estación San Francisco.....	55
Figura 25 – Rutas posibles de una línea respecto a estación Alameda.....	56
Figura 26 – Rutas actuales y optimización de rutas.....	57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Tipo de transporte en día laborable común	31
Tabla 2 - Tamaño de flota y operadores del Metrobús Q	31
Tabla 3 - Tamaño de flota y operadores transporte convencional	32
Tabla 4 - Flota, rutas y operadores transporte convencional	32
Tabla 5 – Factores de salida y entrada adoptados en los modelos DEA	37
Tabla 6 – Rutas con mayor eficiencia con CRS	40
Tabla 7 – Rutas con mayor eficiencia con VRS.....	42
Tabla 8 - Cálculo de eficiencias de rutas del transporte en el Centro Histórico. ...	44
Tabla 9 - Análisis Slacks VRS de rutas del transporte en el Centro Histórico.....	47
Tabla 10 - Selección de rutas a optimizar	53
Tabla 11 - Sumario de recorridos optimizados	58
Tabla 12 - Sumario de eficiencia de rutas optimizadas	59

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I - Operadoras y rutas intracantonal urbana	70
ANEXO II - Datos de entrada de transporte urbano para análisis DEA	76
ANEXO III - Resultados análisis DEA mediante software MaxDEA 7	80
ANEXO IV – Resultados Análisis DEA Optimización rutas	99

RESUMEN

El presente trabajo es un estudio para analizar la eficiencia de una red de transporte urbano terrestre público, a partir de la validación de las condiciones actuales de las rutas y del análisis de las variables críticas disponibles que inciden en la operación. Establecido ese contexto, se plantea la utilización de un software que analiza la eficiencia de las rutas y proporcione un marco de análisis de las variables a optimizar. Se selecciona las rutas con mayor ineficiencia y las rutas que se encuentran en las cercanías a las nuevas paradas del metro de Quito en el centro histórico para generar nuevas rutas basados en criterios de accesibilidad de las paradas y optimización de ruta más corta. Luego de generar las nuevas rutas a través de software libre especializado se evalúa nuevamente la eficiencia del conjunto de rutas para cotejar con el escenario inicial. Cabe destacar que debido a la configuración transversal y las restringidas opciones de vías en el centro histórico la optimización de ruta más corta se limita de sobremanera y usualmente el algoritmo generaba resultados similares para distintas rutas, en cambio en los extremos de las rutas permite generar rutas optimizadas por disponibilidad de vías.

Palabras claves: redes transporte, transporte público, optimización, eficiencia

ABSTRACT

This work is a study to analyze the efficiency of a public terrestrial urban transport network, from the validation of the current conditions of the routes and the analysis of the available critical variables that influence the operation. Established this context, the use of a software that analyzes the efficiency of the routes and provides a framework of analysis of the variables to optimize is posed. Selects the route with greater inefficiency and routes that are in the vicinity to the new stops of the Metro of Quito in the downtown to generate new routes based on criteria of accessibility of stops and optimization of shortest path. After generating the new routes through specialized free software, the efficiency of the set of routes is again evaluated to compare with the initial scenario. It should be noted that due to the transversal configuration and the restricted pathway options in the historical center, the shortest path optimization is very limited and usually the algorithm produced similar results for different routes, on the other hand, at the end of the routes, it is possible to generate routes optimized by the availability of roads.

Keywords: transport networks, public transport, optimization, efficiency

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En el país y especialmente en el Distrito Metropolitano de Quito, una previsión incongruente de las rutas en concordancia con la demanda real, sumado al factor que las compañías de transporte urbano están constituidas como actividades comerciales privadas y, de facto, prevalece el supuesto de que: a menor coste, crece la utilidad. Ha favorecido contextos en los que se observan autobuses atiborrados en ciertos horarios mientras que en otros períodos movilizan una cantidad irrisoria de pasajeros propiciando escenarios muy ineficientes con relación a los costos e inclusive en aspectos ambientales. Existen varias rutas que se sobreponen, aunado al funesto servicio al cliente, requerimientos de celeridad o restricción en la duración del recorrido, perturbando más la incoherente red de transporte pública actual.

Con la próxima inauguración del Metro de Quito, está conllevará varios beneficios para la ciudadanía, así como, ciertas dificultades en las nuevas conexiones si no se organizan de un modo adecuado. Dada la vertiginosa evolución de Quito ha dispuesto que arreglos primer orden, como cuando el Municipio del Distrito Metropolitano determinó finalmente ingresar en la regulación del transporte, no se consumen y más bien las dificultades se amplíen.

Parra (1999) matiza que una de las principales complicaciones es la disposición de los itinerarios de las compañías de transporte para cumplir con la demanda por todos los sectores siendo congruentes con las prohibiciones reales de la estructura de red. Para que sean efectivamente prácticas las estructuras de las redes de transporte en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), será indeclinable una exploración exhaustiva de los trayectos, planes y pautas requeridas a las presentes compañías de servicio de transporte urbano.

Este estudio se prevé dado el requerimiento de respaldar desde la perspectiva operativa la estructuración de itinerarios y frecuencias, tal como destaca el Banco Mundial (2017):

“En las ciudades más extensas o arcaicas, la tecnología y la inteligencia de datos contribuirán a proyectar mapas de los patrones y las necesidades de desplazamiento, comprometiendo a la ciudadanía, enriqueciendo la calidad y la eficacia de las soluciones de transporte” (p. 2).

Está enfocado al mejoramiento del servicio de transporte público en el sector del centro histórico en concordancia con la próxima integración del Metro de Quito, disponiendo de un análisis preciso que admita elaborar una propuesta de resolución para que pudiera ser tomada en cuenta por el Municipio del DMQ, las compañías de servicio de transporte urbano y la colectividad.

1.1 Pregunta de investigación

¿Cuál es la eficiencia de una red de transporte urbano terrestre público mediante la utilización de un software especializado y la incidencia del inicio de operaciones del metro de Quito en el centro histórico?

1.2 Objetivo general

Analizar la eficiencia de una red de transporte urbano terrestre público, mediante la utilización de un software especializado acorde al inicio de operaciones del metro de Quito en el centro histórico.

1.3 Objetivos específicos

- Levantar y validar la información del estado actual de la red de transporte urbano terrestre público en el centro histórico de Quito.
- Analizar las variables críticas que influyen en la operación de la red.
- Diseñar una red de transporte optimizada a través de la utilización de software especializado.
- Analizar la eficiencia de la red de transporte optimizada acorde a la implementación del metro de Quito.

1.4 Hipótesis

La utilización de los resultados generados por el software en lo referente a la eficiencia de la red evidencia mejoras en distancia recorrida y tiempos de espera.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Eficiencia en el transporte

La eficiencia en la provisión de los servicios de transporte reduce los costos para los usuarios, y al liberar recursos permite mayores niveles de consumo en toda la economía. Dicho de otra manera, el aumento de la eficiencia en el transporte de carga proporciona a los que lo utilizan un acceso más económico a una importante aportación a sus procesos de producción y para los consumidores de los bienes transportados, aumenta de facto en sus ingresos reales. (Geurs, Patuelli, & Ponce, 2016).

1.5.1.1 Eficiencia

En términos generales, la eficiencia se expone como la capacidad de concebir el mejor uso posible de los medios aprovechables para obtener un resultado deseado. (Spencer, 1993). En la expresión más sencilla se señala como la relación de salida a entrada.

Los beneficios globales se incrementarán si los recursos se esgrimen de modo eficiente, lo que significa optimizarlos, para que con una menor proporción de recursos se provea el servicio deseado. Por tanto, si se logra satisfacer las expectativas del usuario con una utilización o aplicación de recursos mínima, se prevé trabajar eficientemente. (Moscardo, 2015).

Mokate (2000) señala que incumplir precisamente los propósitos, así como un despilfarro de medios de producción conducen a que la propuesta propicie la ineficiencia.

De acuerdo con Schuschny (2007), se definen tres medidas de eficiencia: técnica, de asignación y de escala. Siendo de especial interés la eficiencia técnica.

Koopmans (1951) brinda la siguiente acepción a la eficiencia técnica: un servicio es técnicamente eficiente si el incremento en cualquier producción demanda una disminución en al menos otra salida o un incremento en al menos una entrada, y si una disminución en cualquier entrada demanda un incremento por lo menos en otra entrada o una disminución por lo menos de una salida.

1.5.1.2 Técnicas de evaluación de eficiencia

La medición de la eficiencia involucra una comparación del rendimiento real con un rendimiento óptimo ubicado en la frontera pertinente. Partiendo de la premisa de que se

desconoce la verdadera frontera, se precisa de una aproximación empírica. La aproximación se señala con frecuencia como una frontera de “las mejores prácticas” (Fried, Lovell, & Schmidt, 2008).

Se identifica dos aproximaciones para el análisis: la econométrica y la programación matemática. De acuerdo con Fried et al. (2008) las características más destacables son:

- El enfoque econométrico es estocástico, el cual pretende diferenciar los efectos del ruido y los de la ineficiencia, facilitando así el sustento hacia la inferencia estadística.
- Respecto a la programación matemática se parte del principio de que no es paramétrico, lo que consiente evitar confundir los efectos de la especificación errónea de la forma funcional (tanto de la tecnología como de la ineficiencia) con los de la ineficiencia.

Respecto a la fiabilidad de los dos enfoques, según Fried et al. (2008) refieren que mientras mayor sea la calidad de los datos, mayor será la concordancia entre los dos conjuntos de estimaciones de eficiencia.

1.5.1.3 Programación matemática para medida de eficiencia

Fried et al. (2008) reseña que el enfoque de programación matemática para la construcción de fronteras y la medición de la eficiencia en relación con las fronteras construidas, se denomina análisis de envolvente de datos, comúnmente identificado con el acrónimo DEA (Data Envelopment Analysis). El DEA permite proveer información concerniente a la eficiencia técnica de todas las medidas que se están analizando, así como la clasificación alcanzada por estas unidades conforme a la eficiencia, es decir un índice que nos va a permitir clasificar las unidades según su grado de eficiencia (Díez, 2007).

1.5.1.3.1 Conceptos básicos del DEA

El análisis DEA iniciado por Farell (1957) y operacionalizado como estimadores de programación lineal por Charnes, Cooper y Rhodes (CCR) (1978), asume libre disponibilidad y convexidad del conjunto de producción (Daraio & Simar, 2007).

El DEA es un método orientado en programación lineal no paramétrica con el objeto de evaluar la eficiencia relativa de un conjunto de medidas equivalentes, referidas como unidades de toma de decisiones (DMU: Decision Making Unit) (Toloo & Nalchigar, 2009).

El método DEA se fundamenta en un grupo de oportunidades de producción que se constituye de la envolvente convexa de los vectores de Salidas (O) – Entradas (I). Este grupo de oportunidades de producción es figurado a través de una línea de frontera isocuanta (Delfín & Melo, 2017).

1.5.1.3.2 Formulación matemática

De modo general la eficiencia se puede precisar como la relación entre las salidas y las entradas ponderadas.

De manera formal se señala en la ecuación (1):

$$E = \frac{\sum_{i=0}^N V_i Y_i}{\sum_{i=0}^N U_i X_i} \quad (1)$$

Donde: X_i y Y_i entradas y salidas

U_i y V_i importancia relativa

La eficiencia se identifica en relación con las siguientes disposiciones primordiales (García & Serrano, 2003):

1. Orientados a las salidas, los cuales buscan el mayor incremento proporcional de las “salidas” a partir de una cierta cantidad de “entradas”, mientras este dentro de la frontera de posibilidades. Una unidad se señala como ineficiente si es factible aumentar cualquier “salida” sin aumentar ninguna “entrada” y sin reducir ningún otra “salida”.
2. Orientados a las entradas, los cuales buscan la mayor reducción proporcional en el vector de “entradas” entretanto este dentro de la frontera de posibilidades. Una unidad se considera ineficiente mientras sea factible reducir alguna “entrada” sin modificar sus “salidas”.

La selección se rige en función del análisis requerido y del sector que se aplica. Cuando existe poco control sobre las “entradas”, se recomienda la orientación a las “salidas”. Si se requiere evaluar por ejemplo los costos, se debe elegir la orientación de las “entradas”.

Según Becerril et. al. (2011),

“el objetivo de estas modelaciones reside en conseguir una frontera de posibilidades de producción no-paramétrica, que agrupe todos los datos y que admita reconocer

a las DMU que la configuran, por tanto, que operan con eficiencia” (Citado en Delfín & Melo, 2017, p. 13)

Es importante tener en cuenta que los cálculos de la DEA, ya que se generan a partir de datos reales observados para cada DMU, producen solo medidas de eficiencia relativa. La eficiencia de un DMU se calcula relacionando a todas las demás variables, manipulando los valores recogidos en la observación para las salidas y entradas de cada DMU (Charnes A. , Cooper, Lewin, & Seiford, 1994).

El nivel de ineficiencia se determina por comparación con una DMU de referencia única o una combinación convexa de otras DMU de referencia ubicadas en la frontera eficiente que utilizan el mismo nivel de entradas y producen el mismo o un mayor nivel de salidas. Charnes et al. (1994) señala que esto se logra al requerir que las soluciones satisfagan las restricciones de desigualdad que pueden aumentar algunas salidas (o disminuir algunas entradas) sin empeorar las otras entradas o salidas.

La DEA trata cada DMU como una “caja negra” tomando en cuenta solo las entradas consumidas y las salidas finales originadas por esta “caja negra” (Färe, Grosskopf, & Whittaker, 2007). Esto genera en determinados momentos ciertas dificultades para establecer referencias adecuadas y DMU correctos.

Rendimientos Constantes a Escala (CRS) en DEA

El modelo con orientación de entrada, denominado CRS (Constant Returns to Scale), refiere que una variación en los niveles de entradas propicia una variación conforme al nivel de salidas, esto demanda suficientes optimizaciones como DMU’s.

Matemáticamente el modelo con orientación a la entrada (2):

$$\begin{array}{l}
 \theta^* = \min_{\theta, \lambda} \theta \\
 \text{Sujeto a:} \quad \left. \begin{array}{l}
 -Y_i + Y\lambda \geq 0 \\
 X_i/\theta - X\lambda \geq 0 \\
 \lambda \geq 0
 \end{array} \right\} \quad (2)
 \end{array}$$

Donde: θ es la medida de eficiencia o distancia a la envolvente.

X representa a la matriz de entradas.

Y representa a la matriz de salidas.

λ como el vector de intensidades.

Rendimientos Variables a Escala (VRS) en DEA

La modelación con orientación a las entradas, denominado VRS (Variable Returns to Scale), básicamente se le adiciona una condición con respecto al modelo CRS: $\sum \lambda = 1$ y queda del siguiente modo (3):

$$\begin{array}{l} \theta^* = \min_{\theta, \lambda} \theta \\ \text{Sujeto a:} \quad \left. \begin{array}{l} -Y_i + Y\lambda \geq 0 \\ X_i/\theta - X\lambda \geq 0 \\ \sum \lambda = 1 \\ \lambda, s^+, s^- \geq 0 \end{array} \right\} \end{array} \quad (3)$$

El DMU revisado no será estimado como ineficiente, acorde a lo señalado por Pareto-Koopmans, si y solo si cumplen las siguientes condiciones: el valor resultante es $\theta^* = 1$ y todas las variables de holguras tienen un valor igual a cero, por tanto $s^{+*} = 0$ y $s^{-*} = 0$ (Delfín & Navarro, 2014).

1.5.1.3.3 Análisis Slacks

Tone (2001) señala que la solución óptima revela, al mismo tiempo, la existencia en su caso, de excesos de las entradas y/o deficiencias en las salidas, que se denominan "slacks". Una DMU que tiene $\theta^* = 1$ y sin slacks es la solución óptima.

Para lograr que una DMU sea eficiente, en ciertos casos, no es suficiente con la disminución equitativa de entradas, o aumento de salidas. Se requiere realizar una disminución agregada de entradas, o adición de salidas, la cual no será proporcional (radial). Los arreglos adicionales en las entradas, como exceso de entrada, o en las salidas, como déficit de salida, son los slacks que permiten orientar el análisis a la optimización (Jorda, 2012).

1.5.1.4 Estrategia de mejora

Fried et al. (2008) señala que el componente técnico del análisis de la eficiencia promueve la necesidad de impedir al máximo el despilfarro, como puede ser a través de la obtención de tanto rendimiento como lo permita la técnica y la utilización de insumos, o utilizando tan poca información como lo requiera la técnica y la producción de salida. Entonces, la revisión de la eficiencia técnica puede tener una orientación al incremento de salida o una disposición a la conservación de entrada.

Según Díez (2007), para la dirección empresarial la utilidad del DEA brinda soporte para proyectar los siguientes objetivos:

- Una ordenación de los recursos útiles encaminada a las unidades menos eficientes.
- La fijación de metas de eficiencia precisas.
- La revisión de los cambios de eficiencia a través del tiempo.
- La determinación de unidades que se deben modificar para conseguir las mejores soluciones.

1.5.2 Transporte

El transporte masivo a través de autobuses de gran capacidad se ha extendido en varias ciudades de Sudamérica. Como por ejemplo, en Curitiba, este tipo de servicio fue precursor y está conglomerado en un modelo de desarrollo que ha venido evolucionando, por otro lado, en Quito, se ha establecido en un bosquejo de transporte masivo que se encarga de una demanda actual, sin tratar de alterar el desarrollo urbano (Chaparro, 2002).

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se distingue por contar con una zona central denominado hipercentro, el cual congrega la mayoría de las funciones urbanas del DMQ. Incluso se ha determinado que en este espacio se sitúan la mayoría de las empresas con más de 1000 asociados, diferentes centros de estudio, diversas compañías de salud, y casi toda la administración pública (Hubenthal, 2010). En la figura 1 se señala un esquema de un sistema de transporte inadecuado.

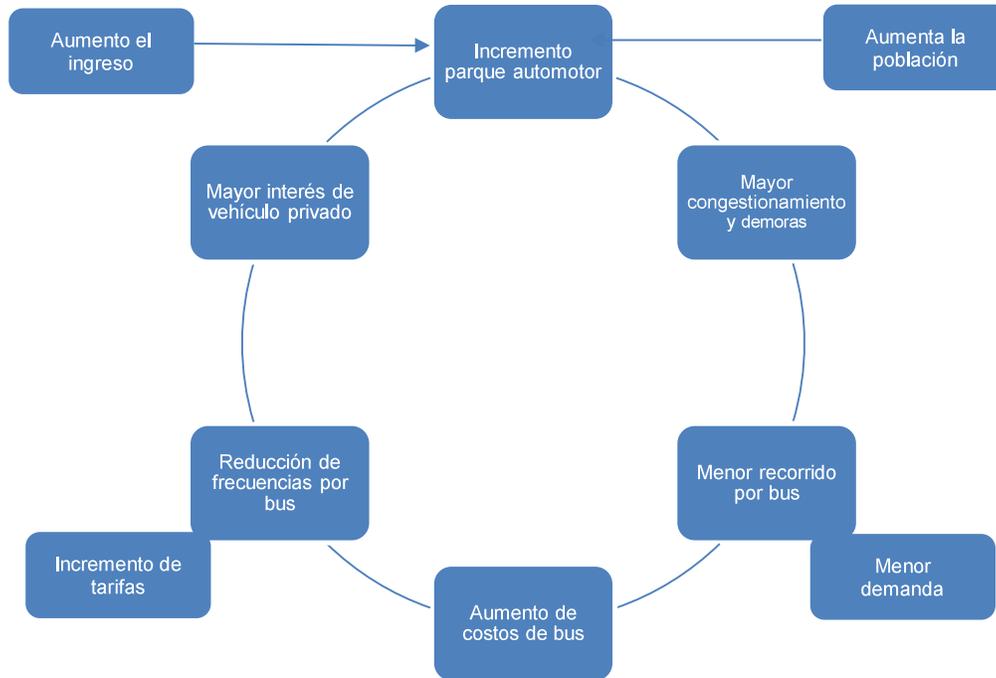


Figura 1 - Sistema de transporte inadecuado
(Ortúzar & Willumsen, 2008, pág. 37)

La proyección de un sistema de transporte urbano involucra establecer un plan delineado de rutas, asignación de personal, frecuencia, flotas y horarios en la medida de lo posible óptimas. Esta tarea se puede dividir en varias fases de acuerdo con Ceder y Wilson (1986):

- Delineación de trayectos: número de líneas y el diseño de sus jornadas.
- Establecer frecuencias: intervalo de salida entre unidades.
- Establecer horarios: cuadro de horarios de las líneas y tiempo global de trabajo.
- Señalamiento de flota: partiendo de las unidades aprovechables para cumplir los recorridos.
- Designación de recursos humanos aprovechables a los viajes proyectados por la empresa.

El diseño de rutas y determinación de frecuencias son ordinariamente regidas por las entidades reguladoras, es decir, el gobierno a través de las municipalidades. Las otras etapas usualmente son propiciadas por las empresas de transporte.

La optimización de un sistema de transporte urbano en general prevé objetivos del tipo: acrecentar la calidad del servicio y maximizar la utilidad de las compañías proveedoras de

servicio. La solución integral al problema estriba en la resolución adecuada de cada una de las fases del proceso; es acertado suponer que las opciones factibles de las tres últimas fases del desarrollo están ceñidas por las resoluciones logradas en los apartados anteriores (Ceder & Wilson, 1986).

1.5.2.1 Políticas públicas en el transporte

Las políticas de transporte deben ir encaminadas a dar solución a los requerimientos de los habitantes. Los requerimientos de movilización no suelen ser estándar, es decir, están en función de las particularidades comunales y particulares de los habitantes. Las políticas públicas requieren configurarse a los distintos perfiles y examinarse de modo particular (Delfín & Melo, 2017).

La Unión Internacional de Transporte Público (UITP) (2003) refiere que la movilidad urbana requiere encaminarse en función de los siguientes principios básicos: un uso de suelo apropiado a los requerimientos de movilidad, una limitación del empleo de los vehículos particulares y el impulso de un medio de transporte eficaz

Particularmente en Quito, se ha dado un especial énfasis a los estudios de movilidad (EDM) para el establecimiento de políticas de transporte, dado que encarnan una enorme herramienta para la proyección y gestión de la ciudad, proveyendo una perspectiva muy precisa del complicado conjunto de actividades urbanas, cuya correspondencia se exterioriza por medio de la movilidad, la cual se orienta a través del sistema de transporte urbano (Empresa Pública Metropolitana Metro de Quito, 2012).

1.5.3 Teoría de grafos y redes

El diseño de red es una de las clases de problemas de optimización más importantes y usuales. Es un campo combinatorio entre teoría de grafos y optimización. Una ingente cuantía de ejercicios de optimización en el bosquejo de la red surgió inmediatamente de la experiencia cotidiana en ingeniería y administración: establecer rutas más cortas o confiables en redes de comunicación o de tráfico, flujos máximos; proyección de conexiones en redes de tráfico y resolviendo problemas de oferta y demanda (Gen, Cheng, & Lin, 2008).

Además, el esbozo de redes también es transcendental para la teoría de la complejidad, un área en la confluencia común entre la informática teórica y las matemáticas. Sin

embargo, existe una gran clase de problemas de optimización de red para los cuales no se han desarrollado algoritmos rápidos razonables (Gen, Cheng, & Lin, 2008).

Hillier & Lieberman (2001) sugieren que la representación de una red proporciona una ayuda visual y conceptual muy poderosa para plasmar los vínculos entre los constituyentes de los sistemas que se aprovecha en prácticamente todos los campos del esfuerzo científico, social y económico.

Gen et al. (2008) reseña que el diseño de redes se utiliza ampliamente en la práctica en un espectro cada vez mayor de aplicaciones. Los modelos de optimización de red como la ruta más corta, asignación, flujo máximo, transporte, transbordo, árbol de expansión, emparejamiento, vendedor ambulante, asignación generalizada, enrutamiento de vehículos y flujo de múltiples productos constituyen la clase más común de problemas prácticos de optimización de red

Estos modelos de red se utilizan más ampliamente en aplicaciones y se diferencian por sus características estructurales en la figura 2 se resume de modo general los modelos de red.

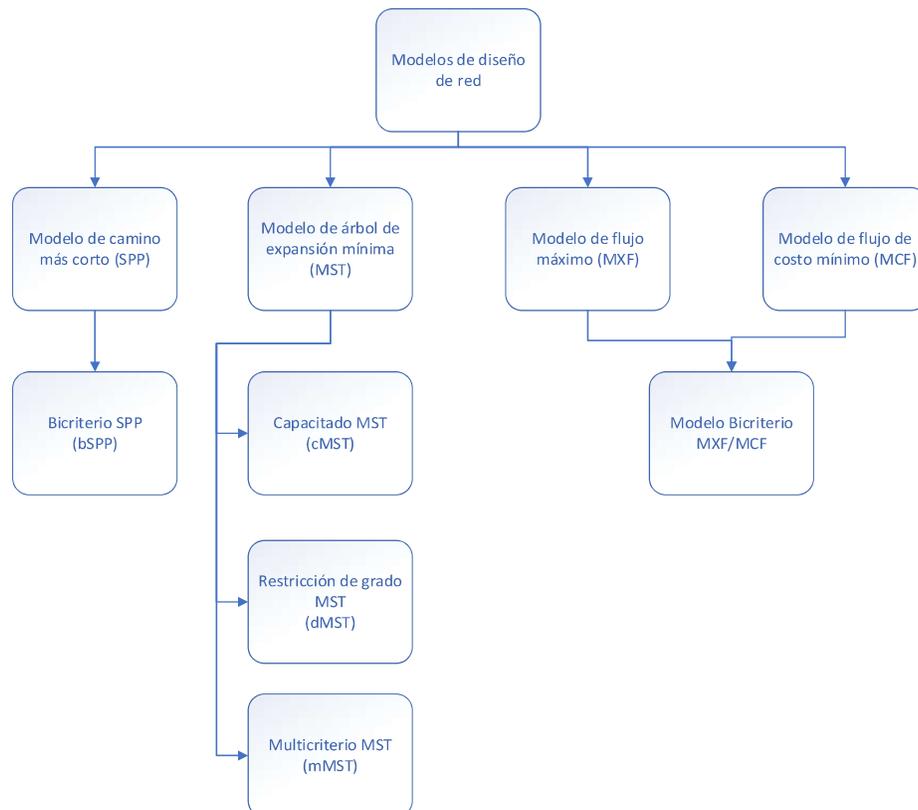


Figura 2 - Modelos básicos de diseño de red
(Gen, Cheng, & Lin, 2008, pág. 50)

1.5.3.1 Componentes de grafos y redes

Bertsekas (1998) señala que los conceptos de los grafos aplicados a redes son bastante intuitivos y pueden entenderse en términos de figuras sugerentes, pero a menudo implican sutilezas ocultas para el análisis.

Una red está compuesta por un cúmulo de puntos y líneas que conectan algunos pares de puntos. Los puntos se designan como nodos o vértices. Las líneas se designan como arcos o enlaces (bordes o ramas) (Hillier & Lieberman, 2001). Para la modelación de una red para efectos de transporte, se asocian los nodos con las intersecciones y los arcos con las vías.

Los arcos de una red pueden tener un flujo de algún tipo a través de ellos, en una red vial serían los vehículos. Si se consiente el flujo por medio de un arco en una sola dirección, por ejemplo, una calle de sentido único se señala que el arco es un arco dirigido. Por el contrario si se dispone de movimiento en ambos sentidos se denomina arco no dirigido (Hillier & Lieberman, 2001).

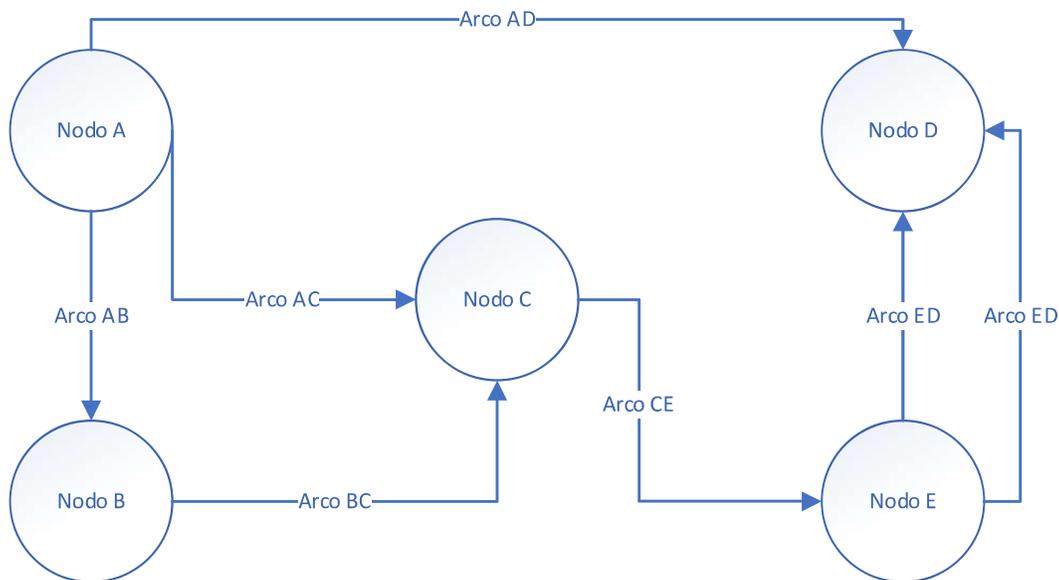


Figura 3 - Esquematación de red

Una ruta a través de dos nodos es una secuencia de arcos diferentes conectando dichos nodos. La ruta canalizada partiendo del nodo i al nodo j es una secuencia de arcos de conexión en la que la orientación (si la tienen) es hacia el nodo j , por tanto, es factible el

flujo desde el nodo i al nodo j a lo largo de la ruta (Hillier & Lieberman, 2001). Por ejemplo, en la figura 3 la secuencia de arcos AB-BC-CE es una ruta dirigida.

1.5.3.2 Problema de la ruta más corta (SPP)

Gen et al. (2008) señala que el modelo de la ruta más corta es el corazón de la optimización del diseño de red. Surgen con frecuencia en la práctica, ya que en una amplia variedad de aplicaciones se requiere enviar algún material como, por ejemplo, un paquete de datos informáticos, una llamada telefónica, un vehículo entre dos puntos específicos en una red tan rápido, tan barato o confiable como sea posible.

Partiendo de la suposición de que a cada arco (i, j) de una gráfica se le asigna un costo escalar a_{ij} , y suponiendo que se define el costo de una trayectoria de avance como el total de los costos de sus arcos. Dado un par de nodos, el problema de la ruta más corta es hallar un trayecto hacia adelante que conecte estos nodos y tenga un costo mínimo. De esta forma se hace una analogía entre los arcos y sus costos, y las vías en una red de transporte y sus distancias, respectivamente (Bertsekas, 1998).

Dentro del contexto de transporte, el problema se convierte en hallar la ruta más corta entre dos sitios geográficos. Basado en esta analogía, la premisa se conoce como el problema de la ruta más corta, y los costos de arco y los costos de ruta se conocen comúnmente como longitudes de arco y longitud de camino, respectivamente (Bertsekas, 1998).

Es posible resolver el problema de encontrar un recorrido más corto partiendo de un nodo A hacia el nodo B como el siguiente problema de flujo de costo mínimo (4):

$$\begin{array}{l}
 \text{Minimizar:} \\
 \sum_{(i,j) \in \mathcal{A}} a_{ij} x_{ij} \\
 \\
 \text{Sujeto a:} \\
 \sum_{\{j|(i,j) \in \mathcal{A}\}} x_{ij} - \sum_{\{j|(i,j) \in \mathcal{A}\}} x_{ji} = \begin{cases} 1 & \text{si } i = A \\ -1 & \text{si } i = B \\ 0 & \text{de otro modo,} \end{cases} \\
 0 \leq x_{ij} \\
 \forall (i,j) \in \mathcal{A}
 \end{array} \quad (4)$$

Donde:

a_{ij} : es el coeficiente de costo (o simplemente costo) de (i, j) .

x_{ij} : flujo de un arco o valor de arco.

\mathcal{A} : un conjunto de pares de arcos.

Para ver esto, se asocia con cualquier camino hacia adelante P desde A hasta B el vector de flujo x con los componentes dados por:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } (i, j) \text{ pertenece a } P \\ 0 & \text{de otro modo} \end{cases}$$

Entonces x es factible para el problema y el costo de x es igual a la longitud de P . Por lo tanto, si un vector x de la forma anterior es una solución óptima del problema, la ruta correspondiente P es la más corta.

1.5.4 Redes de transporte

La red de transporte público urbano tiene un impacto enorme en la economía metropolitana, y también es responsable de la movilidad de miles de pasajeros. Por lo tanto, son los proyectos prioritarios de los gobiernos y las empresas (Chen, Li, & He, 2007).

Las redes de transporte público presentan una complejidad sistémica inherente debido a su dependencia de la programación y la organización de la red. Debido a esto, la eficiente planificación y gestión de redes de transporte requiere herramientas avanzadas de modelado y análisis (Kujala, Weckstrom, Mladenovic, & Saramaki, 2018).

Aunque los rangos y los alcances de la planificación varían mucho entre los modos, los propósitos en la planificación y el bosquejo de la red de tránsito son comunes para todos los modos (Meyer & Institute of Transportation Engineers, 2016).

1.5.4.1 Red de transporte de buses

La red de tránsito de buses comúnmente se compone de rutas de autobuses individuales. Estas redes de tránsito afectan el transporte del público en el área que atienden a través de estas rutas. Esta ruta de autobús constituye un vínculo entre el proveedor, el usuario y la sociedad. El control del rendimiento se logra mediante la valoración de la eficiencia y la eficacia de las rutas de autobuses individuales al proporcionar el servicio (Sheth, 2003).

En la vida real, las redes de servicios deben responder a las demandas locales, y deben respetar las limitaciones físicas, como la topografía, la configuración de calles establecida, la estrechez de vías, entre otros. Casi no hay una ciudad de tamaño considerable en la que un patrón único sea identificable, especialmente en Quito, dado que el sistema total tiene que desarrollarse en función de la necesidad de servicio, ya que se genera zona por zona. (Grava, 2003).

Las alineaciones de líneas y las ubicaciones de las estaciones comprenden la infraestructura básica de los sistemas de tránsito. En conjunto, la disposición y el diseño de líneas y estaciones crean redes de tránsito, cuya naturaleza tiene una profunda influencia en la calidad del servicio de tránsito ofrecido y la función del sistema (Meyer & Institute of Transportation Engineers, 2016).

Es importante que las redes de transporte se configuren para que sean accesibles para el usuario, de acuerdo con Meyer et. al. (2016), para acceder a una parada de autobús, un tiempo de acceso aceptable se ha estimado en 10 minutos o una distancia de 730 metros con una velocidad del peatón de 1.2 m/s.

De acuerdo con Meyer et al. (2016) las redes de transporte deben propender a lo siguiente:

- Maximizar la cantidad de pasajeros en tránsito, medido en viajes no vinculados o en millas de pasajeros servidas. Este objetivo requiere brindar un servicio atractivo a los pasajeros, incluida una buena cobertura de área, acceso corto a estaciones, servicios de alta frecuencia y servicios confiables y de alta velocidad entre los principales generadores de viajes.
- Lograr la máxima eficiencia operativa y económica. Este objetivo se enfoca en operar eficientemente, es decir, lograr un alto rendimiento por unidad de costos, mano de obra y otros recursos. También debe garantizar la integración y las transferencias convenientes con otros modos de transporte, así como equilibrar la inversión del sistema y los costos operativos.
- Lograr el máximo impacto positivo en la ciudad y región. Estos impactos pueden incluir aumentos a corto plazo en la división modal del tránsito y, a largo plazo, el apoyo a formas urbanas y habitabilidad deseables, al tiempo que reducen la congestión del tráfico y aseguran una baja contaminación del aire y ruido.

1.5.4.2 Análisis de la envolvente de datos de red en el transporte

La capacidad de mejorar el rendimiento del tránsito se basa en la capacidad de medirlo. La literatura hace referencia a la investigación sobre el transporte público en la que se ha utilizado la DEA como herramienta de evaluación de eficiencia/rendimiento.

El modelo de red DEA tiene varias características atractivas en comparación con los análisis convencionales. En particular, proporciona a los directores la información específica sobre los orígenes de ineficiencia dentro de los DMU (Yu & Chen, 2016).

En la mayoría de las situaciones reales, las DMU pueden realizar varias funciones diferentes y también pueden separarse en diferentes componentes en serie. En tales situaciones, algunos componentes desempeñan funciones importantes en la producción de resultados mediante el uso de productos intermedios obtenidos de sus componentes anteriores (Yu & Chen, 2016).

En este caso, el modelo DEA convencional no puede imponer restricciones a las interrelaciones entre productos intermedios cuando se mide el desempeño general de la DMU junto con el de sus componentes. Si esta "caja negra" consiste en un conjunto de subunidades que están conectadas en serie, ese enfoque no proporciona información sobre las interrelaciones entre las ineficiencias de los componentes y no puede proporcionar una guía de procesos específica a los administradores de DMU para ayudarlos a mejorar la eficiencia de DMU (Yu & Chen, 2016).

Cabe mencionar que la metodología DEA se ha utilizado ampliamente en el pasado, ya sea de forma particular o se conjuga con otras técnicas como la regresión, el análisis de Tobit y otras más, para evaluar el desempeño productivo en diversas áreas del transporte, como el transporte aéreo en Gillen & Lall (1997), operaciones de autobuses en Boilé (2001), entre otros.

1.5.5 Optimización

Una evaluación continua de su propio desempeño ayuda a una compañía a identificar las ineficiencias y sus fuentes. Una vez que se revelan estas deficiencias, el siguiente paso es implementar cambios para mejorar o rediseñar el proceso de provisión de servicios de transporte. La evaluación del desempeño permitirá a una organización reducir su dependencia de la asistencia del gobierno debido al uso eficiente de sus recursos. Por lo

tanto, es imperativo para estas compañías medir y monitorear su desempeño (Sheth, 2003).

Según Moscardo (2015) entre los beneficios primordiales del mejoramiento en la organización de flotas:

- Disminución de costos: optimización en la gestión de vehículos lo cual implica explotar los recursos con la minimización de pérdidas.
- Perfeccionamiento de la calidad del servicio: prever contingencias de diversos tipos para atender a los usuarios y establecer vínculos de confianza.
- Ahorro de tiempo: Debido a la sistematización en la programación de trayectos.
- Ejecución de la normativa vigente: los preceptos emitidos por los entes reguladores son acoplados en la proyección de la previsión de demanda.

El sistema de transporte actual presenta una altísima superposición en sus líneas, por ejemplo, existen ciertas rutas que cubren el mismo trayecto hasta en un 70% en su itinerario. De acuerdo con la Empresa Pública Metropolitana Metro de Quito (2011) este ha conllevado a los entes administrativos a la adición de unidades de modo habitual, y otras derivaciones acarrea la superposición de líneas como:

- En ciertas vías existe una excesiva circulación de vehículos de transporte, con el consecuente aumento de tráfico, mientras en otros sectores como en las periferias el nivel de servicio es exiguo.
- El acrecentamiento de los vehículos-kilómetro ejecutados por todas las líneas de la red, lo cual involucra un aumento del costo.
- El aumento en la inseguridad en las vías de tránsito propiciado por las unidades por conseguir pasajeros en adelantamientos inadecuados.

Cabe dilucidar que la modelización del transporte no es la planificación del transporte sino una herramienta para tomar resoluciones, pese a que en ciertas ocasiones puede conseguir un rol preponderante, aunque no concluyente. La modelización debe ser tomada en cuenta como una herramienta de soporte en la determinación de opciones y no como la meta final de dicha planificación (Ortúzar & Willumsen, 2008).

El desarrollo de un análisis espacial de la ordenación de red del transporte público vigente en el DMQ, en el cual se bosqueje un modelo para rediseñar el recorrido de nuevas rutas de buses, de tal modo que se alcance una accesibilidad que satisfaga el requerimiento de movilización de los ciudadanos y un recorrido eficiente reduzca el tiempo para desplazarse

entre dos puntos. De manera adicional, el nuevo itinerario admita la vinculación de rutas de transporte urbano, lo cual involucra regenerar la accesibilidad al servicio (Espíndola, 2018).

Espíndola (2018) recalca el uso de los SIG para el rediseño del acceso a las facilidades de transporte, utilizando factores de accesibilidad, optimizan la eficiencia y la igualdad en el acceso al servicio público, tomando en cuenta los tiempos de desplazamientos y la cobertura espacial.

1.5.5.1 Cálculo de rutas óptimas

El cálculo de rutas óptimas supone varias aplicaciones prácticas. Se basa en hallar el camino más corto, en función del costo, distancia y/o tiempo, a través de dos puntos en una red. Bosque (1992) recalca que no se puede utilizar para estos casos la distancia euclidiana debido a que los movimientos necesariamente se realizan por las aristas que estructuran la red vial.

1.5.5.1.1 Algoritmo Dijkstra

En 1959, Edsger Dijkstra desarrolló un algoritmo para converger la ruta más reducida en una configuración de red, el cual es válido para valores no negativos de arcos (Bhandari, 1999).

El algoritmo para encontrar las rutas más cortas usa observaciones o etiquetados. Obviamente, el camino más corto del nodo origen (s) a sí mismo es trivial, y tiene una longitud de 0. Luego encuentre el nodo más cercano a (s), colocando una "etiqueta" numérica igual a la longitud del borde en todos los nodos que están conectados a (s). El algoritmo encuentra el más pequeño de estos y se ha encontrado el primer camino interesante (no trivial). A continuación, examina si esta etiqueta más pequeña podría usarse como parte de una ruta a otros nodos, verificando si la ruta que se acaba de encontrar se puede extender. Este proceso se repite, seleccionando la ruta con una etiqueta más pequeña que no se haya utilizado, intentando extender esa ruta hasta que todos los nodos tengan una ruta hacia ellas (Smith, 2003).

Smith (2003) recalca que, para asegurar el funcionamiento, es necesario que haya una forma sencilla de registrar qué etiquetas representan las longitudes de las rutas más cortas y cuáles podrían hacerlo. Esto se podría hacer registrando la longitud del camino más reciente, pero es más conveniente hacer que las etiquetas tengan dos estados,

generalmente denominadas "temporales" y "permanentes". Estos nombres encajan con otra descripción común del método de Dijkstra como un algoritmo de "ajuste de etiqueta".

1.5.5.1.2 Uso de sistemas de información geográfica (SIG)

Desde una perspectiva funcional, un sistema de información geográfica (GIS) es una estructura informática capaz de manejar datos georreferenciados. Estos tipos de datos se refieren a la información asociada con las coordenadas geográficas (longitud, latitud). (Rodríguez & Lazo, 2013).

El resultado generado por el (SIG), proporciona un gráfico en donde la ruta obtenida está incorporada por una simbología distinta con respecto a las líneas de la red vial y por un cuadro en donde se enlistan las aristas atravesadas por la ruta óptima, la distancia y los giros realizados en las intersecciones (Escobar, 1996).

1.5.6 Regulación de transporte

La expansión urbana no organizada conduce a un sistema de transporte no organizado e irracional en el que la superposición de rutas es una de sus características. Además, si no se coordina de manera central con el gobierno municipal, da como resultado una superposición y una baja coordinación de las rutas y la irracionalidad de todo el sistema (Ramos, Lima, & Sampaio, 2008).

Moscardo (2015) recalca que la legislación suele disponer normas sobre unidades mínimas que son necesarias para que una entidad de transporte pueda prestar sus servicios, así como instituir pautas en lo referente al dimensionamiento y organización de la flota del transporte.

Según Molinero & Sánchez (1997) para que el servicio se considere público debe satisfacer las siguientes características básicas:

- Cumplir con un menester de naturaleza común.
- La implicación de un ente público.
- La prestación debe favorecer a la colectividad.
- Regirse a la política de derecho público.

Actualmente en el Distrito Metropolitano el transporte público es regulado principalmente por las siguientes normas (GSD Plus, 2017):

- Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial (LOTTTSV). Donde se recaban las obligaciones de las autoridades en lo referente al servicio de transporte público.
- Reglamento a la Ley Orgánica de Tránsito, Transporte y Seguridad Vial. Se establecen las condiciones bajo las cuales se aplican.
- Ordenanzas Metropolitanas. Que señalan las responsabilidades de los distintos actores en lo referente a la dirección, gestión y revisión del servicio de transporte.

En la figura 4 se encuentra detallada la configuración de la institucionalidad en el DMQ.

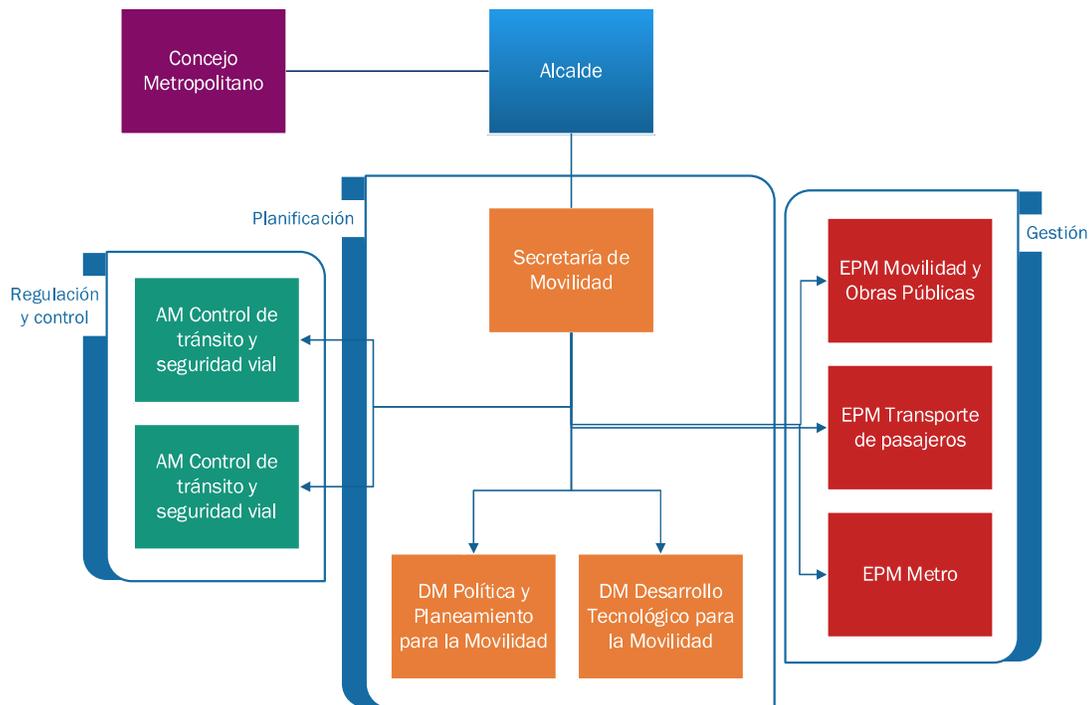


Figura 4 - Institucionalidad del sistema de transporte en el DMQ
(Distrito Metropolitano de Quito, 2013)

1.5.7 Análisis de demanda y oferta

Las características demográficas de una población como: cantidad, ritmo de crecimiento, grupos de edad, características de ocupación, migración, entre otras; en adición con el nivel del movimiento económico y principalmente la conglomeración de esta y su configuración, intervienen en la demanda agregada de transporte. El crecimiento de la población y el acrecentamiento del dinamismo económico generalmente están vinculados a una mayor demanda de transporte, a pesar de que la organización de transporte por modos logra diferir de sobremanera entre ciudades y en el tiempo (Mendoza, Campos, &

Nombela, 2003). En la figura 5 se indica una sinopsis de los más importantes determinantes de la demanda de transporte, disgregando la demanda agregada e individual.

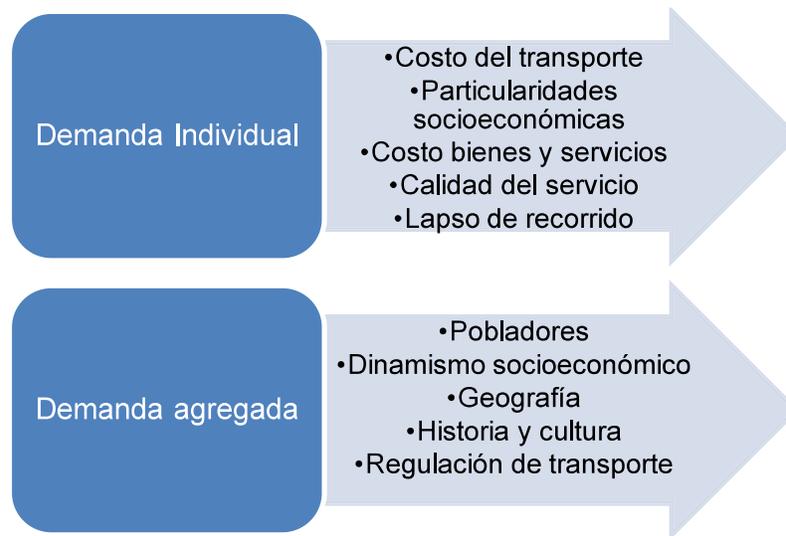


Figura 5 – Factores de la demanda de transporte (Mendoza, Campos, & Nombela, 2003, pág. 130)

Por tanto, el requerimiento de transporte está condicionado por un conglomerado de factores monetarios y no monetarios (Mendoza, Campos, & Nombela, 2003).

En estos últimos años la tendencia en lo referente a la planificación del transporte va encaminada hacia la gestión de la demanda en medios de movilidad sostenible. El espacio está restringido pero el incremento de la demanda no se limita. Por lo tanto, puede ser una estrategia adecuada que, en lugar de incrementar las infraestructuras, iniciar con una apropiada optimización de los recursos disponibles gestionando convenientemente la demanda en otras formas a los esgrimidos en los últimos años (Ortúzar & Willumsen, 2008).

1.5.7.1 Transporte Urbano

De acuerdo con el Distrito Metropolitano de Quito (2013), la ordenanza municipal 194 instauro el Sistema Metropolitano de Transporte Público de Pasajeros (SMTTP), que está compuesto por estos subsistemas:

- Transporte colectivo en rutas mencionado como: transporte convencional.
- Transporte colectivo de pasajeros en corredores viales exclusivos “BRT” denominado como Metrobús-Q.
- Transporte masivo de pasajeros denominado como Metro de Quito.

La información de demanda en Quito señala que el modo habitual de transporte urbano es el modo motorizado de mayor uso por los pobladores para efectuar su movilización (Empresa Pública Metropolitana Metro de Quito, 2011):

- Demanda servida: 1,8 millones de etapas en día laborable (el 60% de pasajeros tienden a escoger el transporte público emplean esta vía).
- Demanda potencial: A una distancia de 200 m de ciertas rutas del servicio de buses habitan un alto promedio (76%) del total de la población de Quito y, a una distancia menor a 400 m. funcionalmente la totalidad (93%)

Como lo señalan los estudios del Metro de Quito (2011), los estimadores de oferta son muy inconstantes, sujetos a modificaciones transitorias.

Una particularidad notable de la oferta de transporte es el grado de congestión que existe en la actualidad, sobre todo en áreas urbanas. Es complicado precisar la congestión de modo objetivo, la congestión se origina cuando la intensidad de la demanda se aproxima a la cabida de la instalación (calle) y la duración necesaria para recorrerla excede por mucho el promedio bajo circunstancias de baja demanda (Ortúzar & Willumsen, 2008). En la figura 6 se indica el grado de congestión por el sector del Centro Histórico.

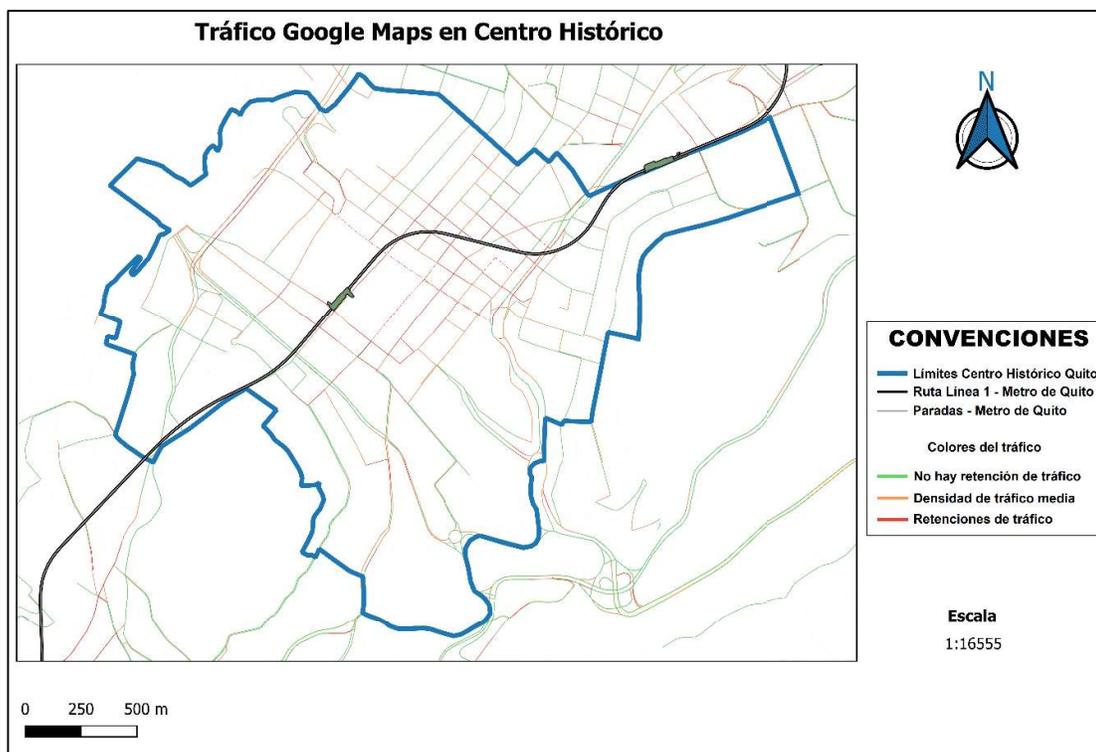


Figura 6 - Tráfico según Google Maps en Centro Histórico

Como se señala en la figura 7, la desarticulación entre oferta y demanda originado por la aparición de alguna circunstancia que restrinja la capacidad logra suscitar dos modelos diferentes de problemas.

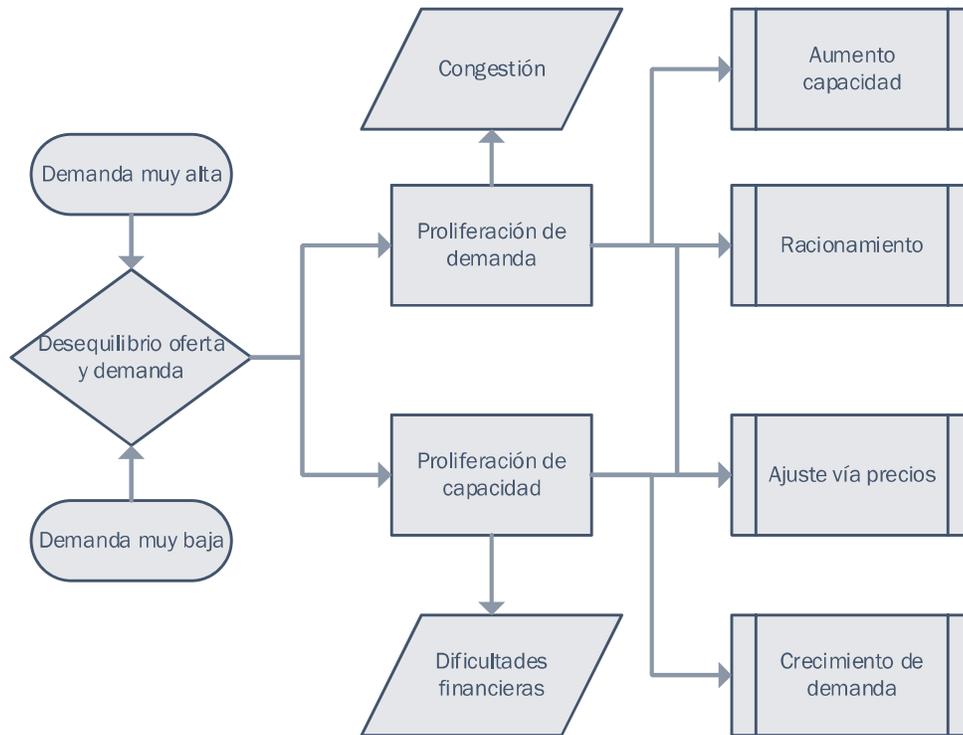


Figura 7 - Derivaciones de una previsión inadecuada de la demanda (Mendoza, Campos, & Nombela, 2003, pág. 166)

Mendoza et al. (2003) refiere que, en ciertos casos, bien por el incremento desmesurado de la demanda, o debido a una planificación desatinada de la capacidad, algunos casos ambas. La congestión ocasionada por el tráfico, especialmente en las horas pico, propicia álgidos problemas de congestión y retardos. Existen medidas de solución a estos problemas, pero con la prestación de transporte suelen ser dispendiosas y complicadas de implementar.

1.5.7.2 Metro de Quito

A fin de optimizar la movilidad urbana, el DMQ está construyendo su primera línea de metro subterránea. Está previsto que recorra la urbe de norte a sur, 22 kilómetros y 15 estaciones operantes, se prevé atender 370.000 viajes diarios. El esquema del Metro está pensado

para conectar las principales centralidades de Quito como puntos de alta afluencia de ciudadanos (Banco Interamericano de Desarrollo, 2018).

De acuerdo con la información del Metro de Quito (2019) posee las subsiguientes particularidades:

- Capacidad instalada por tren: 1 500 pasajeros.
- Demanda estimada: 400 000 pasajeros.
- Estaciones de Norte a Sur: El Labrador, Jipijapa, Iñaquito, La Carolina, La Pradera, Universidad, El Ejido, La Alameda, San Francisco, La Magdalena, El Recreo, El Calzado, Solanda, Morán Valverde y Quitumbe.
- Dispone de 18 trenes con 6 vagones.
- Velocidad promedio: 37 km/h.
- Tiempo de viaje de la línea: 34 minutos.

En la figura 8 se indica el trazado del Metro de Quito con las estaciones correspondientes.

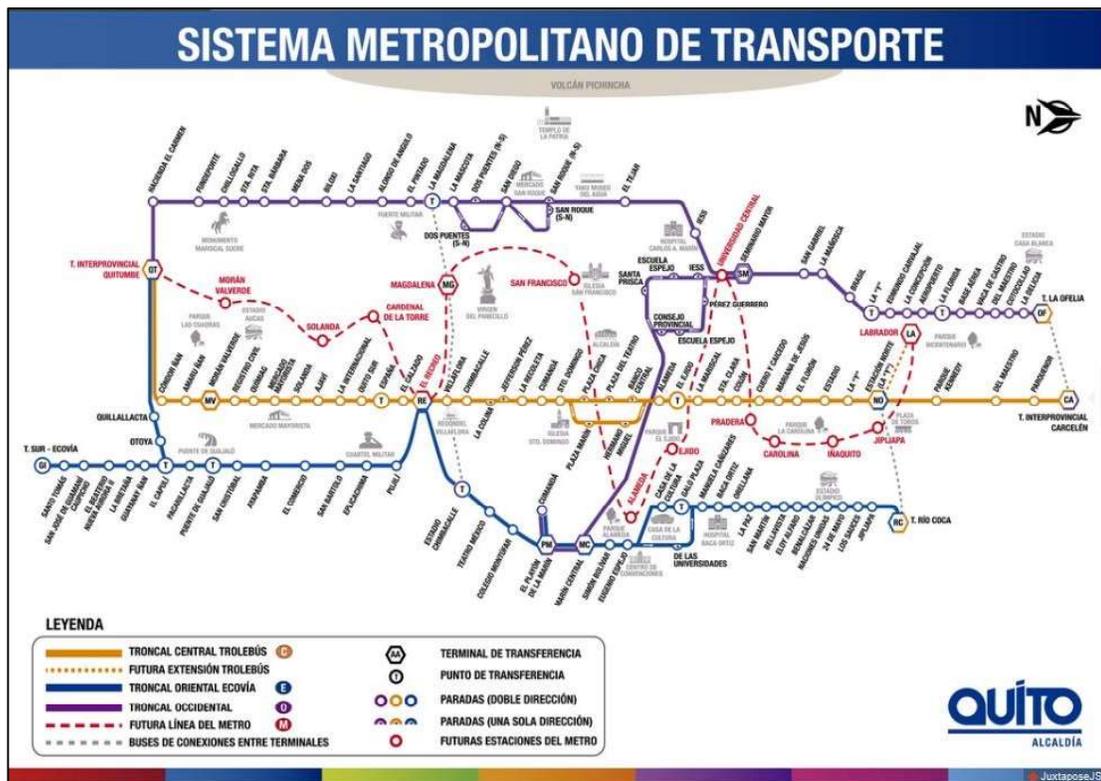


Figura 8 - Sistema Metropolitano de transporte - Mapa con línea de metro
 Recuperado de <http://gobiernoabierto.quito.gov.ec>

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1 Enfoque del proyecto

Se plantea una investigación mixta, la misma que se origina a partir de la composición del método cuantitativo y el método cualitativo, suscitando un solo estudio con la finalidad de tener una perspectiva sistémica del problema estudiado (Sampieri, Fernández, & Baptista, 2010). Se recabará información cuantitativa referente a las rutas de transporte del Centro Histórico, a continuación, se generará un análisis de eficiencia preliminar y el desarrollo de opciones de trayectos optimizados a partir de los resultados obtenidos.

2.2 Alcance del proyecto de investigación

En correspondencia con las etapas de investigación planeadas, se recopilarán los datos para un subsiguiente análisis el cual propiciará la generación de un esquema de rutas optimizado de la red de transporte, según lo que precisa (Sampieri et al., 2010):

“El estudio descriptivo inquiera describir las propiedades y características de procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Por tanto, solo se procura evaluar o recopilar información de forma autónoma o conjunta respecto a las acepciones o las variables a las que se atañen”. (p.80)

Esto permite identificarla como una investigación descriptiva, dado que se recopilarán ciertas variables concernientes al sector del transporte y a partir de esas variables se generará un análisis de la eficiencia de las rutas de la red de transporte en el centro histórico.

2.3 Diseño de la investigación

La investigación prevé analizar la eficiencia de una red de transporte urbano terrestre público, a través del uso de un software especializado en concordancia al próximo inicio de operaciones del metro de Quito, sin modificar intencionadamente los factores, en consecuencia, el diseño que se ciñe a los objetivos perseguidos es el no experimental transeccional de tipo descriptivo, de acuerdo con la acepción señalada por Sampieri et al., (2010):

“Los diseños de investigación transeccional recopilan datos en un determinado momento, en un tiempo único. Su finalidad es relatar variables y analizar su ocurrencia e interrelación en un instante definido” (p.152).

2.4 Selección de la muestra

2.4.1 Límites geográficos del estudio

Para delimitar el área del estudio se realizará una revisión de los límites y área del Centro Histórico de Quito (CHQ). El CHQ abarca un área de 376 hectáreas de protección edificada y 230 hectáreas de superficie de protección natural (Dirección Metropolitana de Territorio y Vivienda, 2003). Se requerirá identificar de forma espacial los límites para establecer las vías que recorren las rutas de transporte y disgregar rutas que no sean concernientes al área del CHQ.

2.4.2 Rutas de transporte urbano

En la delimitación de las rutas que se van a analizar, se parte del criterio de que se recabarán todas las rutas que recorran dentro de los límites del Centro Histórico, la información de las rutas se obtendrá de la Secretaria de Movilidad, la Cámara de Transporte Urbano de Quito (CTUQ) y la información que se halla disponible en el Geoportal abierto del DMQ.

De manera adicional para el análisis se requerirá un levantamiento de los recorridos que sean manipulables en un software SIG para la optimización de recorridos.

2.4.3 Operación Metro de Quito

Se requerirá información básica respecto al inicio de operaciones del Metro De Quito para correlacionar con la optimización de las rutas de transporte. Se revisará inicialmente la información de los estudios preliminares y de operación.

2.5 Herramientas de análisis de datos

La muestra seleccionada se conformará de las rutas que ofrecen el servicio de transporte urbano en el DMQ, en los límites que se rigen al Centro Histórico y que se encuentran influenciados por las nuevas estaciones del Metro.

Como lo señala Charnes et al. (1994), las soluciones DEA se podrán obtener con un software de programación lineal convencional, sin embargo, esta tarea podría llevar mucho tiempo. En principio, las soluciones DEA requieren el cálculo de tantos programas lineales como DMU. Cuando se usan paquetes de software de programación lineal ordinarios, esta tarea puede volverse desalentadora incluso para problemas pequeños como por ejemplo más de 100 DMU.

2.5.1 Selección de Entradas y Salidas

Para llevar a cabo el estudio se iniciará disponiendo la muestra de estudio los cuales representarán las DMU. La elección de factores se realizará en consonancia con las variables manejadas en el sector del transporte y en función de la disponibilidad de datos de la Secretaría de Movilidad que maneja para sus estudios. Las entradas y salidas quedarán precisadas previo al análisis en el software.

2.5.2 Selección de Modelo para análisis DEA

Para cuantificar la eficiencia del transporte público en el DMQ, se generarán dos modelaciones DEA: el primero con rendimientos constantes a escala (CRS) y el segundo con rendimientos variables a escala (VRS). Se manejará una orientación a las salidas, dado que se pretende maximizar las salidas dado una cantidad de entradas.

2.5.3 Selección de Software para análisis DEA

La resolución de problemas DEA requiere típicamente una ingente cantidad de datos y el proceso demanda un software específico. En la actualidad se puede recurrir a ciertos paquetes que solventan este tipo de problemas, varios de ellos libre disponibilidad restringidos en sus prestaciones (cantidad de DMU, entradas, salidas y/o tipos de procesos). Rescala et al. (2012) resalta que en su mayoría no se conoce en detalle el proceso de resolución y si es factible añadir funcionalidades.

En los últimos años, algunas universidades y empresas han desarrollado varios paquetes de software de la metodología DEA con fines académicos y comerciales. Los paquetes de software ofrecían una amplia variedad de los modelos más recientes de la metodología DEA que podrían utilizarse en ciencia y tecnología. Algunos de estos paquetes de software son gratuitos para los usuarios académicos, mientras que otros se comercializan (Ilyasu, Mohamed, & Terano, 2015).

Se verificarán algunos tipos de software de pago y libres para identificar la mejor opción.

2.5.4 Optimización de rutas mediante SIG

Una de las aplicaciones más asiduas para el SIG se puede mencionar la búsqueda de rutas más cortas. Varios estudios sobre la búsqueda de ruta más corta muestran la viabilidad de utilizar gráficos para este propósito. El algoritmo de Dijkstra es uno de los algoritmos clásicos de búsqueda de ruta más corta (Rodríguez & Lazo, 2013).

Espíndola (2018) plantea que la utilización de SIG generará un nuevo modelo para la circulación del transporte público. Con la aplicación adecuada en el DMQ, se disminuirá el tiempo de traslado y la accesibilidad al servicio de transporte se halla emparentada con la asignación espacial de la infraestructura de transporte, como paradas y líneas.

Partiendo de las derivaciones de la valoración inicial de la eficiencia de las rutas de transporte se procederá a revisar para delinear las rutas propuestas. Se requerirá un software específico para modelar estas rutas, se analizará la opción más factible en cuanto a funcionalidad y disponibilidad.

2.6 Procedimiento de modelado

2.6.1 El marco de la aplicación de la DEA

Para la aplicación del modelo se requerirá tener presente los siguientes factores para realizar la simulación.

- Tipo de modelo.
- Tipo de distancia.
- Orientación (entrada o salida).
- Retorno a escala
- Frontera (convexo o no convexo)
- Cálculo de slack

Estas variables se deberán poder configurar en la mayoría de los programas para considerar el análisis de eficiencia adecuado.

2.6.2 Análisis de red vial

Para el análisis de las rutas se requerirá un conjunto de datos específicos, en este caso son las vías y las intersecciones de la ciudad. Se designa como dataset de red.

Para generar esta información se buscará partir de mapas disponibles de forma libre como OpenStreetMap o Google Maps. En los cuales se verificará que dispongan la mayor fidelidad posible y usabilidad.

Dado que se realizará el análisis de rutas que cubren un itinerario extenso en toda la ciudad, se deberá tener en cuenta que la información geográfica cubra en lo posible todo el DMQ.

Un detalle que se recalca en la mayoría de los programas especializados para análisis de redes es que se disponga información completa de los arcos y vértices como sentidos de vías y restricción de giros para que el modelo sea fidedigno a la realidad.

2.6.3 Generación de rutas optimizadas

Para la generación de nuevas rutas se partirá de la siguiente información:

- Dataset de red
- Itinerario de rutas de transporte actuales (incluye paradas señaladas por la Secretaría de Movilidad)

La premisa que se seguirá será la de disminuir la distancia recorrida por las unidades buscando alternativas de trayectos en relación con los originales. Esto principalmente en las rutas ineficientes.

Por otro lado, para la inclusión del análisis del inicio de operaciones del Metro de Quito se pretenderá modelar rutas que eviten circular por las vías cercanas a las nuevas estaciones. En concordancia con la accesibilidad para el usuario se modificarán los puntos de control o paradas en dicho sector para hallar rutas alternativas y de igual modo mediante el software se mantendrá la premisa de ruta más corta.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Resultados

3.1.1 Estado actual de la red de transporte urbano terrestre público en el Centro Histórico

A partir de la información que se disponía de la Dirección Metropolitana de Territorio y Vivienda se delineó los siguientes datos.

- El centro histórico está delimitado al sur por la calle Cayetano Cestarís, al norte por la calle Yaguachi, al este por la avenida Sena y al oeste por la calle el Placer.
- Está conformado por los barrios: Alameda, La Tola, San Marcos, San Roque, San Blas, San Diego, San Sebastián, La Recoleta, La Loma, El Tejar, El Placer, La Chilena y Aguarico.

Con la información de las calles que delimitan el perímetro del CHQ se generó un polígono de los límites en el programa QGIS con el mapa base de Quito. En la figura 9 se muestra el polígono con área sombreada y la red vial de Quito.

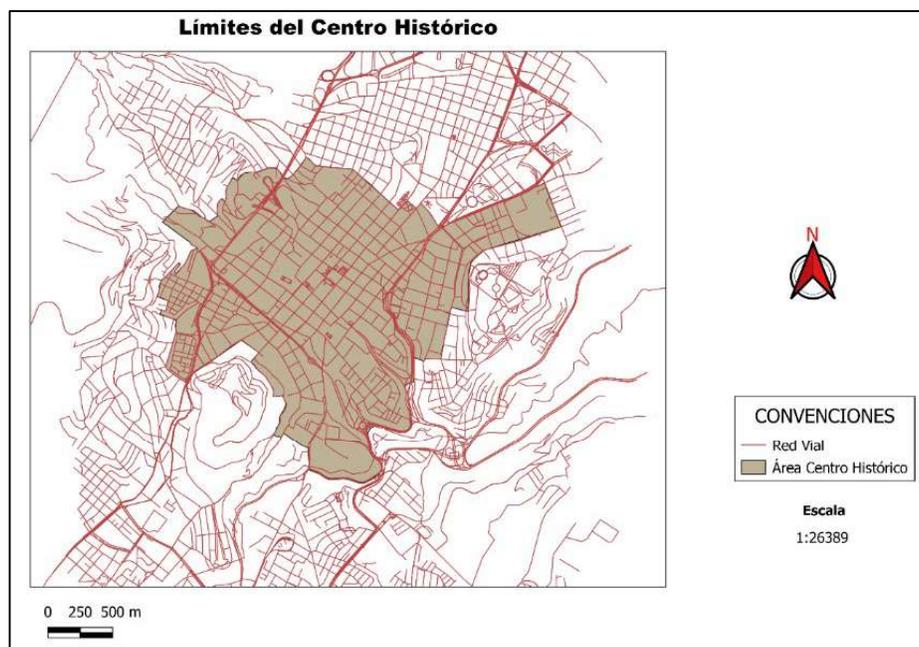


Figura 9 – Límites del Centro Histórico

3.1.1.1 Rutas del Centro Histórico

De acuerdo con los datos obtenidos por el estudio realizado por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), el transporte diario está conformado como se señala en la tabla 1.

Tabla 1 - Tipo de transporte en día laborable común

Modelo de red	Etapas	(%)
Red Convencional + alimentadores	2 537 416	83%
Convencional/Inter parroquial/Intraparroquial	2 201 959	87%
Alimentadores	272 935	11%
Informales	62 522	2%
Red Metrobús Q	532 454	17%
Ecovía	101 033	19%
Trolebús	233 862	44%
CCN	136 933	26%
Sur Oriental	60 626	11%
TOTAL	3 069 870	100%

(Empresa Pública Metropolitana Metro de Quito, 2011)

En la tabla 2 se ha recabado el tamaño de flota operativo del Metrobus Q

Tabla 2 - Tamaño de flota y operadores del Metrobús Q

Identificación	Flota	Rutas
Troles	113	1
Articulados Ecovía	74	1
Articulados CCN	42	1
Articulados y troles	229	3
Alimentadores Trole	92	15
Alimentadores Ecovía	39	9
Alimentadores CCN	153	17
Remanentes	257	
Alimentadores	541	41
Metrobús-Q	770	44

(Empresa Pública Metropolitana Metro de Quito, 2011)

Respecto al apartado de buses urbanos convencionales en la ciudad se presenta la información referente a la flota que se tendría en el DMQ en la tabla 3.

Tabla 3 - Tamaño de flota y operadores transporte convencional

Tipo	Flota	Rutas	Operadoras
Buses urbanos convencionales	2047	150	46
Buses Inter parroquiales	379	29	13
Buses intra parroquiales	34	7	3
Transporte Convencional	2460	186	60

(Empresa Pública Metropolitana Metro de Quito, 2011)

En lo referente al número de habilitaciones de operadoras urbanas del DMQ se señaló lo siguiente en la tabla 4. Se cuenta con un total de 1377 unidades habilitadas en consonancia con el detalle comunicado por la Cámara de Transporte Urbano de Quito (CTUQ).

Tabla 4 - Flota, rutas y operadores transporte convencional

Operadora	Habilitación
Cia. San Cristobal	55
Cia. Transalfa	50
Cia. Transpacomi	8
Coop. Mariscal Sucre	44
Cia. Transmetropoli	20
Cia. 21 de Julio	25
Cia. 6 de diciembre	50
Cia. Catar	121
Cia. Secuatrans	12
Cia. Transporsel	48
Cia. Pichincha	30
Cia. Bellavista	29
Cia. Victoria	65
Cia. Guadalajara	44
Cia. Quitumbe	72
Cia. San Francisco	79
Cia. Serviagosto	27
Cia. Urbanquito	48
Cia. Disutran	80
Cia. Transheroica	59
Coop. Juan Pablo II	87
Cia. Metrotrans	43
Cia. Setramas	43
Coop. San Juan	38
Coop. Calderón	106
Coop. Reina Del Quinche	71
Cia. Colectrans	23

(Cámara de transporte urbano de Quito 2019)

Con la información recolectada de la Secretaría de Movilidad se tabularon en una tabla todas las rutas y se encuentran detalladas en el Anexo I, estas rutas se les considera como intracantoniales urbanas.

La selección de rutas específicas para el estudio se levantó en base a la información provista por la CTUQ y de la Secretaría de Movilidad con sus entidades adscritas, con lo que se ejecutó la observación de datos. Se alcanzó un total de 93 rutas de transporte urbano que son relevantes para el área delimitada.

Una vez recabados los datos se tabularon para generar el archivo para el análisis. La información recogida se basa en un compendio de indicadores del transporte público detallada en el Anexo II.

La ruta más corta identificada es San Salvador – Colegio Mejía con un recorrido de 8.17 km, la ruta más larga es la ruta Pululahua – Panecillo con un recorrido de 79.15 km y el valor promedio de las 93 rutas es de 31.96 km.

El recorrido de cada ruta de transporte urbano para la manipulación en el programa QGIS, se ha obtenido de la base de OpenStreetMap (2019) y fue cotejada con la información disponible en la Cámara de Transporte Urbano de Quito.

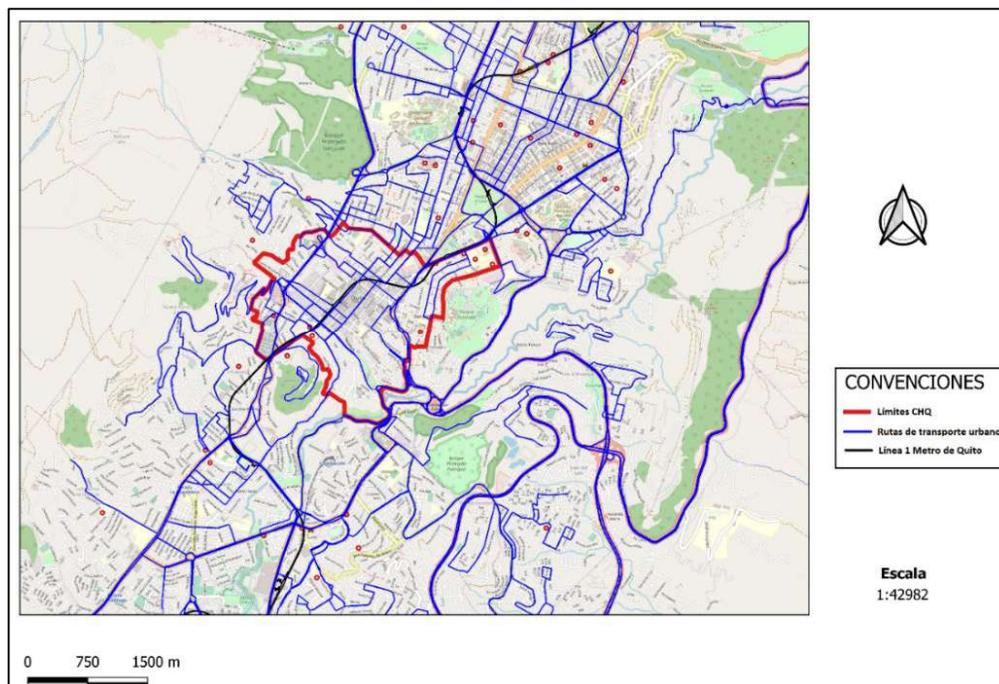


Figura 10 – Rutas de transporte urbano
Elaborado por el autor en base al Geoportail de Gobierno abierto del DMQ

Se hallaron dos puntos donde se concentran una gran cantidad de rutas, es en el sector de la Av. Mariscal Sucre al occidente del Centro Histórico y en el sector de la Av. Pichincha al oriente. Dado principalmente por la configuración horizontal de la urbe, estas dos vías permiten la conexión entre el norte y el sur. En la figura 10 se puede apreciar con una tonalidad más oscura en los sitios mencionados debido a la alta concentración de rutas.

Dentro de la recopilación de la información se ha incluido también las paradas de transporte urbano que se ubican en las inmediaciones del área de influencia analizada. Se encontraron un total de 120 paradas, en la figura 11 se indican la ubicación de estas.

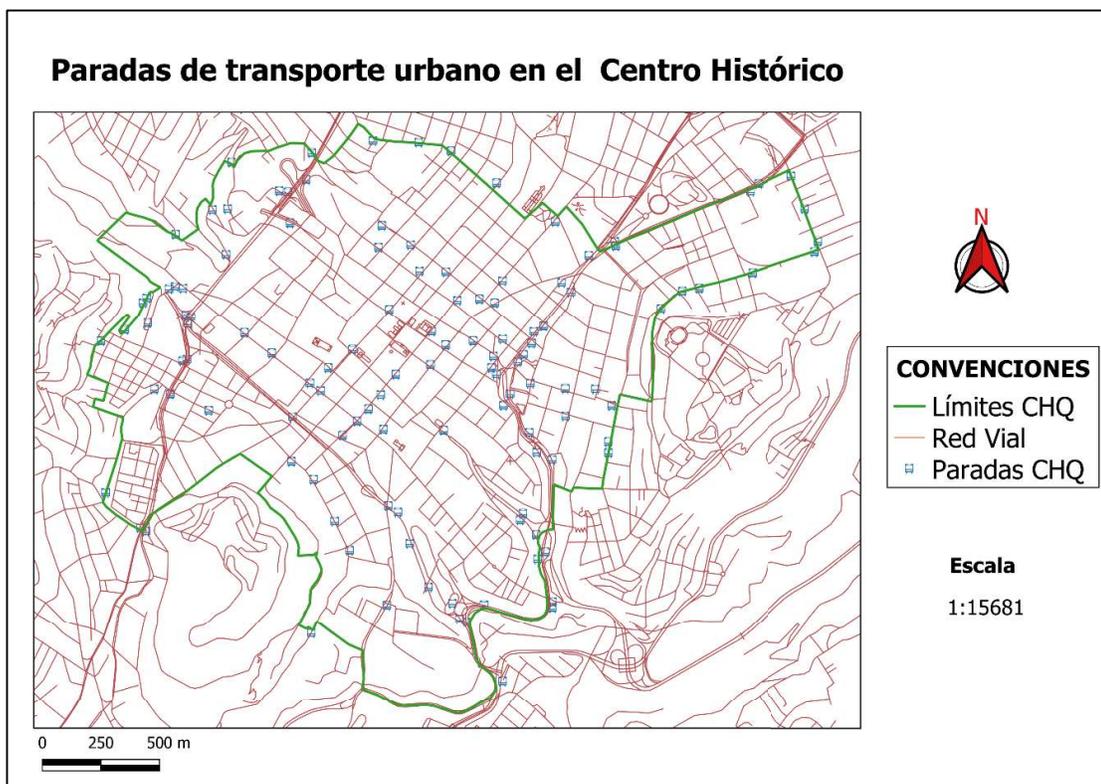


Figura 11 – Paradas de transporte urbano en el CHQ

3.1.1.2 Área de influencia Metro de Quito

El espacio de influencia de las estaciones del Metro de Quito que están dentro de los límites del CHQ son únicamente dos, la estación de San Francisco y la estación de la Alameda.

De acuerdo con la información recogida del Metro de Quito (2019), las características previstas de estas dos estaciones son las siguientes:

- Estación San Francisco:
 - Circulación de Pasajeros: 40074
 - Barrios Beneficiados: González Suárez, Centro Histórico.
- Estación La Alameda:
 - Circulación de Pasajeros: 48260
 - Barrios Beneficiados: La Tola, El Dorado Santa Prisca.

En la figura 12 se referencia la zona de influencia que tendrían las estaciones de acuerdo con la previsión de los estudios del Metro de Quito.

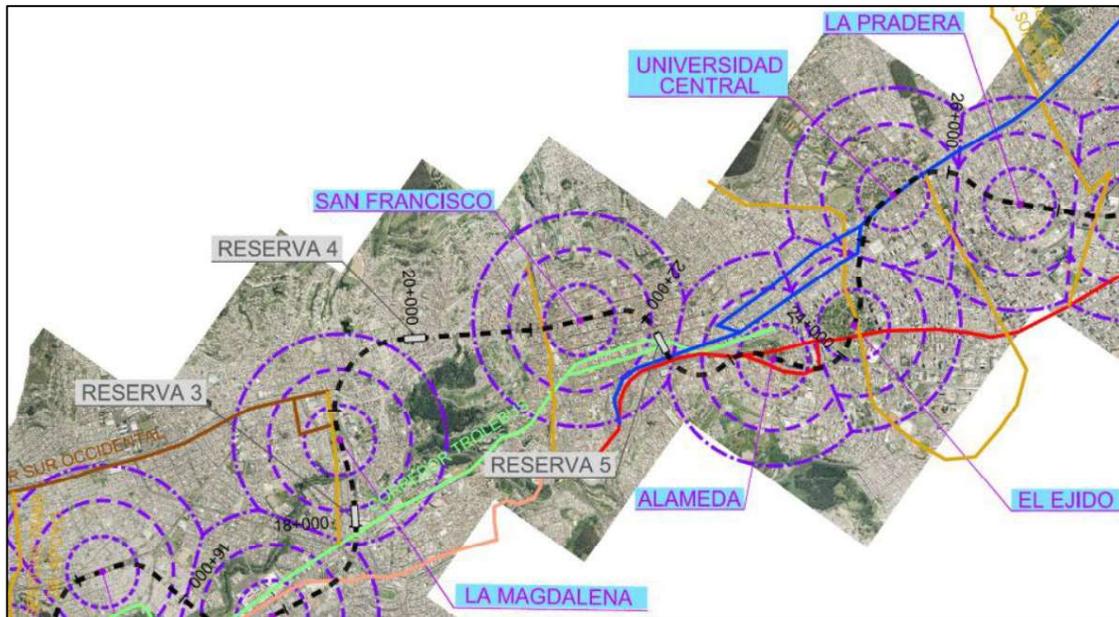


Figura 12 – Área de influencia del Metro de Quito del CHQ
(Metro de Quito, 2012)

La cobertura presentada por los estudios refleja una distancia muy amplia del área de servicio. Para efectos del estudio se tomó el área en función del tiempo del recorrido del usuario.

En relación con la accesibilidad para el peatón en el centro histórico, se presenta en la figura 13 la ubicación de la estación del metro “San Francisco”, en las isócronas se muestra el tiempo que caminaría un peatón normal hasta un tiempo de 5 minutos para ubicar una parada de transporte urbano, se estableció dicho tiempo dada la morfología del área circundante (calles con pendientes), que se toman como limitantes para el peatón.

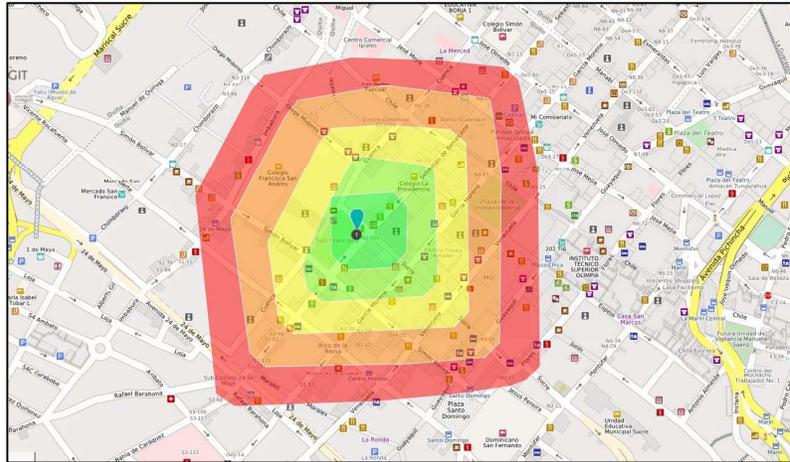


Figura 13 – Isócronas de accesibilidad peatonal desde Estación San Francisco

Basado en esa premisa se presenta una distancia media de 350 metros o alrededor de 4 cuadras para la accesibilidad de la parada de San Francisco. En función de esta información se modificó los puntos de control o paradas para el establecimiento de nuevos trayectos. Por tanto, se pretendió modelar rutas que procuren evitar las vías cercanas al área circundante de la estación.

Se realizó el mismo propósito con relación a la estación Alameda, se sigue la recomendación del tiempo de acceso de 10 minutos. Se tiene un radio de alcance de 600 metros o un equivalente de 6 cuadras a partir de esa accesibilidad se ubicaron los puntos de control para modificar las rutas en esas vías. En la figura 14 se ubicó la estación Alameda y se generaron isócronas de accesibilidad de con un tiempo de 10 minutos.

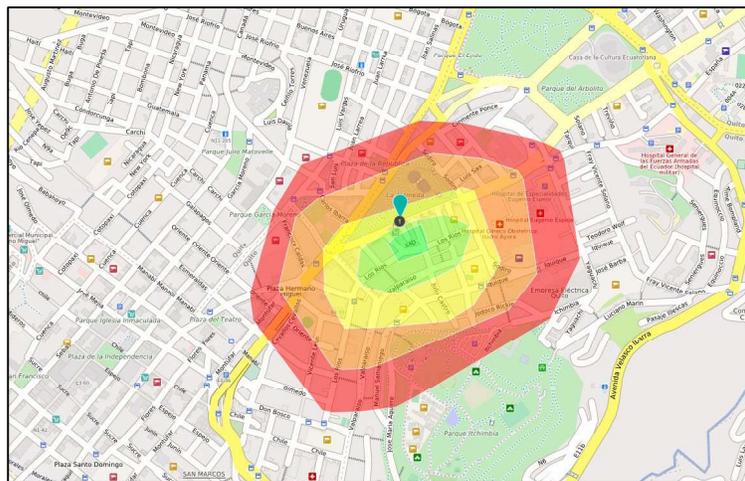


Figura 14 – Isócronas de accesibilidad peatonal desde Estación Alameda

3.1.1.3 Evaluación inicial de la eficiencia en el CHQ

Se evaluó la eficiencia a partir de las variables recogidas en el anexo II, en la tabla 5 se identifica las entradas y salidas, así como el factor de producción. Con estos datos se realizó el análisis de eficiencia en el programa MaxDEA.

Tabla 5 – Factores de salida y entrada adoptados en los modelos DEA

Tipo	x_i	y_j	Símbolo	Factor de producción
Salida	-	y_1	VCD	Viajes: cantidad de recorridos que cada bus realiza en un circuito por día
Salida	-	y_2	KUC	Kilómetros: distancia que cubre en un circuito
Entrada	x_1	-	NUC	Número de unidades: cantidad de buses en circulación
Entrada	x_2	-	FSU	Frecuencia del servicio: intervalo entre salida de unidades
Entrada	x_3	-	HSE	Horas de servicio: cantidad de horas de funcionamiento de ruta

Se omitieron ciertos factores dado que se precisaba información fidedigna utilizable. Adicional dado que principalmente se pretendió modificar aspectos de tiempo y distancia, los datos utilizados serían factibles. Los datos que no se consiguieron analizar en la investigación fueron: el número de pasajeros y la recaudación por vehículo, esta información es muy inconstante por día y por lo cual no era precisa, resultó conflictivo conocer el valor recaudado por cada vehículo en un día.

En relación con el uso de software, se optó principalmente por software libre, por el factor económico y por el amplio soporte de usuarios en el uso de software de acceso gratuito de estos tipos de análisis.

Las opciones que se probaron para el análisis DEA fueron las siguientes:

- MaxDEA 7 Basic
- DEAP versión 2.1
- mDEAP
- Win4DEAP
- DEA Solver Online

El software que brindó mejor usabilidad y resultados bastante completos fue MaxDEA 7 con relación a los programas señalados.

Los modelos DEA se resolvieron con el software MaxDEA 7 Basic, de Beijing Realworld Software Company Ltd. El software presentó las siguientes ventajas:

- Facilidad de uso.
- Software libre.
- No requiere instalación, se ejecuta a partir de un archivo de Access.
- No hay limitación en el número de DMU.
- Incluye modelos básicos:
 - Distancia: Radial, no radial (SBM), modelos de costos, ingresos y ganancias.
 - Orientación: entrada, salida, no y orientación generalizada.
 - Retornos a escala: CRS, VRS, NIRS, NDRS y GRS.
 - Elasticidad de la escala.

Existe la versión MaxDEA 7 Ultra que es una versión de pago que incluye más modelos, gráficos de frontera y mayor rapidez en ejecución.

La determinación de eficiencia se ejecutó desde el programa MaxDEA 7, en la figura 15 se muestra la pantalla principal de configuración del programa.

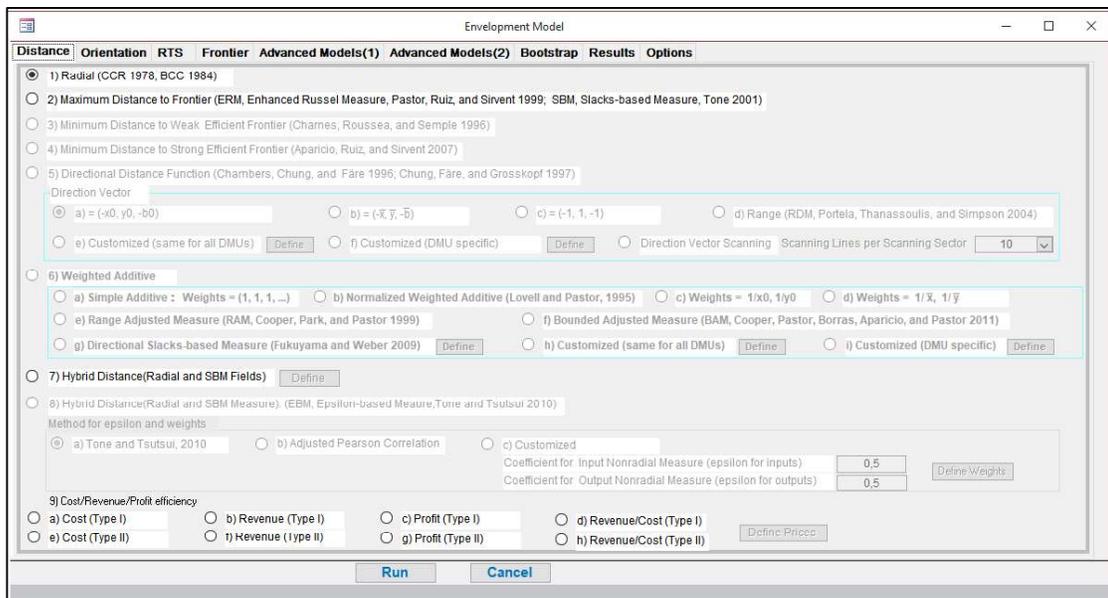


Figura 15 – Selección de modelo de envoltente

A continuación, se señalan las configuraciones utilizadas en el programa para calcular la eficiencia.

Las opciones configuradas fueron las siguientes para el modelo CRS:

- Distancia: radial
- Orientación: salida
- RTS: constante (CRS)
- Frontera: Convexa
- Slack: Un escenario

Las opciones configuradas fueron las siguientes para el modelo VRS:

- Distancia: radial
- Orientación: salida
- RTS: variable (VRS)
- Frontera: Convexa
- Slack: Un escenario

Las opciones configuradas fueron las siguientes para el modelo de escala:

- Distancia: radial
- Orientación: salida
- RTS: eficiencia de escala (CRS score/VRS score)
- Frontera: Convexa
- Slack: Un escenario

Los resultados son exportables y se recopilan en el anexo III.

Los datos resultantes señalaron que en promedio las rutas que transitan el Centro Histórico no son eficientes. El promedio de la eficiencia técnica global es de 0,6931, el de la eficiencia técnica pura es de 0,7348, el promedio más cercano a ser eficiente (1,0) es el de la eficiencia de escala que mostró un valor de 0,9495. Esto permitió identificar que muchas rutas no operan a una escala óptima de producción, no se planifica adecuadamente las rutas.

3.1.1.3.1 Modelo DEA con Rendimientos Constantes (CRS)

En los cálculos ejecutados se observó que de las 93 rutas analizadas únicamente 6 rutas son eficientes, las cuales son: Vencedores de Pichincha 054A, Transhemisfericos 208, 21 de Julio 109A, Conetra Q40, Alborada Q53, Pichincha T1.

La eficiencia promedio modelada fue de 0,6930, las rutas que presentaron un resultado mayor al promedio se tabulan en la tabla 6, fueron en total 30 rutas. Las rutas que tienen un menor valor a este promedio se consideran más ineficientes.

Tabla 6 – Rutas con mayor eficiencia con CRS

Rutas	
Vencedores de Pichincha 054A	Transhemisfericos 208
21 de Julio 109A	Conetra Q40
Alborada Q53	Pichincha T1
San Francisco de Chillogallo T1	Seis de diciembre 36
21 de Julio 109B	Transmetropoli 82
Transmetropoli 83	Quito 056
21 de Julio 109	Condor Mirador 155
Transzeta 152	Juan Pablo II T1
Transplaneta 78C	Transplaneta 78A
San Carlos 051	Latina T1
Secuatrans T1	Transheroica 49
Transheroica 44A	San Carlos 089
Rapitrans 154	Transporsel 97
Vencedores de Pichincha 028	Transheroica 44A
Vencedores de Pichincha 054	Metrotrans 140

En la figura 16 se muestra la tabulación de la eficiencia calculada y el valor promedio del modelado DEA CRS.

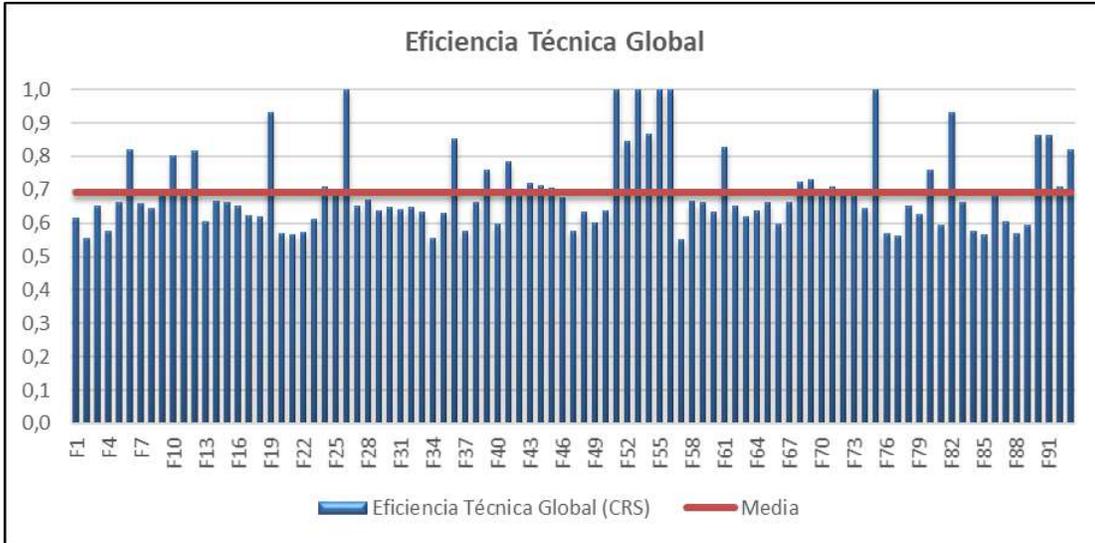


Figura 16 – Eficiencia técnica global (CRS)

3.1.1.3.2 Modelo DEA con Rendimientos Variables (VRS)

A partir del modelado con rendimientos variables las rutas que se determinaron eficientes son en total 13 que son las siguientes: Vencedores de Pichincha 054A, Transhemisfericos 208, 21 de Julio 109A, Conetra Q40, Alborada Q53, Pichincha T1, Seis de diciembre 36, Quito 056, Transplaneta 78C, Transplaneta 78A, Nacional 25, Vencedores de Pichincha 047, Quito 021. En la figura 17 se muestra la tabulación de la eficiencia técnica pura calculada y el valor promedio.

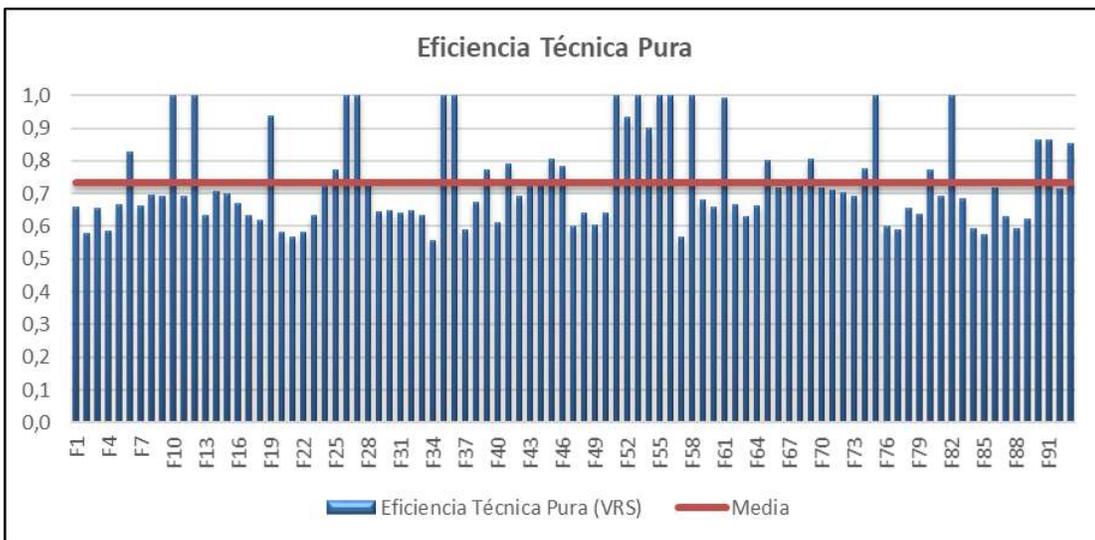


Figura 17 – Eficiencia técnica pura (VRS)

La eficiencia promedio modelada fue de 0,7348, las rutas que tienen un resultado mayor fueron en total 33 rutas consideradas eficientes. Se tabularon las rutas en la tabla 7.

Tabla 7 – Rutas con mayor eficiencia con VRS

Rutas	
Vencedores de Pichincha 054A	Transhemisfericos 208
21 de Julio 109A	Conetra Q40
Alborada Q53	Pichincha T1
Quito 056	Seis de diciembre 36
Transplaneta 78C	Transplaneta 78A
Nacional 25	Quito 021
Vencedores de Pichincha 047	Condor Mirador 155
Rapitrans 154	Juan Pablo II T1
San Francisco de Chillogallo T1	21 de Julio 109
21 de Julio 109B	Transmetropoli 83
Transmetropoli 82	Transzeta 152
Transheroica 49	Metrotrans 140
Victoria 002	San Carlos 051
Metrotrans 141	Latina T1
Secuatrans T1	Pichincha R02
Vencedores de Pichincha 054	Atahualpa 03B
Vencedores de Pichincha 024	

3.1.1.3.3 Eficiencia de escala

En el cálculo de la eficiencia de escala, las rutas eficientes fueron: Vencedores de Pichincha 054A, Transhemisfericos 208, 21 de Julio 109A, Conetra Q40, Pichincha T1, Alborada Q53. En la figura 18 se muestran los valores obtenidos y el valor promedio.

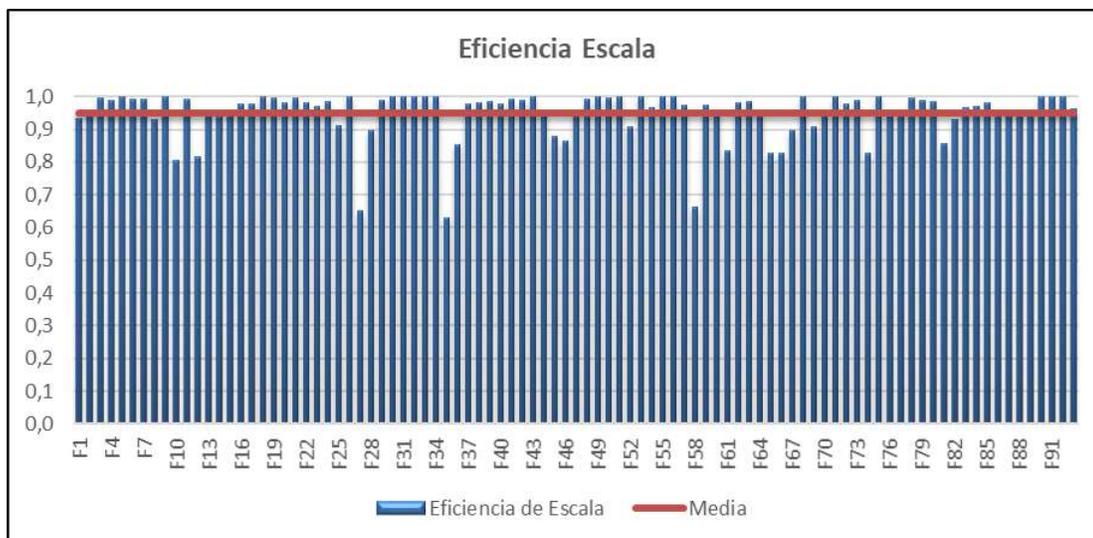


Figura 18 – Eficiencia de escala (EE)

En la tabla 8 se exponen los resultados conseguidos en el cálculo de la eficiencia de escala, se requiere el cálculo de las dos modelaciones CRS y VRS y la diferencia entre las genera la eficiencia de escala. Los resultados están organizados en orden descendente. La eficiencia promedio fue de 0,9495 y las rutas que se encuentran por encima de este valor fueron en total 70. Se ha incluido los rendimientos en la tabla correspondiente.

En lo referente a los rendimientos, las rutas eficientes con rendimientos constantes son: Vencedores de Pichincha 054A, Transhemisfericos 208, 21 de Julio 109A, Conetra Q40, Alborada Q53, Pichincha T1. Este resultado señala que un incremento proporcional de las salidas es igual al aumento proporcional de las entradas.

Con rendimientos crecientes se han identificado un total de 45 rutas, en estas rutas se puede notar que un incremento de las salidas es menor que el incremento de las entradas.

Con rendimientos decrecientes se han identificado un total de 42 rutas, el incremento proporcional de las salidas es menor que el incremento proporcional de las entradas.

En la tabla 8 se puntualizaron los resultados de eficiencia técnica global (CRS), eficiencia técnica pura (VRS) y la eficiencia de escala conseguidos con la modelación DEA, las soluciones están tabuladas de forma descendente desde la ruta más eficiente. Son eficientes los trayectos que alcanzaron un resultado de 1, y se considera como ineficientes las que presentan un valor menor.

Mientras más alejada de la unidad se encuentre un DMU se señala como más ineficiente.

Tabla 8 - Cálculo de eficiencias de rutas del transporte en el Centro Histórico.

Rutas	DMU	Eficiencia Técnica Global (CRS)	Eficiencia Técnica Pura (VRS)	Eficiencia de Escala	Rendimientos de escala
Vencedores de Pichincha 054A	F26	1,000000	1,000000	1,000000	Constante
Transhemisfericos 208	F51	1,000000	1,000000	1,000000	Constante
21 de Julio 109A	F53	1,000000	1,000000	1,000000	Constante
Conetra Q40	F55	1,000000	1,000000	1,000000	Constante
Alborada Q53	F56	1,000000	1,000000	1,000000	Constante
Pichincha T1	F75	1,000000	1,000000	1,000000	Constante
Seis de diciembre 157	F82	0,929895	1,000000	0,929895	Creciente
Quito 056	F36	0,853517	1,000000	0,853517	Creciente
Transplaneta 78C	F12	0,815104	1,000000	0,815104	Creciente
Transplaneta 78A	F10	0,803299	1,000000	0,803299	Creciente
Nacional 25	F58	0,663590	1,000000	0,663590	Creciente
Vencedores de Pichincha 047	F27	0,649887	1,000000	0,649887	Creciente
Quito 021	F35	0,629494	1,000000	0,629494	Creciente
Condor Mirador 155	F61	0,828125	0,992509	0,834375	Creciente
San Francisco de Chillogallo T1	F19	0,931677	0,934937	0,996514	Decreciente
21 de Julio 109	F52	0,843834	0,931646	0,905745	Creciente
21 de Julio 109B	F54	0,867156	0,898968	0,964613	Decreciente
Transmetropoli 83	F90	0,862796	0,865040	0,997405	Creciente
Transmetropoli 82	F91	0,863157	0,864718	0,998195	Creciente
Transzeta 152	F93	0,820685	0,851613	0,963683	Creciente
Juan Pablo II T1	F6	0,819673	0,827285	0,990799	Decreciente
Transheroica 49	F69	0,729396	0,804569	0,906566	Decreciente
Metrotrans 140	F45	0,704933	0,804458	0,876283	Decreciente
Victoria 002	F65	0,660825	0,800000	0,826031	Creciente
San Carlos 051	F41	0,782399	0,789097	0,991512	Creciente
Metrotrans 141	F46	0,675703	0,781064	0,865106	Decreciente
Pichincha R02	F74	0,642792	0,776808	0,827478	Creciente
Latina T1	F39	0,759822	0,770984	0,985522	Decreciente
Secuatrans T1	F80	0,759822	0,770984	0,985522	Decreciente
Vencedores de Pichincha 054	F25	0,701166	0,770644	0,909844	Creciente
Vencedores de Pichincha 024	F28	0,667625	0,743548	0,897890	Creciente
Rapitrans 154	F44	0,711501	0,741521	0,959515	Decreciente
Atahualpa 03B	F67	0,662177	0,738905	0,896161	Creciente
Transheroica 44A	F68	0,723458	0,724073	0,999150	Creciente
San Carlos 089	F43	0,719433	0,719531	0,999863	Creciente
Vencedores de Pichincha 028	F24	0,708677	0,718780	0,985943	Decreciente
Atahualpa 03A	F66	0,595185	0,718711	0,828129	Creciente

Transheroica 146	F70	0,682899	0,717387	0,951926	Decreciente
Setramas 59	F86	0,680100	0,715206	0,950916	Decreciente
Transporsel 97	F92	0,709572	0,711555	0,997214	Creciente
Transheroica 44A	F71	0,708437	0,709658	0,998280	Creciente
Transplaneta 046	F14	0,664141	0,704984	0,942065	Decreciente
Montserrat 31	F72	0,686962	0,702885	0,977347	Decreciente
Transplaneta 046A	F15	0,661007	0,697086	0,948243	Decreciente
Transplaneta 012	F8	0,644181	0,694445	0,927620	Creciente
Transplaneta 78	F9	0,692341	0,693055	0,998969	Creciente
Seis de diciembre 36	F81	0,592946	0,692144	0,856680	Creciente
San Carlos 088	F42	0,682164	0,691188	0,986944	Decreciente
Paquisha 106	F73	0,682391	0,691113	0,987379	Creciente
Transplaneta 78B	F11	0,684596	0,691041	0,990674	Decreciente
Serviagosto R18	F83	0,659861	0,682718	0,966521	Creciente
Catar 113	F59	0,661168	0,678688	0,974185	Creciente
Latina 68	F38	0,661448	0,673899	0,981525	Decreciente
San Francisco de Chillogallo 027	F16	0,652297	0,668833	0,975277	Creciente
Juan Pablo II 121	F5	0,663265	0,664681	0,997870	Creciente
Siete de mayo 33	F62	0,650729	0,663995	0,980022	Decreciente
Juan Pablo II 126	F7	0,656729	0,663095	0,990400	Decreciente
Victoria 019	F64	0,636625	0,663095	0,960082	Decreciente
Catar 64	F60	0,631732	0,659759	0,957519	Creciente
Bellavista 006	F1	0,615927	0,659705	0,933640	Creciente
San Cristobal 29	F78	0,652341	0,655350	0,995408	Decreciente
Juan Pablo II 038	F3	0,651754	0,654197	0,996266	Decreciente
Disutran R21	F30	0,646542	0,647146	0,999066	Creciente
Disutran 032	F32	0,645667	0,645806	0,999786	Decreciente
Disutran 034	F29	0,636564	0,644253	0,988065	Decreciente
Quitumbe 050	F50	0,638152	0,641031	0,995509	Creciente
Quitumbe 137	F48	0,633676	0,639748	0,990508	Decreciente
Disutran R4	F31	0,638630	0,638684	0,999915	Creciente
San Cristobal 18	F79	0,627111	0,635389	0,986971	Creciente
San Francisco de Chillogallo R11	F17	0,620937	0,634456	0,978693	Decreciente
Transplaneta 40	F13	0,602961	0,633669	0,951538	Creciente
Disutran R5	F33	0,633260	0,633405	0,999772	Creciente
Vencedores de Pichincha 005	F23	0,612021	0,632359	0,967837	Creciente
Transalfa SA 131A	F87	0,604811	0,630606	0,959095	Creciente
Siete de mayo 144	F63	0,618955	0,630004	0,982462	Decreciente
Transalfa SA 132	F89	0,593113	0,621253	0,954704	Decreciente
San Francisco de Chillogallo R15	F18	0,616838	0,617669	0,998655	Creciente
Latina R12	F40	0,596672	0,610756	0,976941	Decreciente
Quitumbe 115	F49	0,602209	0,603258	0,998262	Decreciente

Quitumbe 008	F47	0,577163	0,601089	0,960195	Creciente
Quiteño Libre 119	F76	0,568689	0,598412	0,950330	Decreciente
Transalfa SA 131	F88	0,567091	0,593661	0,955244	Decreciente
Setramas R1	F84	0,576166	0,593408	0,970944	Decreciente
Quiteño Libre 118	F77	0,561860	0,590214	0,951959	Decreciente
Latina R13	F37	0,576953	0,589662	0,978448	Decreciente
Juan Pablo II R14	F4	0,577086	0,585216	0,986109	Decreciente
San Francisco de Chillogallo R10	F22	0,570131	0,582363	0,978995	Decreciente
San Francisco de Chillogallo R20	F20	0,569851	0,582064	0,979018	Decreciente
Bellavista 002	F2	0,554443	0,578306	0,958737	Decreciente
Setramas R3	F85	0,563963	0,575765	0,979501	Decreciente
Alborada 022	F57	0,551565	0,567115	0,972580	Decreciente
San Francisco de Chillogallo R9	F21	0,564776	0,566652	0,996690	Creciente
Disutran R17	F34	0,554824	0,556237	0,997459	Creciente
Promedio		0,693066	0,734837	0,949501	

3.1.1.3.4 Análisis Slack

Como se revisó en la teoría del análisis slacks, este permite conocer en qué dirección deben disminuirse las entradas y en la que deben incrementar las salidas para transformar la DMU ineficiente en eficiente.

En el modelado se denomina “slack movement”, los valores positivos indican incremento, y los valores negativos indican disminución. Adicional el software presentó una proyección hacia el valor ideal denominada “projection” para cada entrada y salida.

Con los resultados obtenidos en lo referente a las unidades, en 71 rutas se deben restringir el número de unidades. En cuanto a la frecuencia de servicio, en 46 rutas se requiere reducir el tiempo de salida entre cada unidad de transporte.

En lo que respecta a las horas de servicio, deben disminuir el tiempo que duran haciendo el circuito en el día para incrementar su eficiencia un total de 40 rutas.

Respecto a las salidas se puede observar que las rutas Atahualpa 03A, Atahualpa 03B y Serviagosto R18 deberán aumentar el número de sus viajes. Mientras que en lo referente a los kilómetros las rutas Condor Mirador 155, 21 de julio 109, Pichincha R02, Victoria 002 y Transzeta 78A deben aumentar la cantidad de kilómetros que recorren. Los resultados se encuentran tabulados en la tabla 9.

Tabla 9 - Análisis Slacks VRS de rutas del transporte en el Centro Histórico.

Ruta	DMU	Slack Movement (Unidades)	Slack Movement (Horas)	Slack Movement (Frecuencia)	Slack Movement (Viajes)	Slack Movement (Kilómetros)
Bellavista 006	F1	-8,661373	0	0	0	0
Bellavista 002	F2	0	-11,63177	0	0	0
Juan Pablo II 038	F3	-6	-4	-0,058814	0	0
Juan Pablo II R14	F4	-3	-4	-0,222257	0	0
Juan Pablo II 121	F5	-9,946942	-0,916727	0	0	0
Juan Pablo II T1	F6	0	0	-0,227869	0	0
Juan Pablo II 126	F7	-10	-2	-0,152001	0	0
Transplaneta 012	F8	-7,202383	0	0	0	0
Transplaneta 78	F9	-3,458513	-6,991271	0	0	0
Transplaneta 78A	F10	0	0	0	0	0,68
Transplaneta 78B	F11	-3	0	-0,248655	0	0
Transplaneta 78C	F12	0	0	0	0	0
Transplaneta 40	F13	-6,201283	0	0	0	0
Transplaneta 046	F14	-5	-6	-0,961714	0	0
Transplaneta 046A	F15	-4	-6	-0,853994	0	0
San Francisco de Chillogallo 027	F16	-4,501744	0	0	0	0
San Francisco de Chillogallo R11	F17	-9	-8	-0,344464	0	0
San Francisco de Chillogallo R15	F18	-3,611241	-3,655269	0	0	0
San Francisco de Chillogallo T1	F19	0	0	-0,075956	0	0
San Francisco de Chillogallo R20	F20	-1	-3	-0,335715	0	0
San Francisco de Chillogallo R9	F21	-2,439892	-2,832238	0	0	0
San Francisco de Chillogallo R10	F22	-8	-1	-0,336079	0	0
Vencedores de Pichincha 005	F23	-6,730829	0	0	0	0
Vencedores de Pichincha 028	F24	-11	0	-0,374794	0	0
Vencedores de Pichincha 054	F25	-3,187021	0	0	0	0
Vencedores de Pichincha 054A	F26	0	0	0	0	0
Vencedores de Pichincha 047	F27	0	0	0	0	0
Vencedores de Pichincha 024	F28	0	0	0	0	0
Disutran 034	F29	-10	-1	-0,190957	0	0
Disutran R21	F30	-4,419601	-5,076879	0	0	0
Disutran R4	F31	-3,038418	-7,91548	0	0	0
Disutran 032	F32	-6	-2	-0,003406	0	0
Disutran R5	F33	-4,102373	-7,77478	0	0	0
Disutran R17	F34	-6,11746	-2,541588	0	0	0
Quito 021	F35	0	0	0	0	0
Quito 056	F36	0	0	0	0	0
Latina R13	F37	-2	-10	-0,34483	0	0
Latina 68	F38	-19,33333	0	-0,478243	0	0

Latina T1	F39	-19,66667	0	-0,356277	0	0
Latina R12	F40	-6	-2	-0,368949	0	0
San Carlos 051	F41	-5,645246	0	0	0	0
San Carlos 088	F42	-13	0	-0,348113	0	0
San Carlos 089	F43	-11,06137	-1,864993	0	0	0
Rapitrans 154	F44	-15	-1	-0,654507	0	0
Metrotrans 140	F45	-14	-1	-2,195974	0	0
Metrotrans 141	F46	-13	-1	-2,428089	0	0
Quitumbe 008	F47	-7,842457	0	0	0	0
Quitumbe 137	F48	-6	-5	-0,149502	0	0
Quitumbe 115	F49	-11	-2	-0,027236	0	0
Quitumbe 050	F50	-10,80694	0	0	0	0
Transhemisfericos 208	F51	0	0	0	0	0
21 de Julio 109	F52	0	0	0	0	5,150996
21 de Julio 109A	F53	0	0	0	0	0
21 de Julio 109B	F54	0	-1	-0,676006	0	0
Conetra Q40	F55	0	0	0	0	0
Alborada Q53	F56	0	0	0	0	0
Alborada 022	F57	-23,33333	0	-0,714357	0	0
Nacional 25	F58	0	0	0	0	0
Catar 113	F59	-20,1507	0	0	0	0
Catar 64	F60	-6,656319	0	0	0	0
Condor Mirador 155	F61	0	0	0	0	9,716484
Siete de mayo 33	F62	-9	-2	-0,319649	0	0
Siete de mayo 144	F63	-8	-2	-0,280615	0	0
Victoria 019	F64	-13	-1	-0,652001	0	0
Victoria 002	F65	-13	0	0	0	2,7875
Atahualpa 03A	F66	-7,323529	0	0	1,466631	0
Atahualpa 03B	F67	-9	-0,418919	0	1,098091	0
Transheroica 44A	F68	-2,382905	-5,157609	0	0	0
Transheroica 49	F69	-2	-2	-1,638202	0	0
Transheroica 146	F70	-3	-4	-0,798836	0	0
Transheroica 44A	F71	-3,766446	-4,313819	0	0	0
Montserrat 31	F72	-19	0	-0,609679	0	0
Paquisha 106	F73	-8,471976	0	0	0	0
Pichincha R02	F74	-1,460674	0	0	0	3,691742
Pichincha T1	F75	0	0	0	0	0
Quiteño Libre 119	F76	-1	-9	-0,823693	0	0
Quiteño Libre 118	F77	-4	-6	-0,795876	0	0
San Cristobal 29	F78	-15	0	-0,122054	0	0
San Cristobal 18	F79	-12,92337	0	0	0	0
Secuatrans T1	F80	-1,666667	0	-0,356277	0	0
Seis de diciembre 36	F81	-6,124618	0	0	0	0
Seis de diciembre 157	F82	0	0	0	0	0
Serviagosto R18	F83	-19,62626	0	0	0,883399	0
Setramas R1	F84	-10	-3	-0,464888	0	0

Setramas R3	F85	-8	-3	-0,327976	0	0
Setramas 59	F86	0	-10,04239	0	0	0
Transalfa SA 131A	F87	0	-11,84648	0	0	0
Transalfa SA 131	F88	-10	0	-1,232868	0	0
Transalfa SA 132	F89	-17	0	-1,247007	0	0
Transmetropoli 83	F90	-1,178724	-5,406808	0	0	0
Transmetropoli 82	F91	-0,828624	-6,177026	0	0	0
Transporsel 97	F92	-3,238665	-1,274937	0	0	0
Transzeta 152	F93	-0,181818	-0,181818	0	0	0,825227

3.1.2 Variables críticas que influyen en la operación de la red

El análisis se ha decantado principalmente por variables de tipo técnico por sobre las variables económicas, dado que el estudio propuesto se ha direccionado hacia la teoría de grafos y redes, en los cuales existe la predominancia de variables de tipo de tiempo y distancia.

Las variables que se han tomado como base han sido: número de unidades, frecuencia de servicio, horas de servicio, número de viajes diarios por unidad y kilómetros ruta. Básicamente son variables de distancia y tiempo, pero conllevan a generar un marco de referencia muy útil. Es la información básica que se maneja en la Secretaría de Movilidad.

Las variables cuantificadas en términos de distancia son importantes para asegurar un uso apropiado de las unidades disponibles, una unidad que recorra distancias innecesarias conduce a un impacto en la valoración de la eficiencia. Adicional el factor de distancia tuvo incidencia en el tiempo que utilizaron las unidades de transporte en cumplir su recorrido habitual.

Otras variables referentes al tiempo suelen ser variables muy importantes para el diseño de redes y para mejorar en la programación de salidas de las unidades. Sin embargo, esto se enmarcó en otro tipo de estudio que atañe en mayor proporción a la ingeniería de tráfico.

3.1.3 Red de transporte público optimizada a través de la utilización de software especializado

La entidad de origen fue obtenida desde la librería de OpenStreetMap (2019), dado que son mapas de libre acceso. La transformación para ser reconocida como una base de datos nodos y arcos se realizó con Postgis y la administración de la base de datos PostgreSQL con PgAdmin. En la figura 19 se muestra la delineación de la red para el Centro Histórico.



Figura 19 – Arcos y nodos Centro Histórico de Quito

Una vez que se dispuso del grafo de calles, el cual necesariamente debe tener una integridad en la digitalización y en la coherencia de su conformación, se puede convertir en una red con lógica de red para ser utilizado con la aplicación de PgRouting de PostGIS en el programa QGIS. En la figura 20 se muestra la interfaz de resolución de Pgrouting y la resolución de una ruta propuesta.

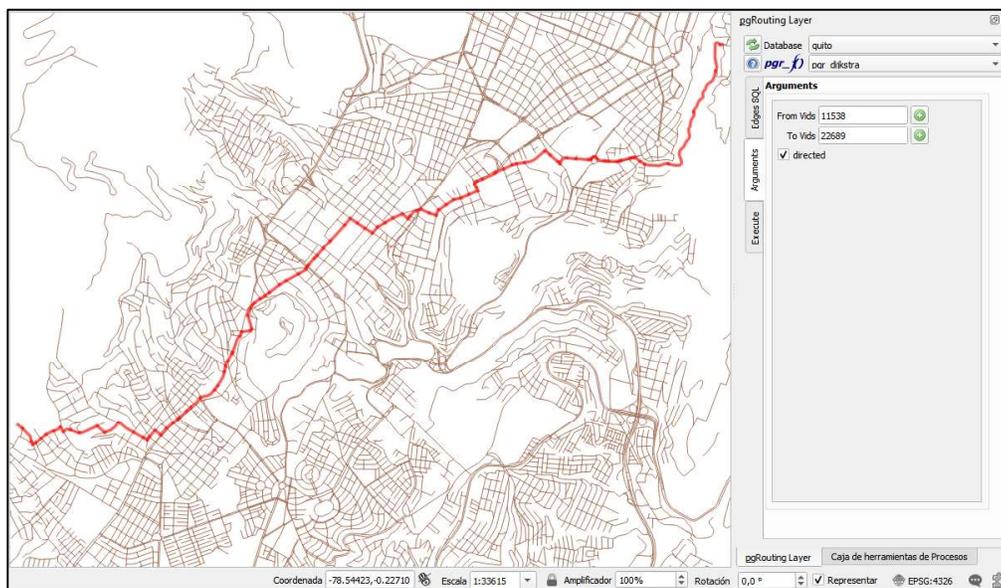


Figura 20 – Análisis de ruta óptima con PgRouting en QGIS

El software dispone de algunos algoritmos de enrutamiento, como son el algoritmo Floyd-Warshall y el algoritmo de Johnson. Se seleccionó el algoritmo de Dijkstra para la ruta más corta.

Para la optimización de los recorridos de las líneas de buses se planteó el requerimiento que deben cumplir la ruta por ciertos puntos de control o paradas de autobús de tal manera que se pueda cotejar con la ruta original.

En las rutas de bus que se encuentran en las cercanías de las estaciones del Metro se modificaron los puntos de control para optimizar de acuerdo con la accesibilidad del usuario. En la figura 21 se señalan la delineación de una ruta con las paradas correspondientes. En general no se modificaron los puntos de inicio y final de las líneas.

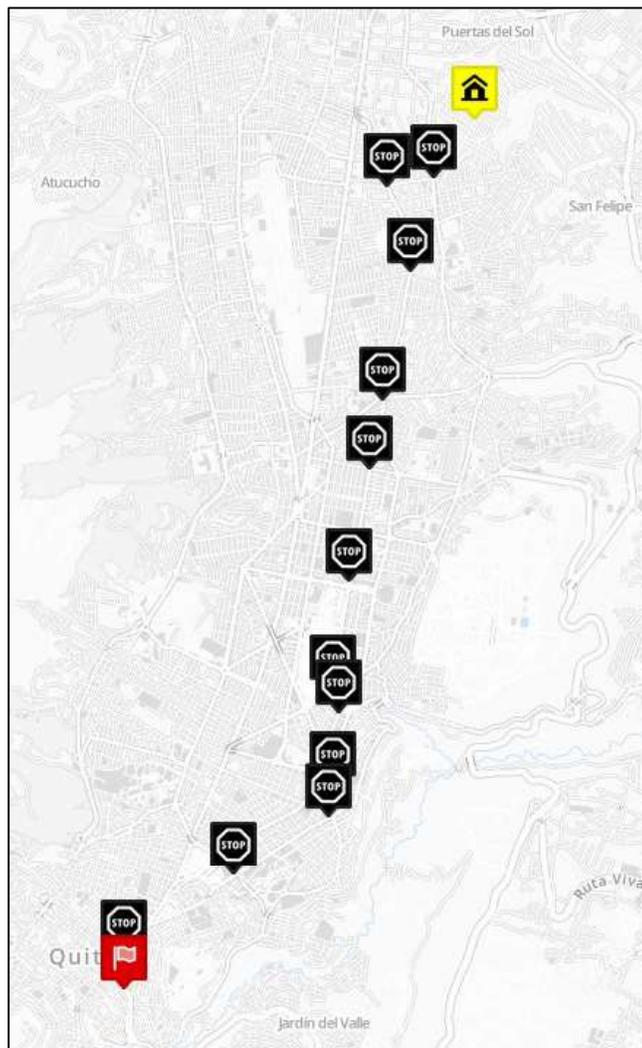


Figura 21 – Ubicación de paradas intermedias y destinos de ruta mediante GIS

En la figura 22 se muestra un ejemplo de una línea que recorre por el CHQ, en la cual se han señalado los puntos de control.

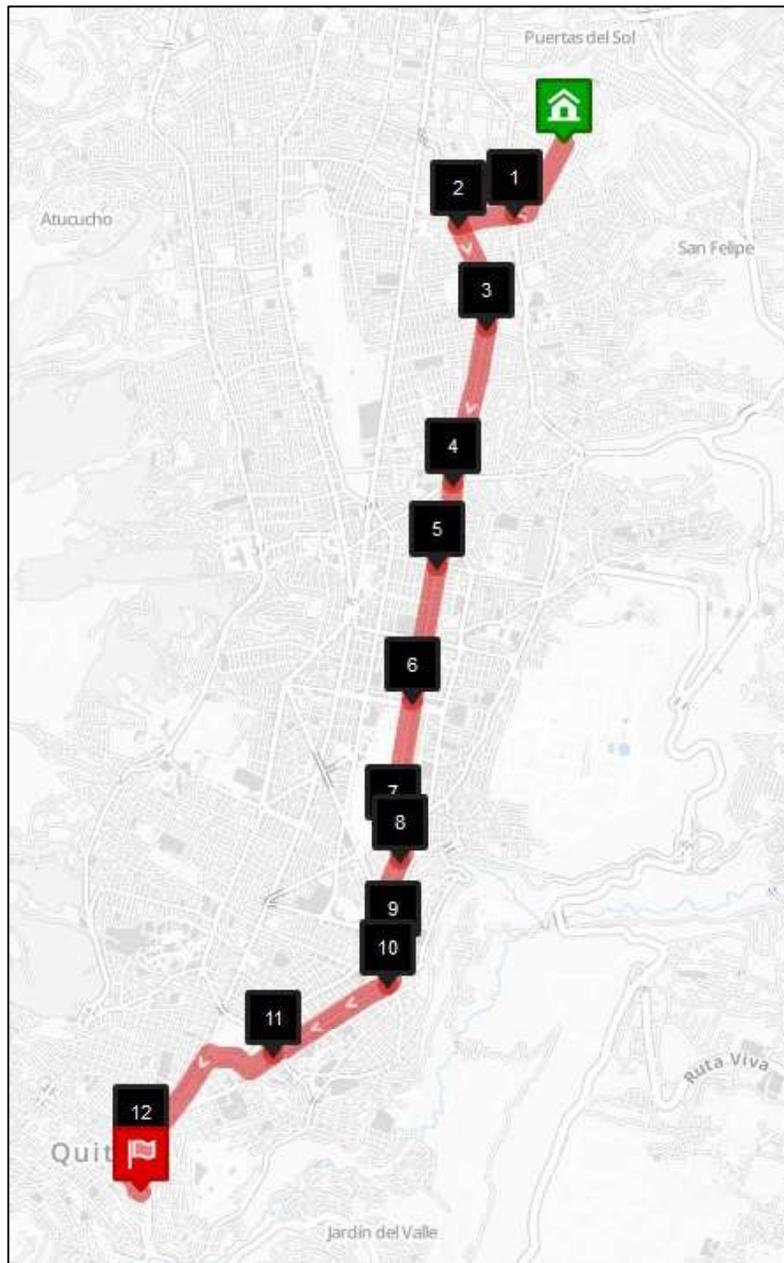


Figura 22 – Resolución de ruta óptima con puntos de control

Partiendo de la revisión de eficiencia inicial se procedió a elegir las rutas con valores de eficiencia bajos. De igual manera se han seleccionado las rutas que se visibilizan en las cercanías a las nuevas paradas del Metro y que sería factible la reordenación de la ruta. En la tabla 10 se enlistan las rutas seleccionadas.

Tabla 10 - Selección de rutas a optimizar

Rutas	DMU	Eficiencia Técnica Global (CRS)	Eficiencia Técnica Pura (VRS)
Alborada 022	F57	0,551565	0,567115
Bellavista 002	F2	0,554443	0,578306
Disutran R17	F34	0,554824	0,556237
Quiteño Libre 118	F77	0,561860	0,590214
Setramas R3	F85	0,563963	0,575765
San Francisco de Chillogallo R9	F21	0,564776	0,566652
Transalfa SA 131	F88	0,567091	0,593661
Quiteño Libre 119	F76	0,568689	0,598412
San Francisco de Chillogallo R20	F20	0,569851	0,582064
San Francisco de Chillogallo R10	F22	0,570131	0,582363
Setramas R1	F84	0,576166	0,593408
Latina R13	F37	0,576953	0,589662
Juan Pablo II R14	F4	0,577086	0,585216
Quitumbe 008	F47	0,577163	0,601089
Seis de diciembre 36	F81	0,592946	0,692144
Vencedores de Pichincha 005	F23	0,612021	0,632359
Bellavista 006	F1	0,615927	0,659705
Quito 021	F35	0,629494	1,000000
Catar 64	F60	0,631732	0,659759
Transplaneta 012	F8	0,644181	0,694445
San Francisco de Chillogallo 027	F16	0,652297	0,668833
Nacional 25	F58	0,663590	1,000000
Vencedores de Pichincha 054	F25	0,701166	0,770644
Transmetropoli 82	F91	0,863157	0,864718

En la figura 23 se muestra el levantamiento realizado de las rutas enlistadas, esta información fue levantada y validada a través de la información de la Secretaría de Movilidad, el recorrido disponible en la base de la Cámara de Transporte Urbano de Quito y se encuentran disponibles también en la base de datos abierta de OpenstreetBrowser.

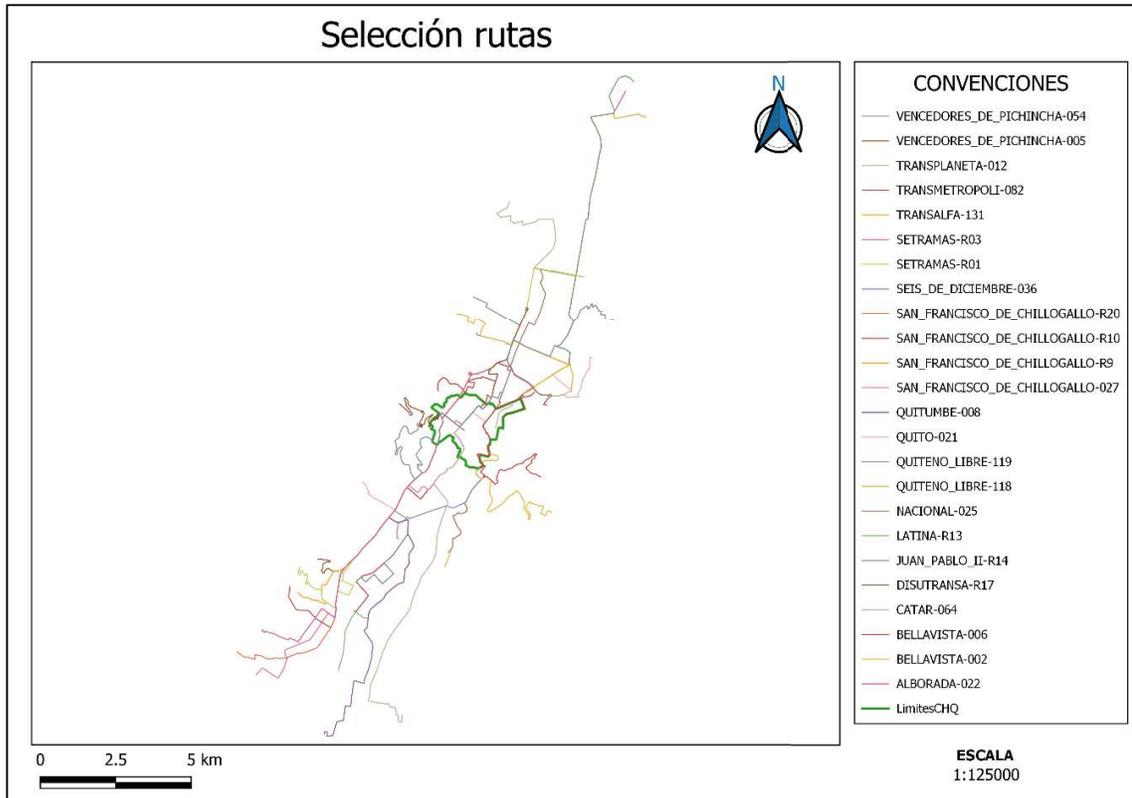


Figura 23 – Selección de rutas a optimizar

Para el análisis de las rutas con mayor ineficiencia la premisa seguida fue la de disminuir el recorrido en función de los puntos de partida y llegada, junto con las paradas intermedias que se encuentran tabuladas en las hojas de ruta de las operadoras.

En la figura 24 se muestra cómo se analizaron las rutas a partir de la estación del Metro de Quito de San Francisco, para este análisis se modificaron la ubicación de paradas de las rutas en base a la accesibilidad de los usuarios para tratarlo con un pseudo-modelo de transporte multimodal.

De igual manera se aplicó el algoritmo de ruta más corta y en conjunto con la modificación de paradas se originaron alternativas de rutas.

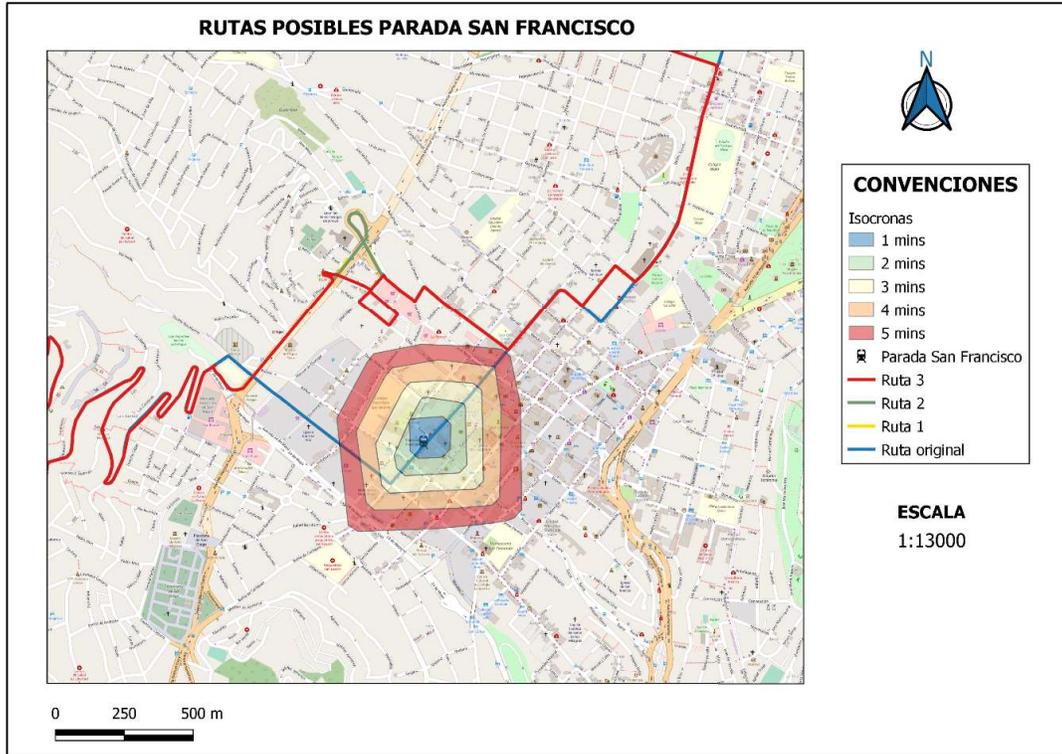


Figura 24 – Rutas posibles de una línea respecto a estación San Francisco

Se aplica el mismo procedimiento para la estación Alameda, se estableció la ubicación de la estación y se generó isócronas de zonas de accesibilidad. Cabe destacar que es una zona de conglomeración de rutas dado que este sector se considera para el acceso al Centro Histórico en sentido Norte-Sur.

De igual modo con la modificación de los puntos de control o paradas junto con el algoritmo se generaron 3 posibles rutas. En la figura 25 se muestra posibles recorridos en las cercanías de la estación.

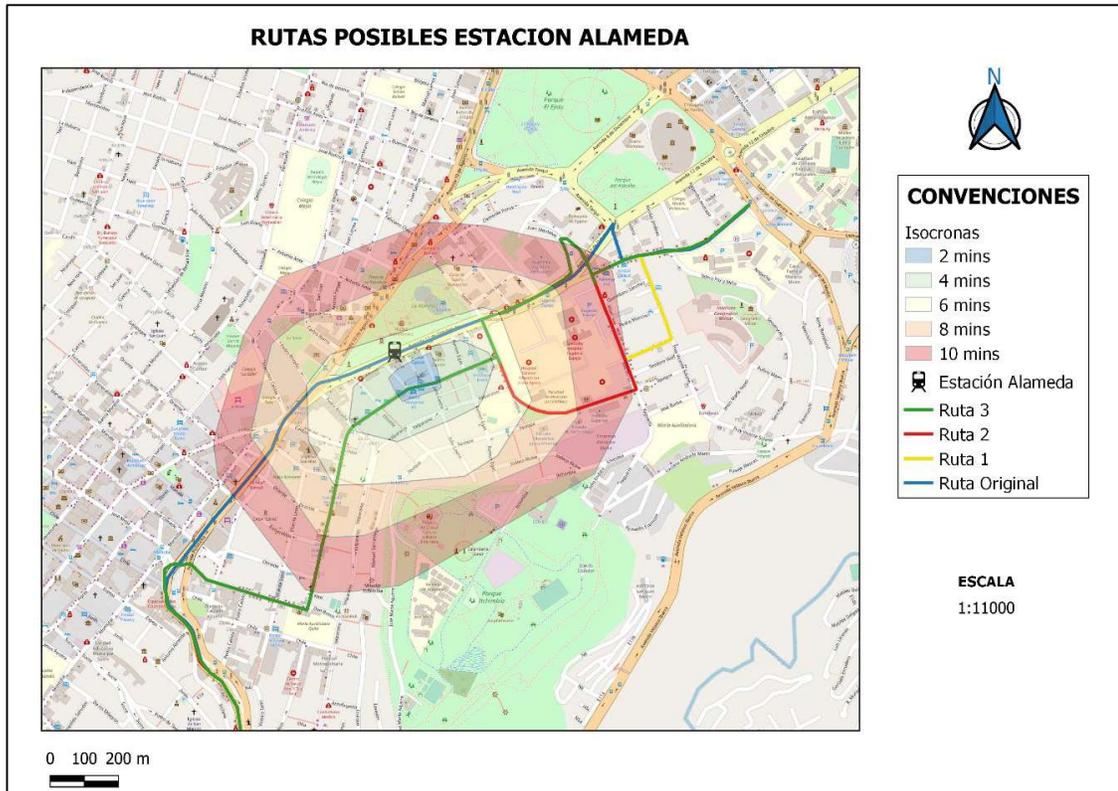


Figura 25 – Rutas posibles de una línea respecto a estación Alameda

Finalmente se extrapoló el análisis mencionado con anterioridad a las otras rutas y se generó un consolidado de las rutas.

En la figura 26 se contrasta las rutas actuales con las rutas optimizadas, en general se aprecia que la mayor modificación se presenta en los extremos de las rutas dado que disponen de más posibilidades de modificar su recorrido lo que no sucede en el Centro Histórico que tiene pocas opciones de recorrido transversal.

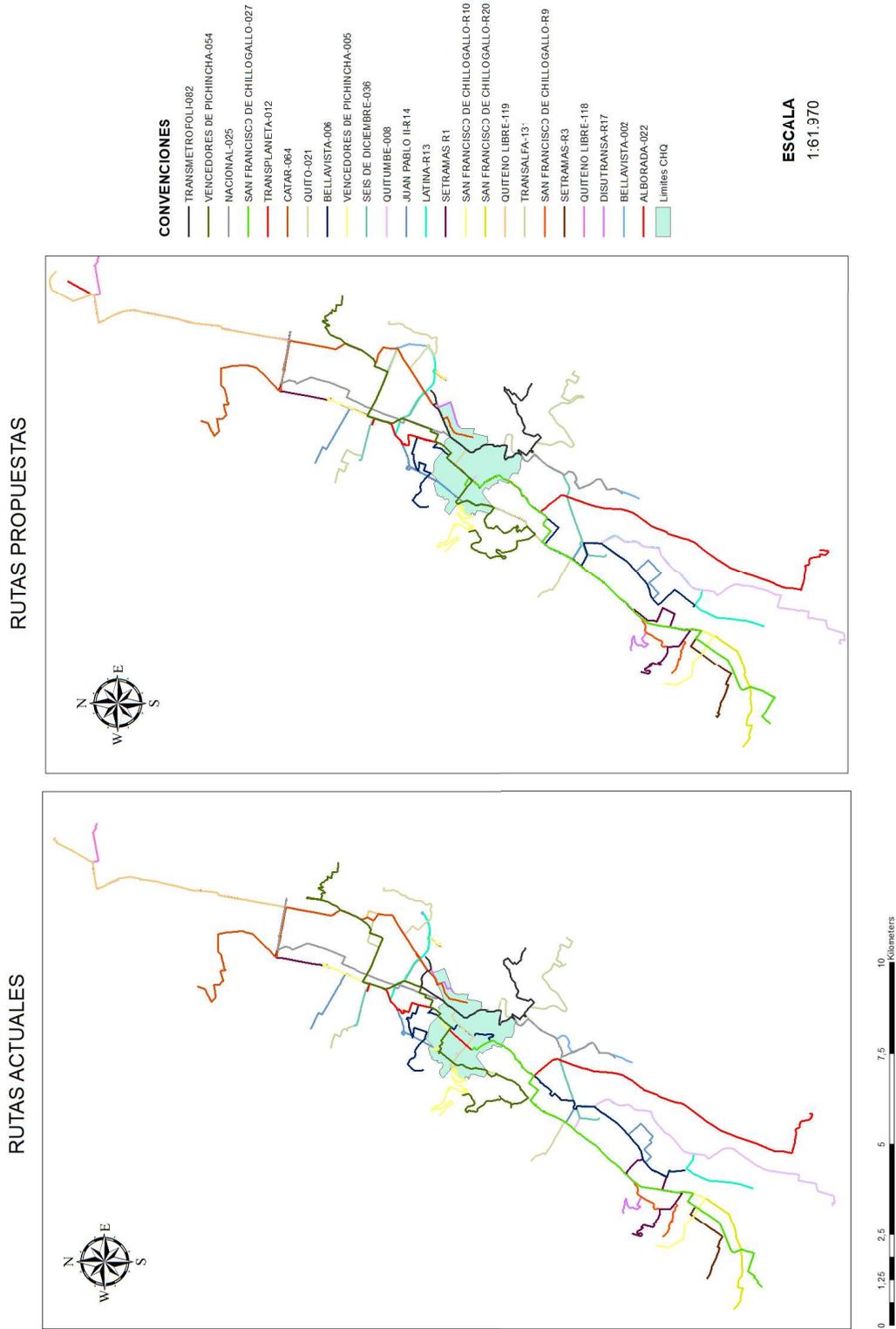


Figura 26 – Rutas actuales y optimización de rutas

3.1.4 Eficiencia de red de transporte optimizado acorde a la implementación del metro de Quito

A través del software se obtuvo la medida de las nuevas distancias de las rutas optimizadas en la tabla 11 se indica el porcentaje que se ha disminuido las distancias a recorrer por las unidades.

Tabla 11 - Sumario de recorridos optimizados

Rutas	DMU	Número de Viajes Optimizados	Kilómetros Recorrido-Optimizados	Porcentaje de reducción de distancia
Alborada 022	F57	7	24,80	-0,81%
Bellavista 002	F2	8	22,02	-12,26%
Disutran R17	F34	6	28,10	-1,32%
Quiteño Libre 118	F77	8	28,48	-4,67%
Quiteño Libre 119	F76	8	29,40	-4,18%
San Francisco de Chillogallo R10	F22	7	32,60	-1,84%
San Francisco de Chillogallo R20	F20	6	32,90	-0,82%
San Francisco de Chillogallo R9	F21	6	28,39	-1,62%
Setramas R3	F85	6	32,10	-1,37%
Transalfa SA 131	F88	6	33,80	-1,57%
Juan Pablo II R14	F4	7	29,06	-0,86%
Latina R13	F37	7	33,30	-1,89%
Setramas R1	F84	5	38,00	-1,26%
Quitumbe 008	F47	8	22,25	-7,19%
Seis de diciembre 36	F81	7	26,82	-2,09%
Vencedores de Pichincha 005	F23	8	21,37	2,15%
Bellavista 006	F1	7	28,36	-8,32%
Quito 021	F35	6	25,70	-0,66%
Catar 64	F60	7	28,10	-2,56%
Transplaneta 012	F8	7	32,60	-2,24%
San Francisco de Chillogallo 027	F16	9	24,09	-8,68%
Nacional 25	F58	7	30,30	-0,43%
Vencedores de Pichincha 054	F25	7	33,30	-2,07%
Transmetropoli 82	F91	16	16,60	-3,92%

La reducción del recorrido más alta ha sido del 12,26% en la ruta denominada Bellavista 002 y la menor reducción ha sido en la ruta Nacional 025 con un valor de 0,43%. La reducción promedio de las rutas seleccionadas ha sido de 2,94%.

Existe un incremento en la ruta Vencedores de Pichincha 005 debido al cambio en su recorrido propiciado por la premisa de la accesibilidad de las estaciones del Metro.

A partir de la actualización de las rutas optimizadas se procedió a calcular la eficiencia del conjunto de rutas, en la tabla 12 se señalan los valores obtenidos únicamente de las rutas optimizadas.

Tabla 12 - Sumario de eficiencia de rutas optimizadas

Rutas	DMU	Eficiencia Técnica Global (CRS)	Eficiencia Técnica Pura (VRS)
Alborada 022	F57	0,573121	0,594183
Bellavista 002	F2	0,567327	0,579364
Disutran R17	F34	0,560191	0,562067
Quiteño Libre 118	F77	0,607833	0,618107
Quiteño Libre 119	F76	0,551176	0,552593
San Francisco de Chillogallo R10	F22	0,549598	0,565023
San Francisco de Chillogallo R20	F20	0,599385	0,627857
San Francisco de Chillogallo R9	F21	0,591684	0,618660
Setramas R3	F85	0,559851	0,571366
Transalfa SA 131	F88	0,562163	0,588362
Juan Pablo II R14	F4	0,574750	0,582716
Latina R13	F37	0,614375	0,625105
Setramas R1	F84	0,571680	0,588609
Quitumbe 008	F47	0,608274	0,641068
Seis de diciembre 36	F81	0,636723	0,764128
Vencedores de Pichincha 005	F23	0,616876	0,637224
Bellavista 006	F1	0,592913	0,638217
Quito 021	F35	0,627500	1,000000
Catar 64	F60	0,624307	0,653026
Transplaneta 012	F8	0,637031	0,687691
San Francisco de Chillogallo 027	F16	0,678535	0,697316
Nacional 25	F58	0,662218	1,000000
Vencedores de Pichincha 054	F25	0,693883	0,763621
Transmetropoli 82	F91	0,857019	0,858604

En general se presentaron incrementos en la eficiencia de las rutas, el mayor incremento registrado es en la ruta Quiteño Libre 118 con un valor de 7,56% y el promedio de incremento de eficiencia de las rutas optimizadas es del 1,19%.

3.2 Discusión

Es preciso perfeccionar la accesibilidad y el servicio del transporte público en el DMQ, la exigua organización en lo referente a paradas y plazas de unificación de trayectos ha incitado a la ciudadanía a emplear el vehículo particular, forjando una mayor circulación vehicular en la red vial del distrito.

Cabe mencionar que existe una zona integración entre las rutas de transporte que se encuentra ubicada en el sector de la Marín y en el sector del Tejar, en estos lugares confluyen una gran cantidad de rutas intracantonales urbanas y combinadas, lo cual conlleva al incremento de rutas momentáneas que acceden al perímetro del CHQ.

Al valorar la densidad de rutas de transporte urbano en el CHQ, se identificaron los lugares donde las rutas no cubren la demanda espacial, en la mayoría de los casos la ingente densidad de líneas conduce a un exceso de oferta del transporte como en sectores de la Marín y en el Tejar. Sin embargo, hay que tener presente que, en la optimización de rutas de ciertos sectores, se mantiene una gran congestión de rutas, originado por las pocas alternativas viales en la configuración de la ciudad, imposibilitando la fácil circulación de las líneas de buses urbanos.

En el análisis se ha propuesto disminuir la distancia recorrida a través del algoritmo de ruta más corta y así alcanzar una mayor eficiencia. Algunos objetivos han sido contrapuestos, una mejora en uno implica un detrimento en el otro. Al ser la DEA un cálculo de eficiencia relativa requiere que se realice una modificación general de rutas para percibir un mayor incremento en la eficiencia promedio del conjunto.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Al levantar la información del estado actual de la red de transporte urbano se disponen de 1377 unidades de transporte habilitadas. Se determinaron que existen actualmente 93 rutas intracantoniales urbanas que transitan dentro del área de estudio, luego de ser seleccionadas por eliminación en función de los trayectos que recorren por los límites del CHQ. Particularmente se empleó los modelos de envolvente CRS y VRS con orientación a las salidas, enfocado a la información de trayectos de tiempo y distancia para el cálculo de la eficiencia.
- Se realiza una revisión del software de libre disposición para el cálculo de eficiencia, se opta por el software MaxDEA dada su versatilidad de uso. Se realiza el cálculo de eficiencia relativa de todas las rutas escogidas obteniendo que el promedio de la eficiencia técnica global es de 69,31% y el de la eficiencia técnica pura es de 73,48%. Este indicador muestra que se está operando ineficientemente y hay un amplio margen de optimización.
- En el análisis de las variables críticas, los resultados del análisis slack mostraron que una variable que tiene un importante peso para el aumento de la eficiencia es la referente a las unidades de transporte autorizadas, dado que en 71 rutas se necesita cambiar este valor para aumentar la eficiencia. En lo referente a las horas de servicio se requiere modificar 46 rutas y en lo relacionado a la frecuencia del servicio se requiere variar 40 rutas.
- En el estudio se planteó el bosquejo de nuevos perfiles de rutas en función de la revisión de los resultados de eficiencia. Se identificaron un total de 24 rutas, de las cuales 13 se seleccionaron por presentar los resultados más bajos de eficiencia y las 11 restantes escogidas por hallarse en el área de influencia de las estaciones San Francisco y Alameda. En los nuevos trayectos se ha obtenido reducción de distancia recorrida en el mejor de los casos hasta un 12,26% respecto a la ruta original y el promedio de las rutas optimizadas fue de 2,94%.

- Con la inclusión de las estaciones del Metro de Quito para modificar las rutas se modificó la base para el análisis de eficiencia relativa. Con estos resultados se efectuó una nueva corrida de la simulación obteniendo el mayor incremento en eficiencia en una ruta en un 7,56% y un aumento de la eficiencia relativa de estas rutas en 1,19%. En consecuencia, se deriva que se requieren modificaciones tanto en las entradas y las salidas del análisis de envolvente para conseguir valores más eficientes.

4.2 Recomendaciones

- Se requiere una mejor y más amplia base de información de los sistemas de transporte para proporcionar mejores escenarios en la creación de nuevas rutas. Sería factible complementar la información en lo referentes a tiempos, tal como; tiempos promedio en paradas, tiempos de reinicio de rutas y tiempos de recorrido en ambos sentidos de la ruta.
- A pesar de que se acoge las limitaciones y escenarios del modelo real para establecer un trayecto óptimo por medio de la herramienta de software Pgrouting, como las intersecciones, formas de vías, entre otras. Se requiere precisar diferentes componentes que participan en el sistema de recorrido como altimetría, estado de la vía, tráfico, con el propósito de conseguir resultados robustos y conformes al estatus verdadero.
- Se debería ampliar la investigación tomando en cuenta otros factores importantes como la distribución de espacial de centros de interés público y de la densidad poblacional para asegurar rutas que cubran una mayor cantidad de sectores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Banco Interamericano de Desarrollo. (2018). *Reformulación Sistema Metropolitano de Transporte Urbano de Quito Primera Línea de Metro*. Quito.
2. Banco Mundial. (12 de Abril de 2017). *Transporte: Panorama General*. Obtenido de Banco Mundial Web site:
<http://www.bancomundial.org/es/topic/transport/overview#3>
3. Becerril, O., Licea, G., & Ramírez, J. (2011). Eficiencia técnica del sector agropecuario de México: Una perspectiva de análisis envolvente de datos. *Economía*(31), 85-110.
4. Bertsekas, D. (1998). *Network Optimization: Continuous and Discrete Models*. Massachusetts: Athena Scientific.
5. Bhandari, R. (1999). *Survivable Networks: Algorithms for Diverse Routing*. Massachusetts: Springer Science & Business Media.
6. Boilé, M. (2001). Estimating Technical and Scale Inefficiencies of Public Transit. *Journal of Transportation Engineering*, 127(3), 187-194.
7. Bosque, J., Castro, C., Díaz, M., & Francisco, E. (1992). Estereotipos del lugar geográfico. *Prácticas de Geografía de la Percepción y de la actividad cotidiana*, 101-124.
8. Ceder, A., & Wilson, N. (1986). Bus network design. *Transportation Research Part B: Methodological*, 20(4), 331-344.
9. Chaparro, I. (2002). *Evaluación del impacto socioeconómico del transporte urbano en la ciudad de Bogotá: el caso del sistema de transporte masivo, Transmilenio*. Santiago de Chile: United Nations Publications.
10. Charnes, A., Cooper, W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decisión Making Units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-431.
11. Charnes, A., Cooper, W., Lewin, A., & Seiford, L. (1994). *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications* (Primera ed., Vol. XIII). New York: Springer Science+Business Media New York.
12. Chen, Y.-Z., Li, N., & He, D.-R. (2007). A study on some urban bus transport networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 376, 747-754.

13. Daraio, C., & Simar, L. (2007). *Advanced robust and nonparametric methods inefficiency analysis – methodology and applications*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
14. Delfín, O., & Melo, A. (2017). Eficiencia del transporte público en la ciudad de Morelia, Michoacán (México) en el año 2015: un análisis de la envolvente de datos. *Revista de la Facultad de Ciencias Económica: Investigación y Reflexión*, XXV(2), 7-23.
15. Delfín, O., & Navarro, J. (2014). *La eficiencia de los puertos en México*. Morelia: ININEE-UMSNH.
16. Díez, F. (2007). *Análisis de eficiencia de los departamentos universitarios. El caso de la Universidad de Sevilla*. Madrid: Librería-Editorial Dykinson.
17. Dirección Metropolitana de Territorio y Vivienda. (2003). *Plan Especial Centro Histórico de Quito*. Quito.
18. Distrito Metropolitano de Quito. (2013). *Sistema integrado de transporte de pasajeros en Quito*. Washington: EMBARQ & The World Bank.
19. Empresa Pública Metropolitana Metro de Quito. (2011). Integración física del SITM. *Sistema integrado de transporte masivo (SITM)*, 1-67.
20. Empresa Pública Metropolitana Metro de Quito. (2012). *Encuesta Domiciliaria de Movilidad (EDM11) del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito.
21. Escobar, J. (1996). *Los Sistemas de Información Geográfica en la localización de servicios sociales: centros de salud y clubes de jubilados en Alcalá de Henares*. Madrid: Universidad de Alcalá.
22. Espíndola, O. (2018). *SIG aplicado al rediseño de rutas de transporte urbano en la ciudad de Riobamba-Ecuador*. Riobamba: Universidad de Salzburg.
23. Färe, R., Grosskopf, S., & Whittaker, G. (2007). Network DEA. *Modeling Data Irregularities and Structural Complexities in Data Envelopment Analysis*, 209-240.
24. Farrell, J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 11.
25. Fried, H. O., Lovell, K. C., & Schmidt, S. S. (2008). *The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth*. New York: Oxford University Press.
26. García, E., & Serrano, C. (2003). Competitividad y eficiencia. *Estudios de Economía Aplicada*, 21(3), 423-450.

27. Gen, M., Cheng, R., & Lin, L. (2008). *Network Models and Optimization: Multiobjective Genetic Algorithm Approach*. Londres: Springer Science & Business Media.
28. Geurs, K., Patuelli, R., & Ponce, T. (2016). *Accessibility, Equity and Efficiency: Challenges for Transport and Public Services* (1ª ed.). Northampton, Estados Unidos de América: Edward Elgar Publishing.
29. Gillen, D., & Lall, A. (1997). Developing measures of airport productivity and performance: an application of data envelopment analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 33(4), 261-273.
30. Grava, S. (2003). *Urban transportation systems : choices for communities*. New York: McGraw-Hill Education.
31. GSD Plus. (2017). *Estructuración del modelo tarifario del sistema metropolitano de transporte público de pasajeros de Quito*. Bogotá.
32. Hillier, F., & Lieberman, G. (2001). *Introduction to Operations Research* (Séptima ed., Vol. I). New York: McGraw-Hill.
33. Hubnthal, A. (2010). *Evaluación del sector transporte en Ecuador con miras a plantear medidas de mitigación al Cambio Climático*. Quito: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
34. Iliyasu, A., Mohamed, Z., & Terano, R. (2015). Data Envelopment Analysis Models and Software Packages for Academic Purposes. *Pertanika Journal of Scholarly Research Reviews*, 27-32.
35. Jorda, P. (2012). *Metodología de evaluación de la eficiencia de los servicios de autobús urbano: Aplicación a las grandes ciudades españolas en el periodo 2004-2009*. Madrid: Universidad Pólitécnica de Madrid.
36. Kujala, R., Weckstrom, C., Mladenovic, M., & Saramaki, J. (2018). Travel times and transfers in public transport: Comprehensive accessibility analysis based on Pareto-optimal journeys. *Computers, Environment and Urban Systems*, 67, 41-54.
37. Mendoza, G., Campos, J., & Nombela, G. (2003). *Economía del transporte*. Barcelona: Antoni Bosch.
38. Metro de Quito. (2012). *La Línea 1 de Metro de Quito*. Quito: Equipo consultor Metro de Madrid S.A.
39. Metro de Quito. (15 de 1 de 2019). *Metro de Quito - EPM*. Obtenido de Metro de Quito - EPM Web site: <http://www.metrodequito.gob.ec/>

40. Meyer, M., & Institute of Transportation Engineers. (2016). *Transportation Planning Handbook*. New Jersey: John Wiley & Sons.
41. Mokate, K. (2000). Eficacia, eficiencia, equidad y sostenibilidad ¿Qué queremos decir? *Diseño y gerencia de políticas y programas sociales*, 1-35.
42. Molinero, Á., & Sánchez, L. (1997). *Transporte público: planeación, diseño, operación y administración*. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
43. Moscardo, C. M. (2015). *Planificación de rutas y operaciones de transporte por carretera*. Madrid, España: Editorial Elearning.
44. OpenStreetMap, ©. (1 de Febrero de 2019). *OpenStreetMap*. Obtenido de Mapa de transporte de OpenStreetMap: <https://www.openstreetmap.org>
45. Ortúzar, J., & Willumsen, L. (2008). *Modelos de transporte*. Cantabria: Ediciones de la universidad de Cantabria.
46. Parra, E. (1999). *Optimización Del Transporte: Modelos Resueltos con SOT II*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
47. Ramos, B., Lima, O., & Sampaio, Y. (2008). Efficiency Analysis of Public Transport Systems: Lessons for Institutional Planning. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, XLII(3), 445-454.
48. Rescala, C., Devincenzi, G., Rohde, G., Bonaffini, L., Bernaola, G., & Giraudó, M. (2012). *Revisión del software libre disponible y desarrollo de una herramienta para el análisis envolvente de datos (DEA)*. Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional.
49. Rodríguez, R., & Lazo, M. (2013). Algorithm for shortest path search in Geographic Information Systems by using reduced graphs. *SpringerPlus*, 291.
50. Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación* (Quinta ed.). México D.F., México: Mc Graw-Hill / Interamericana Editores S.A. de C.V.
51. Schuschny, A. (2007). *El método DEA y su aplicación al estudio del sector energético y las emisiones de CO2 en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: CEPAL - División de Estadística y Proyecciones Económicas.
52. Sheth, C. (2003). *The Measurement and Evaluation of Performance of Urban Transit Systems: The Case of Bus Routes*. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University.

53. Smith, D. (2003). *Networks and Graphs: Techniques and Computational Methods*. Philadelphia: Woodhead Publishing Limited.
54. Spencer, M. H. (1993). *Economía contemporánea*. Barcelona: Reverte.
55. Tjalling, K. (1951). An analysis of production as an efficient combination of activities. *Activity Analysis of Production and Allocation*, 33-97.
56. Toloo, M., & Nalchigar, S. (2009). *A new integrated DEA model for finding most BCC-efficient DMU*. *Applied Mathematical Modelling*.
57. Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 130, 498-509.
58. Unión Internacional de Transporte Público. (2003). 3 Stops to Sustainable Mobility. *Ticket to the Future*, 1-37.
59. Yu, M.-M., & Chen, L.-H. (2016). Assessment of transportation performance: a network structure. *Data Envelopment Analysis - A handbook of empirical studies and applications*, 238, 17-43.

ANEXOS

Anexo I - Operadoras y rutas intracantonal urbana

No.	OPERADORA	RUTA
1	Compañía de Transportes 21 de Julio Cia. Ltda.	Chorrera - San Juan - Bolivia
		San Salvador - Colegio Mejía
		Chorrera - Tejar - Bolivia
		Reserva
2	Lujo Express Águila Dorada S.A.	Roldós - Jardín
		Velasco - Ejido
3	Alborada Compañía de Transportes S.A.	Comité Del Pueblo - Marín
		La Bota - Ejido
		Atucucho - Comité Del Pueblo
		Trolebús
		Ccn
		Reserva
		Terminal Ofelia - Seminario Mayor
		Terminal Ofelia - Terminal Carcelén Alto
		Terminal Ofelia - Carcelén Bajo
		Colmas del Norte - Estación Ofelia
		Roldós - Ofelia
		Pisulí - Ofelia
		Planada - Ofelia
		Carapungo - Ofelia
		Zabala - Ofelia
		Calderón - Ofelia
		Pampa - Ofelia
		Calacali-Ofelia
		Anden de Transferencia Seminario Mayor - El Placer
		Andén de Transferencia (Florida) - Santa María
Andén de Transferencia (La Y) - Mena del Hierro		
Atucucho - Ofelia		
Atucucho - Comité del Pueblo (Transversal)		
Carapungo - Universidad Central		
4	Compañías: Atahualpa	Cima De La Libertad - Bellavista - Santa Lucia
		Santa Lucia - Granados - Cima De La Libertad
		Cima De La Libertad - San Francisco - Santa Lucia
		Santa Lucia - San Francisco - Cima De La Libertad
5	Cooperativa de Transporte de Buses Urbanos Bellavista	La Clemencia - Camal - Colon
		Santa Rita - Pintado - San Juan - Toctiuco
		Reservados Para Corredores
6	Cooperativa de Transportes Calderón	Ofelia - Calderón
		Ofelia - Zabala
		Carapungo Etapa "E" - Uce
		Cisne - Zabala - Terminal Norte La "Y"
		Collas - Terminal Norte La "Y"
		La Cruz - Zabala- Terminal "Rio Coca"
La Tola - San Jose - Terminal Norte La "Y"		

7	Transportes Carcelén Tarqui C.A.	Ofelia - Terminal Terrestre "Carcelén"
		Ofelia - Carcelén Bajo
		Carcelén Bajo - Carcelén - Brasilia - Ejido
		La Josefina-Ejido
		Cochapamba Sur - Cochapamba Norte - Don Bosco
		Carcelén - Marín
		La Pulida-Ejido
8	Compañía de Transportes en Colectivos Quito C.A. Colectrans	Camal - Andalucía
9	Consorcio Empresarial del Transporte C.A. "Conetra"	Atucucho - Comité Del Pueblo
		Santa Maria - Parada Florida
		Ofelia - Atucucho
		Seminario Mayor - El Placer
10	Compañía de Transporte Urbano Distrito del Sur Disutran SA.	Quitumbe - San Gabriel
		Quitumbe - San Vicente De Las Casas
		Santa Barbara - Itchimbia
		Quitumbe - Dorado - Itchimbia
		Quitumbe-San Roque
		Khon - San Roque - Nueva Aurora
11	Compañía de Transportes Ecuatoriana Transheroica SA	Quitumbe - Manuelita Sáenz
		Turubamba De Monjas - Camal Metropolitano - San Roque
		18 De octubre - Camal Metropolitano - San Roque
		Los Pedestales - Ecuatoriana - Marín
		San Alfonso - Nuevos Horizontes - Marín
		Trolebús
		Reserva
12	Transportes Guadalajara SA	Pueblo Blanco - Ciudadela Alegría - Parlamento
		Oyacoto - Carapungo - Dinapen
		Oyacoto - Carapungo - Eloy Alfaro
13	Cooperativa de Transporte de Pasajeros Juan Pablo II	Quitumbe - Seminario Mayor
		La Isla - Las Casas
		Quitumbe - Cornejo
		Ciudadela Lozaoa - Guamaní - San Roque
		Los Andes - Solanda - Marín
		Trinidad - Guamaní - Marín
		Reserva
14	Latina Transporte Selectivo y Turismo Latitransursa SA	Quitumbe - Seminario Mayor
		San Francisco De Asís - Floresta
		Floresta - Registro Civil - Hospital Carolo
		Quitumbe - La Merced
		Quitumbe - Los Cóndores
		Marín - 23 De mayo - Chillogallo
		Reserva

15	Cooperativa Llano Grande	Llano Grande - Terminal 'Rio Coca'
		Llano Grande - Terminal Norte La "Y"
		Bonanza - Terminal Norte La 'Y'
		Llano Grande - Buenos Aires
16	Empresa de Transportes Lujoturissa SA	La Victoria - Universidad Central
		La Joya - Cutuglahua -Universidad Central
17	Cooperativa de Transportes Mariscal Sucre	Focalpi - Universidad Central
		Orquídeas - Hospital Metropolitano
		Quitumbe - Naiq
18	Transporte de Pasajeros Metrotrans Transpasmetrotrans SA	Peralta - San Fernando - Estadio Olímpico
		Roció De Guamaní - Uce - Estadio Olímpico
19	Cooperativa de Transporte "Turis-Monserrat"	Carcelén Bajo - Marín
		Mastodontes - Cotocollao
		Carcelén Bajo - Marín
20	Compañía Nacional de Transportes y Comercio S.A.	Camal - Hipódromo
		Trolebús
		Reservados Para Corredores
21	Cooperativa de Transporte Urbano en Buses Paquisha	Ofelia - Colimas Del Norte
		Ofelia - Roldós - Pisuli
		Ofelia - Planada
		23 De junio-Ejido
		Condado - Marín
22	Colectivos de Transporte Urbano Pichincha C.A.	Quitumbe - Seminario Mayor
		La Comuna - La Dolorosa - Estadio Olímpico
		El Paraíso - La Magdalena
		Pintado - La Dolorosa
		Reserva
23	Compañía de Transportes 'Quiteño Libre S.A.	Rio Coca - Eloy Alfaro - Carapungo
		Rio Coca - Simón Bolívar - Carapungo
		Carapungo - Rio Coca - Naciones Unidas
		Quintana - Marín
		Comité Del Pueblo (Zona 11) - Marín
		Trolebús
24	Cooperativa de Transporte de Colectivos "Quito"	Las Alcantarillas - Guápulo
		Quitumbe - Marín
		Quitumbe -Naiq
25	Compañía de Transportes Quitumbe S.A.	Solanda - Pintado - Tola
		Ciudadela Del Ejercito 2 - Marín
		Reino De Quito - Vicentina - San Pablo
		Santos pamba 3 - Camal Metropolitano - Marín
		Reserva
26	Compañía de Transporte Ejecutivo Rapitrans S.A.	Planada - Marín
27	Transportes Reino de Quito SA	Rio Coca - Amagasi - Llano Chico
		Carapungo - Rio Coca - Naciones Unidas
		Buenos Aires- Trébol
		Edén-San Pablo
		Trolebús

28	Compañía de Transporte Urbano "Trans San Carlos"	Mena Del Hierro - La "Y"
		Atucucho - Dos Puentes -Magdalena
		Rancho San Antonio - Cotocollao - Terminal Terrestre Carcelén
		Ofelia - Estadio De Liga - Dos Puentes - Magdalena
		Parque Curiquingue - Roldós - Dos Puentes - Magdalena
		Trolebús
29	Compañía de Transportes San Cristóbal S. A.	Forestal - Universidad Central
		San Luis De Chillogallo - Marín
		Ciudadela Ibarra - Marín
		Reserva
30	Compañía de Transporte San Francisco de Chillogallo SA	Quitumbe - Seminario Mayor
		Santa Rosa III - Hospital Militar
		Santa Rosa-Vicentina
		La Merced - IESS
		Mena 2 - Universidad Central
		Santa Clara- Girón - Seminario Mayor
		Quitumbe - Camal Metropolitano
La Independencia - 24 De mayo		
31	Cooperativa de Transporte San Juan de Calderón	Alborada De La Paz - Terminal Norte La "Y"
		Divino Niño - Pradera - Terminal Norte La "Y"
		Ana Maria - Bellavista - Terminal Micro regional "Ofelia"
		San Juan De Calderón - Calderón
		San Juan - San Roque
32	Compañía Servicio Ecuatoriano de Transporte Secuatrans CA.	Quitumbe - Seminario Mayor
		Quitumbe - Ciudadela Del Ejercito
		Trolebús
		Reserva
33	Empresa de Transporte Urbano Seis de Diciembre SA.	La Cocha - San Martin De Porres - Villaflora
		Barrionuevo - La Gasca
		Quitumbe - Naiq
		Troje - Marín
34	Compara Semgyllfor	Ofelia - Carapungo
		Bicentenario - Ecuador - Carapungo - Ejido
35	Compañía de Servicios Múltiples 15 de agosto "Serviagosto SA"	Buenaventura De Chillogallo - Libertad - Plaza Artigas
36	Servido de Transporte Mariscal Sucre S. A. Setramas	Cristo Rey - Estadio Olímpico
		La Esperanza - Chillogallo - Mariana de Jesús
		La Esperanza - Chillogallo - Marín
37	Cooperativa de Transporte de Pasajeros Transur Siete de Mayo	Héroes De Paquisha - Marín
		Rocío De Guamaní - Marín

38	Transalfa S.A.	Obrero Independiente - Comuna
		Eloy Alfaro - Obrero Independiente - Rosas pamba
		Balcón Del Valle - Primavera
39	Transhemisféricos Compañía de Transportes Hemisféricos S.A.	Ofelia - Pampa - Bicentenario
		Ofelia - 13 Oe Junio - Rumicucho
		Ofelia - Kartodromo - Rumicucho
		Ofelia - Calacali
		San Vicente - Ejido
		Pululahua - Miraflores
		Pululahua - Panecillo
40	Compañía Transportes Latinos Translatinos SA	San Blas - Beaterio - Unión Popular - Seminario Mayor
		Trolebús
		Litigio
		Reserva
41	Compañía Transmetropoli SA	Monjas Alto - Hospital Eugenio Espejo
		Primero De mayo - Hospital Eugenio Espejo
		Reserva
42	Compañía de Transporte de Pasajeros "Cóndor Mirador SA."	San Isidro De Puengasi - Marín
		En El Trolebús
43	Compañía de Transporte Planeta "Transplaneta" S. A.	Quitus Colonial - Universidad Central
		Jardín Del Valle - Monjas - Las Casas
		Ciudad Serrana -San Jose - Cutuglahua - San Roque
		Santo Domingo - Cutuglahua - San Roque
		Parque Metro sur - San Juan De Turubamba - Marín
		Ciudad Jardín - Caupicho - Marín
		Ciudad Jardín - Garrochal - Santo Tomas 1 - Santo Tomas 2 - Marín
		Ciudad Jardín - Terranova - Venecia - Marín
		Trolebús
Trolebús		
44	Compañía Transporsel C.A.	Las Cuadras - Marín
		Luz Y Vida - Nuevo Amanecer - Jardín
		San Juan De Calderón - Ejido
		Trolebús
		Camal - El Inca
45	Transportes Zeta "Transzeta CA"	Forestal Alta - Villaflores - Universidad Central
		Ferroviana - Marín
46	CATUV Compañía Anónima de Transportes Urbanos victoria	La Clemencia - Camal - Colon
		Oriente Quiteño - La Gasca
		Trolebús
		Reserva

47	Compañía Vencedores de Pichincha S A.	Mariana De Jesús - Atacazo
		Marín-Reino De Quito
		Uce - Caupicho - Musculos Y Rieles
		Marín - Ciudadela Tarqui
		Bellavista - Cima De La Libertad
		Bellavista - Jesús Del Gran Poder - Magdalena Alta
		Paulo VI - Cima De La Libertad
		Trolebús
		Reservados Para Corredores

ANEXO II - Datos de entrada de transporte urbano para análisis DEA

Rutas			Información de ruta									
Referencia	Código ruta	Código operadora	Flota autorizada	Horario de operación		Intervalo (hh:mm)		Frecuencia (veh/hora)		Tiempo de recorrido/vuelta (hh:mm)		Distancia (km)
				Inicia	Termina	Pico	Valle	Pico	Valle	Pico	Valle	
1	Bellavista 006	6	28	22	5:40	21:00	0:06	0:08	9	7	2:20	30,72
2	Bellavista 002	2	28	6	5:30	21:00	0:20	0:20	3	3	2:10	24,72
3	Juan Pablo II 038	38	52	14	5:15	21:00	0:10	0:10	6	6	2:10	36,21
4	Juan Pablo II R14	R14	52	11	5:00	21:00	0:10	0:12	6	5	2:10	29,31
5	Juan Pablo II 121	121	52	17	5:40	21:00	0:09	0:11	7	5	2:00	30,94
6	Juan Pablo II T1	T1-	52	4	5:00	22:30	0:04	0:05	15	12	1:50	28,57
7	Juan Pablo II 126	126	52	18	5:10	21:00	0:08	0:12	8	5	2:10	37,1
8	Transplaneta 012	12	42	21	5:30	20:46	0:06	0:08	9	8	2:16	33,33
9	Transplaneta 78	78	42	11	5:00	20:20	0:14	0:14	4	4	2:30	43,19
10	Transplaneta 78A	78A	42	12	5:00	21:00	0:04	0:06	15	10	2:05	34,67
11	Transplaneta 78B	78B	42	11	5:00	21:00	0:06	0:08	10	8	2:05	35,72
12	Transplaneta 78C	78C	42	12	5:00	21:00	0:04	0:06	15	10	2:05	35,35
13	Transplaneta 40	40	42	16	6:00	20:30	0:08	0:10	8	6	2:00	26,03
14	Transplaneta 046	46	42	13	4:44	21:20	0:12	0:16	5	4	2:20	41,29
15	Transplaneta 046A	46A	42	12	4:50	21:20	0:12	0:16	5	4	2:20	40,5
16	San Francisco de Chillogallo 027	27	46	12	5:30	20:00	0:09	0:12	7	5	1:50	26,18
17	San Francisco de Chillogallo R11	R11	46	17	4:50	21:00	0:14	0:18	4	3	2:00	30,06
18	San Francisco de Chillogallo R15	R15	46	11	5:20	21:00	0:11	0:14	5	4	1:50	22,92
19	San Francisco de Chillogallo T1	T1--	46	2	5:00	22:30	0:04	0:05	15	12	1:50	28,57
20	San Francisco de Chillogallo R20	R20	46	9	5:00	21:00	0:09	0:12	7	5	2:30	33,17
21	San Francisco de Chillogallo R9	R9	46	9	5:30	20:30	0:12	0:15	5	4	2:30	28,85

22	San Francisco de Chillogallo R10	R10	46	16	5:00	21:00	0:07	0:09	9	7	2:30	2:20	33,2
23	Vencedores de Pichincha 005	5	33	14	5:50	20:00	0:10	0:15	6	4	1:50	1:40	20,91
24	Vencedores de Pichincha 028	28	33	19	5:00	21:00	0:06	0:10	10	6	2:10	2:00	42,67
25	Vencedores de Pichincha 054	54	33	16	5:50	20:00	0:08	0:12	8	5	2:10	2:00	33,99
26	Vencedores de Pichincha 054A	54A	33	1	5:50	20:00	0:08	0:10	8	6	2:00	1:50	31,59
27	Vencedores de Pichincha 047	47	33	10	6:00	19:30	0:08	0:10	8	6	1:40	1:30	21,6
28	Vencedores de Pichincha 024	24	33	10	5:35	20:00	0:08	0:10	8	6	1:40	1:30	22,66
29	Disutran 034	34	51	18	5:00	21:00	0:07	0:08	9	7	2:05	1:50	31,04
30	Disutran R21	R21	51	12	5:30	21:00	0:12	0:15	5	4	2:20	2:10	34,58
31	Disutran R4	R4	51	11	5:00	20:35	0:14	0:17	4	4	2:30	2:20	38,75
32	Disutran 032	32	51	14	5:05	21:00	0:08	0:10	8	6	1:50	1:40	27,02
33	Disutran R5	R5	51	12	5:08	20:35	0:14	0:17	4	4	2:50	2:40	42,26
34	Disutran R17	R17	51	13	5:20	20:30	0:11	0:15	5	4	2:25	2:15	28,47
35	Quito 021	21	47	12	5:45	18:30	0:12	0:12	5	5	2:00	2:00	25,87
36	Quito 056	56	47	24	5:00	20:00	0:05	0:05	12	12	2:00	1:50	44,05
37	Latina R13	R13	17	10	5:00	21:00	0:16	0:18	4	3	2:30	2:20	33,93
38	Latina 68	68	17	26	5:00	22:00	0:05	0:08	12	8	2:00	1:50	26,86
39	Latina T1	T1	17	25	5:00	22:30	0:04	0:05	15	12	1:50	1:40	28,57
40	Latina R12	R12	17	14	5:00	21:00	0:08	0:12	8	5	2:30	2:20	36,04
41	San Carlos 051	51	36	12	5:15	20:00	0:10	0:10	6	6	1:40	1:40	35,47
42	San Carlos 088	88	36	21	5:00	21:00	0:06	0:06	10	10	2:10	2:10	39,91
43	San Carlos 089	89	36	19	5:00	20:30	0:08	0:10	7	6	2:30	2:15	46,77
44	Rapitrans 154	154	20	23	4:50	21:00	0:07	0:10	9	6	2:30	2:15	49,12
45	Metrotrans 140	140	56	22	4:45	22:30	0:07	0:07	9	9	2:30	2:20	51,24
46	Metrotrans 141	141	56	21	4:30	22:30	0:07	0:07	8	8	2:30	2:20	48,9
47	Quitumbe 008	8	35	17	5:55	20:30	0:08	0:12	8	5	2:05	1:55	23,85
48	Quitumbe 137	137	35	14	5:00	20:45	0:11	0:13	5	5	2:30	2:20	38,94

49	Quitumbe 115	115	35	19	5:20	21:00	0:08	0:10	7	6	2:35	2:25	35,29
50	Quitumbe 050	50	35	18	5:18	20:30	0:08	0:10	8	6	2:15	2:05	32,43
51	Transhemisfericos 208	208	61	8	5:12	20:30	0:06	0:08	10	8	3:00	2:45	79,15
52	21 de Julio 109	109	9	7	6:01	21:15	0:08	0:09	8	7	0:56	0:46	11,7
53	21 de Julio 109A	109A	9	8	5:57	22:25	0:06	0:07	10	9	0:45	0:40	8,17
54	21 de Julio 109B	109B	9	8	5:25	22:30	0:07	0:08	9	8	0:55	0:45	10,59
55	Conetra Q40	Q40	54	3	6:15	20:00	0:17	0:17	4	4	0:50	0:50	12,02
56	Alborada Q53	Q53	26	4	5:00	23:00	0:03	0:04	20	13	1:08	1:08	20
57	Alborada 022	22	26	30	4:50	22:00	0:05	0:05	12	12	2:30	2:10	25
58	Nacional 25	25	22	23	5:50	20:00	0:06	0:08	10	8	2:10	2:00	30,43
59	Catar 113	113	16	30	5:30	21:30	0:05	0:07	12	9	2:30	3:00	37,58
60	Catar 64	64	16	16	6:00	20:30	0:08	0:10	8	6	2:00	2:20	28,82
61	Condor Mirador 155	155	5	7	5:50	20:15	0:09	0:10	7	6	1:00	1:00	14,94
62	Siete de mayo 33	33	34	17	5:00	21:00	0:08	0:11	8	5	2:10	2:00	37,19
63	Siete de mayo 144	144	34	16	5:00	21:00	0:08	0:11	7	5	2:10	2:00	33,79
64	Victoria 019	19	31	21	5:10	21:30	0:07	0:08	8	8	2:30	2:20	37,1
65	Victoria 002	2	31	26	5:15	21:30	0:04	0:04	15	15	2:10	2:00	24,72
66	Atahualpa 03A	03A	29	17	5:42	18:54	0:10	0:10	6	6	2:33	2:33	29,37
67	Atahualpa 03B	03B	29	17	5:40	19:12	0:10	0:10	6	6	2:53	2:53	36,76
68	Transheroica 44A	44A	49	10	4:28	20:00	0:12	0:12	5	5	2:00	1:50	38,08
69	Transheroica 49	49	49	10	4:28	22:00	0:08	0:10	8	6	1:40	1:30	34,55
70	Transheroica 146	146	49	11	4:23	21:00	0:10	0:12	6	5	1:50	1:40	34,18
71	Transheroica 44A	44	49	11	4:38	20:00	0:12	0:12	5	5	2:00	1:50	35,73
72	Monserat 31	31	39	27	4:45	21:00	0:06	0:08	10	8	2:20	2:20	41,08
73	Paquisha 106	106	48	16	6:00	21:00	0:08	0:10	8	6	2:00	2:00	31,38
74	Pichincha R02	R02	27	24	5:20	20:30	0:05	0:05	12	12	2:20	2:10	29,26
75	Pichincha T1	T1	27	1	5:00	22:30	0:04	0:04	15	15	1:50	1:40	28,57

76	Quiteño Libre 119	119	23	9	5:25	22:00	0:15	0:15	4	4	2:15	2:15	30,63
77	Quiteño Libre 118	118	23	12	5:20	21:54	0:12	0:12	5	5	2:15	2:15	29,81
78	San Cristobal 29	29	3	23	4:50	20:45	0:06	0:07	10	9	2:05	1:55	32,15
79	San Cristobal 18	18	3	22	5:00	20:45	0:06	0:07	10	9	2:00	1:50	28,98
80	Secuatrans T1	T1-	19	7	5:00	22:30	0:04	0:05	15	12	1:50	1:40	28,57
81	Seis de diciembre 36	36	15	22	5:35	19:30	0:08	0:10	8	6	2:10	2:00	27,38
82	Seis de diciembre 36	157	15	8	5:40	18:30	0:11	0:15	5	4	1:30	1:30	38,1
83	Serviagosto R18	R18	41	27	4:25	20:30	0:05	0:08	12	8	3:00	2:50	40,26
84	Setramas R1	R1	57	18	5:00	21:00	0:09	0:09	7	7	3:00	2:50	38,48
85	Setramas R3	R3	57	16	5:00	21:00	0:09	0:09	7	7	2:30	2:20	32,54
86	Setramas 59	59	57	6	5:20	21:00	0:18	0:18	3	3	1:45	1:45	29,15
87	Transalfa SA 131A	131A	4	7	5:48	20:00	0:21	0:21	3	3	2:50	2:20	34,21
88	Transalfa SA 131	131	4	18	5:32	22:25	0:06	0:08	10	8	2:50	2:20	34,33
89	Transalfa SA 132	132	4	25	5:28	22:20	0:06	0:08	10	8	2:50	2:20	37,09
90	Transmetropoli 83	83	7	8	5:50	21:30	0:14	0:15	4	4	1:00	1:00	16,25
91	Transmetropoli 82	82	7	8	5:40	21:30	0:14	0:16	4	4	1:00	1:00	17,25
92	Transporsel 97	97	24	10	5:40	21:00	0:10	0:10	6	6	1:35	1:25	26,42
93	Transzeta 152	152	13	5	5:50	19:15	0:15	0:15	4	4	1:10	1:10	17,61

ANEXO III - Resultados análisis DEA mediante software MaxDEA 7

Análisis DEA – Modelo CRS - Salidas

Resultados – Resumen

Propiedad	Valor
Tipo de modelo	Modelo envolvente
Número de DMU	93
Número de entradas	3
Número de salidas	2
Distancia	Radial
Orientación	Salida-orientado
Retorno a escala	Constante
Cálculo slack	1 escenario
Tiempo transcurrido	10 segundos

DMU	Score	Benchmark (Lambda)	Slack Movement (Input1)	Projection (Input1)	Slack Movement (Input2)	Projection (Input2)	Slack Movement (Input3)	Projection (Input3)	Proportionate Movement (Output1)	Slack Movement (Output1)	Projection (Output1)	Proportionate Movement (Output2)	Slack Movement (Output2)	Projection (Output2)
F1	0,61593	F51(0,590679); F53(0,382345)	-14,21581	7,784191	-0,161857	5,838143	0	15,33333	4,364978	0	11,36498	19,156016	0	49,87602
F2	0,55444	F51(0,480012); F53(0,086324); F55(0,489771)	0	6	-8,275879	11,72412	0	15,5	5,625285	0	12,62529	19,86529	0	44,58529
F3	0,65175	F51(0,667189); F53(0,336559)	-5,970014	8,029986	-3,977511	6,022489	0	15,75	3,740241	0	10,74024	19,34773	0	55,55773
F4	0,57709	F51(0,598824); F53(0,415263)	-2,887306	8,112694	-3,91548	6,08452	0	16	5,129899	0	12,1299	21,47962	0	50,78962
F5	0,66327	F51(0,545569); F53(0,424259)	-9,241378	7,758622	-3,181033	5,818967	0	15,33333	4,061536	0	12,06154	15,70799	0	46,64799
F6	0,81967	F51(0,205736); F55(0,004107); F56(0,513184); F75(0,289055)	0	4	0	4	0	17,5	2,199985	0	12,19999	6,285356	0	34,85536
F7	0,65673	F51(0,679669); F53(0,330024)	-9,922455	8,077545	-1,941841	6,058159	0	15,83333	3,658882	0	10,65888	19,392073	0	56,49207
F8	0,64418	F51(0,617192); F53(0,353662)	-13,23317	7,766829	-0,174878	5,825122	0	15,26667	3,866519	0	10,86652	18,410154	0	51,74015
F9	0,69234	F51(0,765452); F53(0,219954)	-3,116748	7,883252	-8,087561	5,912439	0	15,33333	2,666254	0	8,666254	19,192582	0	62,38258
F10	0,8033	F51(0,421274); F56(0,490785)	-6,666667	5,333333	0	4	-0,720371	15,27963	1,958937	0	9,958937	8,489542	0	43,15954
F11	0,6846	F51(0,614250); F53(0,372954); F56(0,025593)	-3	8	0	6	0	16	3,685722	0	11,68572	16,456748	0	52,17675
F12	0,8151	F51(0,426616); F56(0,480101)	-6,666667	5,333333	0	4	-0,830955	15,16905	1,814696	0	9,814696	8,01869	0	43,36869
F13	0,60296	F51(0,502748); F53(0,413438)	-8,670507	7,329493	-2,50288	5,49712	0	14,5	4,609384	0	11,60938	17,140323	0	43,17032
F14	0,66414	F51(0,753707); F53(0,307791)	-4,508021	8,491979	-5,631015	6,368985	0	16,6	3,53993	0	10,53993	20,880532	0	62,17053

F15	0,66101	F51(0,741818); F53(0,312764)	-3,563342	8,436658	-5,672507	6,327493	0	16,5	3,589906	0	10,58991	20,770168	0	61,27017
F16	0,6523	F51(0,460332); F53(0,452849)	-4,694549	7,305451	-3,520911	5,479089	0	14,5	4,264345	0	12,26435	13,955068	0	40,13507
F17	0,62094	F51(0,564424); F53(0,457347)	-8,825832	8,174168	-7,869374	6,130626	0	16,16667	4,883751	0	12,88375	18,350693	0	48,41069
F18	0,61694	F51(0,410629); F53(0,569881)	-3,155919	7,844081	-5,116939	5,883061	0	15,66667	5,59053	0	14,59053	14,237216	0	37,15722
F19	0,93168	F51(0,068579); F55(0,001369); F56(0,171061); F75(0,763018)	0	2	0	4	0	17,5	0,733328	0	10,73333	2,095119	0	30,66512
F20	0,56985	F51(0,702496); F53(0,318936)	-0,828545	8,171455	-2,871409	6,128591	0	16	4,529075	0	10,52908	25,038239	0	58,20824
F21	0,56478	F51(0,609846); F53(0,344293)	-1,366889	7,633111	-6,275167	5,724833	0	15	4,623676	0	10,62368	22,232174	0	51,08217
F22	0,57013	F51(0,702831); F53(0,318625)	-7,828355	8,171645	-0,871266	6,128734	0	16	4,523898	0	10,5239	25,032234	0	58,23223
F23	0,61202	F51(0,379222); F53(0,507970)	-6,902465	7,097535	-4,676849	5,323151	0	14,16667	5,071452	0	13,07145	13,255508	0	34,16551
F24	0,70868	F51(0,724485); F53(0,256135); F56(0,038761)	-11	8	0	6	0	16	2,877564	0	9,877564	17,540809	0	60,21081
F25	0,70117	F51(0,579210); F53(0,322151)	-8,789112	7,210888	-2,591834	5,408166	0	14,16667	2,983377	0	9,983377	14,486426	0	48,47643
F26	1	F26(1,000000)	0	1	0	8	0	14,16667	0	0	7	0	0	31,59
F27	0,64989	F51(0,370862); F53(0,475251)	-3,23109	6,76891	-2,923318	5,076682	0	13,5	4,30984	0	12,30984	11,636568	0	33,23657
F28	0,66763	F51(0,374354); F53(0,527675)	-2,783767	7,216233	-2,587825	5,412175	0	14,41667	4,480625	0	13,48063	11,281217	0	33,94122
F29	0,63656	F51(0,570486); F53(0,441593)	-9,903368	8,096632	-0,927526	6,072474	0	16	4,567473	0	12,56747	17,721794	0	48,76179
F30	0,64654	F51(0,639951); F53(0,346685)	-4,10691	7,89309	-6,080183	5,919817	0	15,5	3,82683	0	10,82683	18,904539	0	53,48454
F31	0,63863	F51(0,739881); F53(0,258896)	-3,009784	7,990216	-8,007338	5,992662	0	15,58333	3,395114	0	9,395114	21,926776	0	60,67678

F32	0,64567	F51(0,474450); F53(0,525765)	-5,998288	8,001712	-1,998716	6,001284	0	15,91667	4,939067	0	13,93907	14,828176	0	41,84818
F33	0,63326	F51(0,825452); F53(0,171290)	-4,026059	7,973941	-8,019545	5,980455	0	15,45	2,895646	0	7,895646	24,473999	0	66,734
F34	0,55482	F51(0,611925); F53(0,352483)	-5,284739	7,715261	-5,213554	5,786446	0	15,16667	4,81425	0	10,81425	22,843616	0	51,31362
F35	0,62949	F51(0,485901); F53(0,322816)	-5,530258	6,469742	-7,147694	4,852306	0	12,75	3,531466	0	9,531466	15,226504	0	41,0965
F36	0,85352	F51(0,586153); F53(0,146756); F56(0,200849)	-17,333333	6,666667	0	5	0	15	1,372579	0	9,372579	7,559967	0	51,60997
F37	0,57695	F51(0,710890); F53(0,311137)	-1,823787	8,176213	-9,86784	6,13216	0	16	4,399456	0	10,39946	24,878926	0	58,80893
F38	0,66145	F51(0,390476); F53(0,251731); F56(0,382253)	-19,333333	6,666667	0	5	0	17	4,606506	0	13,60651	13,747861	0	40,60786
F39	0,75982	F51(0,295360); F53(0,019764); F56(0,703086)	-19,666667	5,333333	0	4	0	17,5	3,160981	0	13,16098	9,030923	0	37,60092
F40	0,59667	F51(0,733148); F53(0,290456)	-5,811171	8,188829	-1,858379	6,141621	0	16	4,05577	0	10,05577	24,361657	0	60,40166
F41	0,7824	F51(0,531264); F53(0,402125)	-4,532887	7,467113	-4,399665	5,600335	0	14,75	2,503075	0	11,50308	9,864898	0	45,3349
F42	0,68216	F51(0,701080); F53(0,280938); F56(0,035965)	-13	8	0	6	0	16	3,261469	0	10,26147	18,595032	0	58,50503
F43	0,71943	F51(0,801008); F53(0,197039)	-11,01562	7,984377	-2,011717	5,988283	0	15,5	2,339906	0	8,339906	18,239568	0	65,00957
F44	0,7115	F51(0,852669); F53(0,189524)	-14,66246	8,337545	-0,746841	6,253159	0	16,16667	2,432878	0	8,432878	19,917158	0	69,03716
F45	0,70493	F51(0,892707); F53(0,248477)	-12,87053	9,129469	-0,152898	6,847102	0	17,75	2,930027	0	9,930027	21,447794	0	72,68779
F46	0,6757	F51(0,886519); F53(0,269408)	-11,75258	9,24742	-0,064435	6,935565	0	18	3,359579	0	10,35958	23,469057	0	72,36906
F47	0,57716	F51(0,476353); F53(0,443024)	-9,644982	7,355018	-2,483737	5,516263	0	14,58333	5,128299	0	12,1283	17,472846	0	41,32285

F48	0,63368	F51(0,749545); F53(0,260038)	-5,923335	8,076665	-4,942501	6,057499	0	15,75	3,468566	0	9,468566	22,510992	0	61,45099
F49	0,60221	F51(0,710294); F53(0,291447)	-10,98607	8,013932	-1,989551	6,010449	0	15,66667	3,963315	0	9,963315	23,310895	0	58,6009
F50	0,63815	F51(0,604776); F53(0,361150)	-10,2726	7,727403	-2,204448	5,795552	0	15,2	3,96917	0	10,96917	18,388598	0	50,8186
F51	1	F51(1,000000)	0	8	0	6	0	15,3	0	0	5	0	0	79,15
F52	0,84383	F51(0,079342); F53(0,750234); F55(0,121131)	0	7	-0,963322	7,036678	0	15,23333	2,961086	0	18,96109	2,165294	0	13,86529
F53	1	F53(1,000000)	0	8	0	6	0	16,46667	0	0	22	0	0	8,17
F54	0,86716	F51(0,044828); F53(0,921792); F55(0,067797); F56(0,015912)	0	8	0	7	0	17,08333	2,910704	0	21,9107	1,622334	0	12,21233
F55	1	F55(1,000000)	0	3	0	17	0	13,75	0	0	17	0	0	12,02
F56	1	F56(1,000000)	0	4	0	3	0	18	0	0	16	0	0	20
F57	0,55157	F51(0,451482); F53(0,178549); F56(0,406605)	-23,33333	6,666667	0	5	0	17,16667	5,69117	0	12,69117	20,325609	0	45,32561
F58	0,66359	F51(0,542600); F53(0,356168)	-15,80986	7,190137	-0,607397	5,392503	0	14,16667	3,548686	0	10,54869	15,426643	0	45,85664
F59	0,66117	F51(0,635539); F53(0,043225); F56(0,309137)	-23,33333	6,666667	0	5	0	16	3,074853	0	9,074853	19,258827	0	56,83883
F60	0,63173	F51(0,536990); F53(0,381623)	-8,651099	7,348901	-2,488324	5,511676	0	14,5	4,080649	0	11,08065	16,800614	0	45,62061
F61	0,82813	F51(0,150390); F53(0,715511); F55(0,024263)	0	7	-3,392128	5,607872	0	14,41667	2,905662	0	16,90566	3,100756	0	18,04076
F62	0,65073	F51(0,687725); F53(0,332661)	-8,836917	8,163083	-1,877688	6,122312	0	16	3,757158	0	10,75716	19,961245	0	57,15125
F63	0,61896	F51(0,651961); F53(0,365890)	-7,857188	8,142812	-1,892891	6,107109	0	16	4,309393	0	11,30939	20,802053	0	54,59205
F64	0,63663	F51(0,701132); F53(0,340446)	-12,66738	8,332625	-0,750531	6,249469	0	16,33333	3,995478	0	10,99548	21,176033	0	58,27603

F65	0,66083	F51(0,320658); F53(0,056947); F56(0,578122)	-20,66667	5,333333	0	4	0	16,25	4,106085	0	12,10609	12,687802	0	37,4078
F66	0,59519	F51(0,598064); F53(0,245929)	-10,24806	6,751939	-4,936046	5,063954	0	13,2	3,400747	0	8,400747	19,975989	0	49,34599
F67	0,66218	F51(0,681945); F53(0,188233)	-10,03857	6,961427	-4,77893	5,22107	0	13,53333	2,55085	0	7,55085	18,753848	0	55,51385
F68	0,72346	F51(0,627864); F53(0,359940)	-2,097567	7,902433	-6,073175	5,926825	0	15,53333	3,058008	0	11,05801	14,55612	0	52,63612
F69	0,7294	F51(0,540377); F53(0,562686)	-1,175495	8,824505	-1,381621	6,618379	0	17,53333	4,08098	0	15,08098	12,817987	0	47,36799
F70	0,6829	F51(0,584231); F53(0,466271)	-2,595982	8,404018	-3,696987	6,303013	0	16,61667	4,179115	0	13,17912	15,871349	0	50,05135
F71	0,70844	F51(0,598259); F53(0,377326)	-3,195319	7,804681	-6,146489	5,853511	0	15,36667	3,292466	0	11,29247	14,704975	0	50,43498
F72	0,68696	F51(0,713252); F53(0,255240); F56(0,063016)	-19	8	0	6	0	16,25	3,189796	0	10,1898	18,719545	0	59,79955
F73	0,68239	F51(0,538621); F53(0,410472)	-8,40726	7,59274	-2,305445	5,694555	0	15	3,723486	0	11,72349	14,605375	0	45,98538
F74	0,64279	F51(0,498869); F53(0,230721); F56(0,207487)	-17,33333	6,666667	0	5	0	15,16667	3,89	0	10,89	16,260199	0	45,5202
F75	1	F75(1,000000)	0	1	0	4	0	17,5	0	0	10	0	0	28,57
F76	0,56869	F51(0,637697); F53(0,414569)	-0,581872	8,418128	-8,686404	6,313596	0	16,58333	5,30901	0	12,30901	23,230711	0	53,86071
F77	0,56186	F51(0,626566); F53(0,423900)	-3,596279	8,403721	-5,697209	6,302791	0	16,56667	5,45862	0	12,45862	23,245922	0	53,05592
F78	0,65234	F51(0,576422); F53(0,417307); F56(0,012542)	-15	8	0	6	0	15,91667	4,26353	0	12,26353	17,134061	0	49,28406
F79	0,62711	F51(0,536587); F53(0,457908)	-14,04404	7,95596	-0,03303	5,96697	0	15,75	4,756919	0	12,75692	17,231938	0	46,21194
F80	0,75982	F51(0,295360); F53(0,019764); F56(0,703086)	-1,666667	5,333333	0	4	0	17,5	3,160981	0	13,16098	9,030923	0	37,60092

F81	0,59295	F51(0,548798); F53(0,335226)	-14,92781	7,072193	-2,695855	5,304145	0	13,91667	4,11896	0	10,11896	18,796186	0	46,17619
F82	0,9299	F51(0,483589); F53(0,330026)	-1,491083	6,508917	-6,118312	4,881688	0	12,83333	0,678511	0	9,678511	2,872365	0	40,97237
F83	0,65986	F51(0,707012); F56(0,252643)	-20,33333	6,666667	0	5	-0,718474	15,36486	2,577352	0	7,577352	20,752839	0	61,01284
F84	0,57617	F51(0,822370); F53(0,207555)	-9,7606	8,2394	-2,82045	6,17955	0	16	3,678057	0	8,678057	28,306325	0	66,78633
F85	0,56396	F51(0,695377); F53(0,325551)	-7,83258	8,16742	-2,87435	6,125565	0	16	4,638998	0	10,639	25,158831	0	57,69883
F86	0,6801	F51(0,453464); F53(0,106154); F55(0,507684)	0	6	-6,011657	11,98834	0	15,66667	4,233346	0	13,23335	13,711336	0	42,86134
F87	0,60481	F51(0,686306); F53(0,159370); F55(0,078199)	0	7	-14,59657	6,403434	0	14,2	3,267042	0	8,267042	22,353103	0	56,5631
F88	0,56709	F51(0,709211); F53(0,227099); F56(0,127380)	-10	8	0	6	0	16,88333	4,580316	0	10,58032	26,207042	0	60,53704
F89	0,59311	F51(0,736990); F53(0,198513); F56(0,128992)	-17	8	0	6	0	16,86667	4,116122	0	10,11612	25,444493	0	62,53449
F90	0,8628	F51(0,154573); F53(0,807796)	-0,301052	7,698948	-8,225789	5,774211	0	15,66667	2,54437	0	18,54437	2,584126	0	18,83413
F91	0,86316	F51(0,169497); F53(0,804051)	-0,211621	7,788379	-8,158716	5,841284	0	15,83333	2,536595	0	18,5366	2,734767	0	19,98477
F92	0,70957	F51(0,414009); F53(0,546498)	-2,315946	7,684054	-4,23696	5,76304	0	15,33333	4,092996	0	14,093	10,813694	0	37,23369
F93	0,82069	F51(0,174913); F53(0,285282); F55(0,439481)	0	5	-4,767662	10,23234	0	13,41667	2,621931	0	14,62193	3,847684	0	21,45768

Análisis DEA – Modelo VRS - Salidas

Resultados – Resumen

Propiedad	Valor
Tipo de modelo	Modelo envolvente
Número de DMU	93
Número de entradas	3
Número de salidas	2
Distancia	Radial
Orientación	Salidas-orientado
Retorno a escala	Variable
Cálculo slack	1 escenario
Tiempo transcurrido	3 segundos

DMU	Score	Benchmark (Lambda)	Slack Movement (Input1)	Projection (Input1)	Slack Movement (Input2)	Projection (Input2)	Slack Movement (Input3)	Projection (Input3)	Proportionate Movement (Output1)	Slack Movement (Output1)	Projection (Output1)	Proportionate Movement (Output2)	Slack Movement (Output2)	Projection (Output2)
F1	0,660	F36(0,333664); F51(0,344140); F53(0,255463); F82(0,066733)	-8,661373	13,33863	0	6	0	15,33333	3,610796	0	10,6108	15,846236	0	46,56624
F2	0,578	F51(0,444195); F53(0,121369); F55(0,262253); F56(0,172184)	0	6	-11,6318	8,368234	0	15,5	5,104322	0	12,10432	18,025549	0	42,74555
F3	0,654	F51(0,664698); F53(0,335302)	-6	8	-4	6	-0,058814	15,69119	3,700134	0	10,70013	19,140264	0	55,35026
F4	0,585	F51(0,590506); F53(0,409494)	-3	8	-4	6	-0,222257	15,77774	4,961402	0	11,9614	20,774099	0	50,0841
F5	0,665	F51(0,530424); F53(0,280188); F55(0,189388)	-9,946942	7,053058	-0,91673	8,083273	0	15,33333	4,035849	0	12,03585	15,608645	0	46,54865
F6	0,827	F51(0,207094); F55(0,007507); F56(0,511776); F75(0,273623)	0	4	0	4	-0,227869	17,27213	2,087734	0	12,08773	5,964656	0	34,53466
F7	0,663	F51(0,673144); F53(0,326856)	-10	8	-2	6	-0,152001	15,68133	3,556556	0	10,55656	18,849745	0	55,94975
F8	0,694	F36(0,362351); F51(0,347351); F53(0,217827); F82(0,072470)	-7,202383	13,79762	0	6	0	15,26667	3,079998	0	10,08	14,665192	0	47,99519
F9	0,693	F51(0,757892); F53(0,150405); F55(0,091703)	-3,458513	7,541487	-6,99127	7,008729	0	15,33333	2,657317	0	8,657317	19,128253	0	62,31825
F10	1,000	F12(1,000000)	0	12	0	4	0	16	0	0	8	0	0,68	35,35
F11	0,691	F51(0,613133); F53(0,386867)	-3	8	0	6	-0,248655	15,75135	3,576744	0	11,57674	15,970161	0	51,69016
F12	1,000	F12(1,000000)	0	12	0	4	0	16	0	0	8	0	0	35,35

F13	0,634	F36(0,112420); F51(0,228651); F53(0,236445); F82(0,422484)	-6,201283	9,798717	0	8	0	0	14,5	4,046768	0	11,04677	15,048198	0	41,0782
F14	0,705	F51(0,710041); F53(0,289959)	-5	8	-6	6	-0,961714	15,63829	2,929304	0	9,29304	17,278707	0	58,56871	
F15	0,697	F51(0,703423); F53(0,296577)	-4	8	-6	6	-0,853994	15,64601	3,041802	0	10,0418	17,598995	0	58,099	
F16	0,669	F51(0,271006); F53(0,249412); F55(0,100349); F82(0,379233)	-4,501744	7,498256	0	9	0	14,5	3,961128	0	11,96113	12,96279	0	39,14279	
F17	0,634	F51(0,552398); F53(0,447602)	-9	8	-8	6	-0,344464	15,8222	4,609236	0	12,60924	17,319203	0	47,3792	
F18	0,618	F51(0,401051); F53(0,476701); F55(0,122248)	-3,611241	7,388759	-3,65527	7,344731	0	15,66667	5,570899	0	14,5709	14,187224	0	37,10722	
F19	0,935	F51(0,069031); F55(0,002502); F56(0,170592); F75(0,757874)	0	2	0	4	-0,075956	17,42404	0,695911	0	10,69591	1,988219	0	30,55822	
F20	0,582	F51(0,687756); F53(0,312244)	-1	8	-3	6	-0,335715	15,66429	4,308152	0	10,30815	23,816903	0	56,9869	
F21	0,567	F51(0,586565); F53(0,125457); F55(0,287978)	-2,439892	6,560108	-2,83224	9,167762	0	15	4,588508	0	10,58851	22,063078	0	50,91308	
F22	0,582	F51(0,688068); F53(0,311932)	-8	8	-1	6	-0,336079	15,66392	4,302844	0	10,30284	23,809068	0	57,00907	
F23	0,632	F51(0,141087); F53(0,234312); F55(0,146166); F82(0,478435)	-6,730829	7,269171	0	10	0	14,16667	4,651037	0	12,65104	12,156647	0	33,06665	
F24	0,719	F51(0,721252); F53(0,278748)	-11	8	0	6	-0,374794	15,62521	2,73872	0	9,73872	16,694452	0	59,36445	

F25	0,771	F36(0,300811); F51(0,160189); F53(0,078837); F82(0,460162)	-3,187021	12,81298	0	8	0	0	14,16667	2,083317	0	9,083317	10,115993	0	44,10599
F26	1,000	F26(1,000000)	0	1	0	8	0	0	14,16667	0	0	7	0	0	31,59
F27	1,000	F27(1,000000)	0	10	0	8	0	0	13,5	0	0	8	0	0	21,6
F28	0,744	F27(0,183420); F36(0,102073); F51(0,081610); F53(0,285851); F82(0,347047)	0	10	0	8	0	0	14,41667	3,104125	0	12,10413	7,815496	0	30,4755
F29	0,644	F51(0,563678); F53(0,436322)	-10	8	-1	6	-0,190957	15,80904	4,417482	4,417482	0	12,41748	17,139831	0	48,17983
F30	0,647	F51(0,633157); F53(0,282922); F55(0,083920)	-4,419601	7,580399	-5,07688	6,923121	0	15,5	3,816723	3,816723	0	10,81672	18,854609	0	53,43461
F31	0,639	F51(0,739251); F53(0,253065); F55(0,007684)	-3,038418	7,961582	-7,91548	6,08452	0	15,58333	3,394315	3,394315	0	9,394315	21,921618	0	60,67162
F32	0,646	F51(0,474348); F53(0,525652)	-6	8	-2	6	-0,003406	15,91326	4,936084	4,936084	0	13,93608	14,819221	0	41,83922
F33	0,633	F51(0,823752); F53(0,155773); F55(0,020475)	-4,102373	7,897627	-7,77478	6,22522	0	15,45	2,893842	2,893842	0	7,893842	24,45875	0	66,71875
F34	0,556	F51(0,593869); F53(0,182639); F55(0,223492)	-6,11746	6,88254	-2,54159	8,458412	0	15,16667	4,786773	4,786773	0	10,78677	22,713239	0	51,18324
F35	1,000	F35(1,000000)	0	12	0	12	0	12,75	0	0	0	6	0	0	25,87
F36	1,000	F36(1,000000)	0	24	0	5	0	15	0	0	0	8	0	0	44,05
F37	0,590	F51(0,695569); F53(0,304431)	-2	8	-10	6	-0,34483	15,65517	4,175328	4,175328	0	10,17533	23,611482	0	57,54148
F38	0,674	F51(0,390875); F53(0,275792); F56(0,333333)	-19,33333	6,666667	0	5	-0,478243	16,52176	4,355127	4,355127	0	13,35513	12,997634	0	39,85763

F39	0,771	F51(0,295856); F53(0,037477); F56(0,666667)	-19,66667	5,333333	0	4	-0,356277	17,14372	2,970442	0	12,97044	8,486552	0	37,05655
F40	0,611	F51(0,716242); F53(0,283758)	-6	8	-2	6	-0,368949	15,63105	3,823891	0	9,823891	22,968837	0	59,00884
F41	0,789	F51(0,468242); F53(0,126617); F55(0,329049); F82(0,076092)	-5,645246	6,354754	0	10	0	14,75	2,405441	0	11,40544	9,480109	0	44,95011
F42	0,691	F51(0,698383); F53(0,301617)	-13	8	0	6	-0,348113	15,65189	3,127496	0	10,1275	17,831196	0	57,7412
F43	0,720	F51(0,799992); F53(0,187735); F55(0,012273)	-11,06137	7,938633	-1,86499	6,135007	0	15,5	2,338767	0	8,338767	18,230692	0	65,00069
F44	0,742	F51(0,818149); F53(0,181851)	-15	8	-1	6	-0,654507	15,51216	2,091473	0	8,091473	17,122191	0	66,24219
F45	0,804	F51(0,782264); F53(0,217736)	-14	8	-1	6	-2,195974	15,55403	1,701515	0	8,701515	12,455088	0	63,69509
F46	0,781	F51(0,766933); F53(0,233067)	-13	8	-1	6	-2,428089	15,57191	1,962136	0	8,962136	13,706919	0	62,60692
F47	0,601	F36(0,072346); F51(0,232560); F53(0,280624); F82(0,414469)	-7,842457	9,157543	0	8	0	14,58333	4,645527	0	11,64553	15,827974	0	39,67797
F48	0,640	F51(0,742430); F53(0,257570)	-6	8	-5	6	-0,149502	15,6005	3,378688	0	9,378688	21,927688	0	60,86769
F49	0,603	F51(0,709059); F53(0,290941)	-11	8	-2	6	-0,027236	15,63943	3,945994	0	9,945994	23,209021	0	58,49902
F50	0,641	F51(0,569931); F53(0,223733); F55(0,161387); F82(0,044948)	-10,80694	7,193064	0	8	0	15,2	3,919906	0	10,91991	18,160364	0	50,59036
F51	1,000	F51(1,000000)	0	8	0	6	0	15,3	0	0	5	0	0	79,15

F52	0,932	F26(0,101449); F53(0,608696); F55(0,057971); F82(0,231884)	0	7	0	8	0	8	0	0	15,23333	1,173913	0	17,17391	0,858424	5,150996	17,70942
F53	1,000	F53(1,000000)	0	8	0	6	0	6	0	16,46667	0	0	0	22	0	0	8,17
F54	0,899	F51(0,050862); F53(0,949138)	0	8	-1	6	-0,676006	6	-0,676006	16,40733	2,135348	0	21,13535	1,190176	0	0	11,78018
F55	1,000	F55(1,000000)	0	3	0	17	0	17	0	13,75	0	0	0	17	0	0	12,02
F56	1,000	F56(1,000000)	0	4	0	3	0	3	0	18	0	0	0	16	0	0	20
F57	0,567	F51(0,450401); F53(0,216266); F56(0,333333)	-23,33333	6,666667	0	5	-0,714357	5	-0,714357	16,45231	5,343183	0	12,34318	19,082796	0	0	44,0828
F58	1,000	F58(1,000000)	0	23	0	6	0	6	0	14,16667	0	0	0	7	0	0	30,43
F59	0,679	F36(0,183613); F51(0,526827); F53(0,017431); F56(0,272129)	-20,1507	9,849297	0	5	0	5	0	16	2,840582	0	8,840582	17,79151	0	0	55,37151
F60	0,660	F36(0,083980); F51(0,282118); F53(0,217106); F82(0,416796)	-6,656319	9,343681	0	8	0	8	0	14,5	3,609933	0	10,60993	14,862611	0	0	43,68261
F61	0,993	F26(0,112380); F53(0,383775); F55(0,042669); F82(0,461177)	0	7	0	9	0	9	0	14,41667	0,105659	0	14,10566	0,112754	9,716484	24,76924	
F62	0,664	F51(0,673985); F53(0,326015)	-9	8	-2	6	-0,319649	6	-0,319649	15,68035	3,542251	0	10,54225	18,819473	0	0	56,00947
F63	0,630	F51(0,640527); F53(0,359473)	-8	8	-2	6	-0,280615	6	-0,280615	15,71939	4,111044	0	11,11104	19,844595	0	0	53,6346
F64	0,663	F51(0,673144); F53(0,326856)	-13	8	-1	6	-0,652001	6	-0,652001	15,68133	3,556556	0	10,55656	18,849745	0	0	55,94975
F65	0,800	F12(0,500000); F36(0,250000); F56(0,250000)	-13	13	0	4	0	4	0	16,25	2	0	10	6,18	2,7875	33,6875	

F66	0,719	F51(0,088235); F58(0,111765); F82(0,800000)	-7,323529	9,676471	0	10	0	13,2	1,955899	1,466631	8,423529	11,494824	0	40,86482
F67	0,739	F51(0,283784); F82(0,716216)	-9	8	-0,41892	9,581081	0	13,53333	1,766774	1,098091	7,864865	12,989324	0	49,74932
F68	0,724	F51(0,621676); F53(0,301743); F55(0,076581)	-2,382905	7,617095	-5,15761	6,842391	0	15,53333	3,048608	0	11,04861	14,511376	0	52,59138
F69	0,805	F51(0,483888); F53(0,510112)	-2	8	-2	6	-1,638202	15,89513	2,67191	0	13,67191	8,392226	0	42,94223
F70	0,717	F51(0,556145); F53(0,443855)	-3	8	-4	6	-0,798836	15,81783	3,545537	0	12,54554	13,465163	0	47,64516
F71	0,710	F51(0,585912); F53(0,260798); F55(0,153289)	-3,766446	7,233554	-4,31382	7,686181	0	15,36667	3,273043	0	11,27304	14,618228	0	50,34823
F72	0,703	F51(0,708296); F53(0,291704)	-19	8	0	6	-0,609679	15,64032	2,958962	0	9,958962	17,364877	0	58,44488
F73	0,691	F51(0,438365); F53(0,274910); F55(0,094395); F82(0,192330)	-8,471976	7,528024	0	8	0	15	3,575527	0	11,57553	14,025004	0	45,405
F74	0,777	F36(0,315730); F53(0,056180); F56(0,028090)	-1,460674	22,53933	0	5	0	15,16667	2,011236	0	9,011236	8,406966	3,691742	41,35871
F75	1,000	F75(1,000000)	0	1	0	4	0	17,5	0	0	10	0	0	28,57
F76	0,598	F51(0,606022); F53(0,393978)	-1	8	-9	6	-0,823693	15,75964	4,697623	0	11,69762	20,555455	0	51,18546
F77	0,590	F51(0,596465); F53(0,403535)	-4	8	-6	6	-0,795876	15,77079	4,860098	0	11,8601	20,697074	0	50,50707
F78	0,655	F51(0,576046); F53(0,423954)	-15	8	0	6	-0,122054	15,79461	4,207217	0	12,20722	16,907751	0	49,05775
F79	0,635	F36(0,067290); F51(0,487781); F53(0,431471); F82(0,013458)	-12,92337	9,076635	0	6	0	15,75	4,590712	0	12,59071	16,629855	0	45,60986
F80	0,771	F51(0,295856); F53(0,037477); F56(0,666667)	-1,666667	5,333333	0	4	-0,356277	17,14372	2,970442	0	12,97044	8,486552	0	37,05655

F81	0,692	F36(0,426507); F53(0,018107); F58(0,070084); F82(0,485301)	-6,124618	15,87538	0	8	0	0	0	13,91667	2,668714	0	8,668714	12,178231	0	39,55823
F82	1,000	F82(1,000000)	0	8	0	11	0	0	12,83333	0	0	0	9	0	0	38,1
F83	0,683	F12(0,106061); F51(0,631313); F56(0,262626)	-19,62626	7,373737	0	5	0	16,08333	0,883399	8,207071	18,710202	0	8,207071	18,710202	0	58,9702
F84	0,593	F51(0,798476); F53(0,201524)	-10	8	-3	6	-0,464888	15,53511	3,425911	8,425911	26,365813	0	8,425911	26,365813	0	64,84581
F85	0,576	F51(0,681123); F53(0,318877)	-8	8	-3	6	-0,327976	15,67202	4,20914	10,42091	23,97609	0	10,42091	23,97609	0	56,51609
F86	0,715	F51(0,411897); F53(0,146707); F55(0,234415); F56(0,206982)	0	6	-10,0424	7,957614	0	15,66667	3,583794	12,58379	11,607511	0	12,58379	11,607511	0	40,75751
F87	0,631	F26(0,057337); F51(0,478567); F55(0,119728); F82(0,344367)	0	7	-11,8465	9,153522	0	14,2	2,928883	7,928883	20,039417	0	7,928883	20,039417	0	54,24942
F88	0,594	F51(0,699601); F53(0,300399)	-10	8	0	6	-1,232868	15,65047	4,106787	10,10679	23,497664	0	10,10679	23,497664	0	57,82766
F89	0,621	F51(0,726006); F53(0,273994)	-17	8	0	6	-1,247007	15,61966	3,657898	9,657898	22,611906	0	9,657898	22,611906	0	59,70191
F90	0,865	F51(0,136766); F53(0,627489); F55(0,235745)	-1,178724	6,821276	-5,40681	8,593192	0	15,66667	2,496256	18,49626	2,53526	0	18,49626	2,53526	0	18,78526
F91	0,865	F51(0,156955); F53(0,677320); F55(0,165725)	-0,828624	7,171376	-6,17703	7,822974	0	15,83333	2,503142	18,50314	2,6987	0	18,50314	2,6987	0	19,9487
F92	0,712	F51(0,394565); F53(0,357702); F55(0,247733)	-3,238665	6,761335	-1,27494	8,725063	0	15,33333	4,063736	14,05374	10,709971	0	14,05374	10,709971	0	37,12997
F93	0,852	F55(0,636364); F82(0,363636)	-0,181818	4,818182	-0,18182	14,81818	0	13,41667	2,090909	14,09091	3,068409	0	14,09091	3,068409	0,825227	21,50364

Análisis DEA – Eficiencia de escala (CRS & VRS)

Resultados – Resumen

Propiedad	Valor
Tipo de modelo	Modelo envolvente
Número de DMU	93
Número de entradas	3
Número de salidas	2
Distancia	Radial
Orientación	Salida-orientado
Retorno a escala	Eficiencia de escala (CRS & VRS)
Cálculo slack	1 escenario
Tiempo transcurrido	7 segundos

DMU	Technical Efficiency	Pure Technical Efficiency	Scale Efficiency	RTS
F1	0,615927	0,659705	0,93364	Increasing
F2	0,554443	0,578306	0,958737	Decreasing
F3	0,651754	0,654197	0,996266	Decreasing
F4	0,577086	0,585216	0,986109	Decreasing
F5	0,663265	0,664681	0,99787	Increasing
F6	0,819673	0,827285	0,990799	Decreasing
F7	0,656729	0,663095	0,9904	Decreasing
F8	0,644181	0,694445	0,92762	Increasing
F9	0,692341	0,693055	0,998969	Increasing
F10	0,803299	1	0,803299	Increasing
F11	0,684596	0,691041	0,990674	Decreasing
F12	0,815104	1	0,815104	Increasing
F13	0,602961	0,633669	0,951538	Increasing
F14	0,664141	0,704984	0,942065	Decreasing
F15	0,661007	0,697086	0,948243	Decreasing
F16	0,652297	0,668833	0,975277	Increasing
F17	0,620937	0,634456	0,978693	Decreasing
F18	0,616838	0,617669	0,998655	Increasing
F19	0,931677	0,934937	0,996514	Decreasing
F20	0,569851	0,582064	0,979018	Decreasing
F21	0,564776	0,566652	0,99669	Increasing
F22	0,570131	0,582363	0,978995	Decreasing
F23	0,612021	0,632359	0,967837	Increasing
F24	0,708677	0,71878	0,985943	Decreasing
F25	0,701166	0,770644	0,909844	Increasing
F26	1	1	1	Constant
F27	0,649887	1	0,649887	Increasing
F28	0,667625	0,743548	0,89789	Increasing
F29	0,636564	0,644253	0,988065	Decreasing
F30	0,646542	0,647146	0,999066	Increasing
F31	0,63863	0,638684	0,999915	Increasing
F32	0,645667	0,645806	0,999786	Decreasing
F33	0,63326	0,633405	0,999772	Increasing
F34	0,554824	0,556237	0,997459	Increasing
F35	0,629494	1	0,629494	Increasing
F36	0,853517	1	0,853517	Increasing
F37	0,576953	0,589662	0,978448	Decreasing
F38	0,661448	0,673899	0,981525	Decreasing
F39	0,759822	0,770984	0,985522	Decreasing
F40	0,596672	0,610756	0,976941	Decreasing
F41	0,782399	0,789097	0,991512	Increasing
F42	0,682164	0,691188	0,986944	Decreasing

F43	0,719433	0,719531	0,999863	Increasing
F44	0,711501	0,741521	0,959515	Decreasing
F45	0,704933	0,804458	0,876283	Decreasing
F46	0,675703	0,781064	0,865106	Decreasing
F47	0,577163	0,601089	0,960195	Increasing
F48	0,633676	0,639748	0,990508	Decreasing
F49	0,602209	0,603258	0,998262	Decreasing
F50	0,638152	0,641031	0,995509	Increasing
F51	1	1	1	Constant
F52	0,843834	0,931646	0,905745	Increasing
F53	1	1	1	Constant
F54	0,867156	0,898968	0,964613	Decreasing
F55	1	1	1	Constant
F56	1	1	1	Constant
F57	0,551565	0,567115	0,97258	Decreasing
F58	0,66359	1	0,66359	Increasing
F59	0,661168	0,678688	0,974185	Increasing
F60	0,631732	0,659759	0,957519	Increasing
F61	0,828125	0,992509	0,834375	Increasing
F62	0,650729	0,663995	0,980022	Decreasing
F63	0,618955	0,630004	0,982462	Decreasing
F64	0,636625	0,663095	0,960082	Decreasing
F65	0,660825	0,8	0,826031	Increasing
F66	0,595185	0,718711	0,828129	Increasing
F67	0,662177	0,738905	0,896161	Increasing
F68	0,723458	0,724073	0,99915	Increasing
F69	0,729396	0,804569	0,906566	Decreasing
F70	0,682899	0,717387	0,951926	Decreasing
F71	0,708437	0,709658	0,99828	Increasing
F72	0,686962	0,702885	0,977347	Decreasing
F73	0,682391	0,691113	0,987379	Increasing
F74	0,642792	0,776808	0,827478	Increasing
F75	1	1	1	Constant
F76	0,568689	0,598412	0,95033	Decreasing
F77	0,56186	0,590214	0,951959	Decreasing
F78	0,652341	0,65535	0,995408	Decreasing
F79	0,627111	0,635389	0,986971	Increasing
F80	0,759822	0,770984	0,985522	Decreasing
F81	0,592946	0,692144	0,85668	Increasing
F82	0,929895	1	0,929895	Increasing
F83	0,659861	0,682718	0,966521	Increasing
F84	0,576166	0,593408	0,970944	Decreasing

F85	0,563963	0,575765	0,979501	Decreasing
F86	0,6801	0,715206	0,950916	Decreasing
F87	0,604811	0,630606	0,959095	Increasing
F88	0,567091	0,593661	0,955244	Decreasing
F89	0,593113	0,621253	0,954704	Decreasing
F90	0,862796	0,86504	0,997405	Increasing
F91	0,863157	0,864718	0,998195	Increasing
F92	0,709572	0,711555	0,997214	Increasing
F93	0,820685	0,851613	0,963683	Increasing

ANEXO IV – Resultados Análisis DEA Optimización rutas

DMU	Technical Efficiency Score (CRS)	Pure Technical Efficiency Score (VRS)	Scale Efficiency Score	RTS
F1	0,592913	0,638217	0,929014	Increasing
F2	0,573121	0,594183	0,964554	Decreasing
F3	0,651754	0,654197	0,996266	Decreasing
F4	0,57475	0,582716	0,986329	Decreasing
F5	0,663265	0,664681	0,99787	Increasing
F6	0,819673	0,827285	0,990799	Decreasing
F7	0,656729	0,663095	0,9904	Decreasing
F8	0,637031	0,687691	0,926332	Increasing
F9	0,692341	0,693055	0,998969	Increasing
F10	0,803299	1	0,803299	Increasing
F11	0,684596	0,691041	0,990674	Decreasing
F12	0,815104	1	0,815104	Increasing
F13	0,602961	0,633669	0,951538	Increasing
F14	0,664141	0,704984	0,942065	Decreasing
F15	0,661007	0,697086	0,948243	Decreasing
F16	0,678535	0,697316	0,973066	Increasing
F17	0,620937	0,634456	0,978693	Decreasing
F18	0,616838	0,617669	0,998655	Increasing
F19	0,931677	0,934937	0,996514	Decreasing
F20	0,567327	0,579364	0,979224	Decreasing
F21	0,560191	0,562067	0,996661	Increasing
F22	0,564524	0,576365	0,979455	Decreasing
F23	0,616876	0,637224	0,968068	Increasing
F24	0,708677	0,71878	0,985943	Decreasing
F25	0,693883	0,763621	0,908674	Increasing
F26	1	1	1	Constant
F27	0,649887	1	0,649887	Increasing
F28	0,667625	0,743548	0,89789	Increasing
F29	0,636564	0,644253	0,988065	Decreasing
F30	0,646542	0,647146	0,999066	Increasing
F31	0,63863	0,638684	0,999915	Increasing
F32	0,645667	0,645806	0,999786	Decreasing
F33	0,63326	0,633405	0,999772	Increasing
F34	0,551176	0,552593	0,997436	Increasing
F35	0,6275	1	0,6275	Increasing

F36	0,853517	1	0,853517	Increasing
F37	0,614375	0,625105	0,982835	Decreasing
F38	0,661448	0,673899	0,981525	Decreasing
F39	0,759822	0,770984	0,985522	Decreasing
F40	0,596672	0,610756	0,976941	Decreasing
F41	0,782399	0,789097	0,991512	Increasing
F42	0,682164	0,691188	0,986944	Decreasing
F43	0,719433	0,719531	0,999863	Increasing
F44	0,711501	0,741521	0,959515	Decreasing
F45	0,704933	0,804458	0,876283	Decreasing
F46	0,675703	0,781064	0,865106	Decreasing
F47	0,608274	0,641068	0,948845	Increasing
F48	0,633676	0,639748	0,990508	Decreasing
F49	0,602209	0,603258	0,998262	Decreasing
F50	0,638152	0,641031	0,995509	Increasing
F51	1	1	1	Constant
F52	0,843834	0,931646	0,905745	Increasing
F53	1	1	1	Constant
F54	0,867156	0,898968	0,964613	Decreasing
F55	1	1	1	Constant
F56	1	1	1	Constant
F57	0,549598	0,565023	0,972701	Decreasing
F58	0,662218	1	0,662218	Increasing
F59	0,661168	0,678688	0,974185	Increasing
F60	0,624307	0,653026	0,956021	Increasing
F61	0,828125	0,992509	0,834375	Increasing
F62	0,650729	0,663995	0,980022	Decreasing
F63	0,618955	0,630004	0,982462	Decreasing
F64	0,636625	0,663095	0,960082	Decreasing
F65	0,660825	0,8	0,826031	Increasing
F66	0,595185	0,718967	0,827834	Increasing
F67	0,662177	0,738905	0,896161	Increasing
F68	0,723458	0,724073	0,99915	Increasing
F69	0,729396	0,804569	0,906566	Decreasing
F70	0,682899	0,717387	0,951926	Decreasing
F71	0,708437	0,709658	0,99828	Increasing
F72	0,686962	0,702885	0,977347	Decreasing
F73	0,682391	0,691113	0,987379	Increasing
F74	0,642792	0,776808	0,827478	Increasing
F75	1	1	1	Constant

F76	0,557598	0,586115	0,951346	Decreasing
F77	0,591684	0,61866	0,956396	Decreasing
F78	0,652341	0,65535	0,995408	Decreasing
F79	0,627111	0,635389	0,986971	Increasing
F80	0,759822	0,770984	0,985522	Decreasing
F81	0,636723	0,764128	0,833267	Increasing
F82	0,929895	1	0,929895	Increasing
F83	0,659861	0,682718	0,966521	Increasing
F84	0,57168	0,588609	0,971239	Decreasing
F85	0,559851	0,571366	0,979846	Decreasing
F86	0,6801	0,715206	0,950916	Decreasing
F87	0,604811	0,630606	0,959095	Increasing
F88	0,562163	0,588362	0,955471	Decreasing
F89	0,593113	0,621253	0,954704	Decreasing
F90	0,862796	0,86504	0,997405	Increasing
F91	0,857019	0,858604	0,998154	Increasing
F92	0,709572	0,711555	0,997214	Increasing
F93	0,820685	0,851613	0,963683	Increasing