UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

"MODELADO DE LA EFICIENCIA DE CENTROS DE TRANSFERENCIA MODAL URBANOS"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

LUIS IGNACIO ROMÁN DE LA SANCHA

DIRECTOR DE TESIS:
DR. JUAN MANUEL MAYORAL VILLA

SEPTIEMBRE 2016

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/063/16

UNIVERSIDAD NACIONAL AVENMA DE MEXICO

Señor
LUIS IGNACIO ROMÁN DE LA SANCHA
P r e s e n t e

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. JUAN MANUEL MAYORAL VILLA, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"MODELADO DE LA EFICIENCIA DE CENTROS DE TRANSFERENCIA MODAL URBANOS"

INTRODUCCIÓN
I. ANTECEDENTES
II. CASOS DE ESTUDIO
III. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS CETRAM
IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS
V. CONCLUSIONES
REFERENCIAS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 10 de agosto del 2016.
EL PRESIDENTE

M.I. GERMÁN LÓPEZ RINCÓN

GLR/MTH*gar.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN……..…....1
1.1 Motivo de la tesis…….....2
1.2 Objetivo y alcances……..….....6
1.3 Planteamiento del problema…….....6
1.4 Estructura de la tesis…….…….....7

2 ANTECEDENTES……..…9
2.1 Definición de un CETRAM…….…..10
2.1.1 Desarrollo histórico e importancia de los Centros de Transferencia Modal……....19
2.1.2 Breve descripción de los modos de transporte en la ZMVM……...22
2.1.3 Breve comparación de intercambiadores modales en el mundo…..……....26

2.2 Estado del arte de la eficiencia técnica……30
2.2.1 Métodos frontera para la evaluación de la eficiencia técnica de un conjunto de DMUs…….32
2.2.1. A Métodos paramétricos…….……32
2.2.1. B Métodos no paramétricos…….....33
B. Método DEA……...33
b.1 Modelos en los que se obtiene la eficiencia por proyección radial……36
b.2 Modelos en los que se obtiene la eficiencia utilizando los slacks……..48
2.2.2 Estudios sobre la evaluación de la eficiencia técnica del transporte público urbano……...54

3 CASOS DE ESTUDIO……...57
3.1 CETRAM considerados en la ZMVM…….…..58
3.1.1 Pantitlán……....62
3.1.2 Indios Verdes……....64
3.1.3 Tasqueña……...66
3.1.4 Chapultepec……..68
3.1.5 Cuatro Caminos……....70
3.1.6 El Rosario……72
3.1.7 Universidad……..74
3.1.8 Constitución de 1917……....76
3.1.9 Zaragoza……...78
3.1.10 Ciudad Azteca……..…80
3.1.11 Boulevard Puerto Aéreo……....82
3.1.12 Martín Carrera……...84
3.1.13 Tacuba……..…86
3.1.14 Politécnico…….....88
3.1.15 Zapata……90
3.1.16 La Raza……..…92
3.1.17 Tacubaya…….....94
3.1.18 Observatorio……...96
3.1.19 Miguel Ángel de Quevedo……..…98
3.1.20 Santa Marta……100
3.1.21 San Lázaro……102
3.1.22 Viveros…….…....104
3.1.23 Moctezuma……..…106

4 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS CETRAM……109

4.1 Generación de base de datos……110
4.2 Explicación de las variables……...111
4.3 Definición de la eficiencia técnica, servicio al pasajero y calidad ambiental……119
4.4 Estudio de inputs y outputs usados en otros estudios……122
4.5 Elección y justificación de las variables utilizadas……....124
4.6 Metodología propuesta……..…130

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS……..133
5.1 Aplicación del modelo…..……134
5.2 Eficiencia técnica, social y ambiental de los CETRAM……..……..……...140
5.3 Valor de los slacks de los inputs y outputs (ineficiencias)…….…149
5.4 Recomendaciones para mejorar la eficiencia de los CETRAM…….....153

6 CONCLUSIONES…….....……...163
6.1 Conclusiones…….....……...164
6.2 Aportaciones…….....……167
6.3 Futuras investigaciones.…….....…168

REFERENCIAS…….....…169

ANEXOS…….....……177
Fotos de los CETRAM…….....……...178
Cálculo para obtener la capacidad de un CETRAM…….....……...185
Cálculo para obtener la energía consumida por el transporte público……...……...187
Cálculo para obtener la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) generado por el transporte público…..193
Cálculo para obtener la cantidad de carbono negro (BC) generado por el transporte público……..194
Encuestas realizadas a usuarios respecto al servicio de los CETRAM……..196
Justificación de la inclusión de la variable Estacionamientos (E) en la dimensión social……197
Justificación de la exclusión de la variable (EBC) en la dimensión ambiental……...……198
Mapa de las redes modales existentes en la ZMVM y su interacción con los CETRAM……199
Artículo “Modeling urban transfer stations efficiency”……200

LISTA DE ABREVIATURAS

CDMX	Ciudad de México
CETRAM	Centro(s) de Transferencia Modal
EDO MEX	Estado de México
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
SETRAVI	Secretaría de Transporte y Vialidad
SEMOVI	Secretaría de Movilidad
Cuatro Cam.	Cuatro Caminos
Const. 1917	Constitución de 1917
C. Azteca	Ciudad Azteca
B.P. Aéreo	Boulevard Puerto Aéreo
M. Carrera	Martín Carrera
M.A.Q.	Miguel Ángel de Quevedo
C. Abastos	Central de Abastos
D. 18 Marzo	Deportivo 18 de Marzo
B. Muerto	Barranca del Muerto
PA	Pasajeros atendidos por día
NT	Número de trabajadores
AU	Automatización
HO	Horas de operación
TT	Tiempo de transferencia
MT	Modos de transporte
CV	Capacidad del vehículo
FV	Frecuencia de los vehículos
CC	Capacidad del CETRAM
AT	Área de transferencia
AS	Accesos y salidas vehiculares
E	Cajones de estacionamiento
T	Sitios de taxis
BE	Bici-estacionamiento
NB	Número de bahías
NA	Número de andenes
LB	Longitud de bahías
LA	Longitud de andén
EC	Energía consumida
ECO_2	Emisiones de CO_2
EBC	Emisiones de BC
SS	Satisfacción del servicio
IA	Ingresos anuales
CO_2	Dióxido de carbono
BC	Carbono negro
Pax	Pasajero
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Contraste de la movilidad y la infraestructura del transporte en la ZMVM……..…..2
Figura 1-2. Sistema de transporte multimodal ……..……..……..3
Figura 1-3. Barreras institucionales ……..……..……..4
Figura 2-1. Intercambiador modal con sus principales componentes……..…10
Figura 2-2. Intercambiador modal con sus principales componentes……..…11
Figura 2-3. Mapa de la ZMVM con las alcaldías de la Ciudad de México y los municipios del Estado de México y del Estado de Hidalgo que la conforman.……..……...14
Figura 2-4. Mapa de la ZMVM y la ubicación de los CETRAM……..……...15
Figura 2-5. Ubicación de los 52 CETRAM……..……...19
Figura 2-6. Porcentaje de modos de transporte de los CETRAM……..……21
Figura 2-7. CETRAM por años de inicio de operación……..……..……21
Figura 2-8. Intercambiadores modales del mundo……..……..……....28
Figura 2-9. Intercambiadores modales del mundo……..……..……....29
Figura 2-10. Concepto de ineficiencia……..……..……....31
Figura 2-11. Concepto de eficiencia……..……..……....34
Figura 2-12. Conceptos de eficiencia.……..……..……..….....35
Figura 2-13. Diferencias entre fronteras de eficiencia con modelo CCR y BCC. Representación output-input..……..……..……..…....42
Figura 2-14. Fronteras de eficiencia mediante método DEA. Representaciones input-input y output-output. ..……..……..…....43
Figura 2-15. Proyección radial y presencia de slacks en un DMU. Representación input-input……44
Figura 2-16. Evaluación de la super-eficiencia de un DMU. Representación input-input ……..46
Figura 2-17. Fronteras de eficiencia. Diferencia entre modelos CCR (REC), BCC (REV) y modelo FDH. Representación output-input. ..…… ……..……..…....47
Figura 2-18. Diferencias entre la proyección radial y la proyección basada en slacks del modelo MEA.50
Figura 2-19. Diferencias de proyecciones en modelos CCR-BCC, SBM y CGM. Representación input-input. ..……..……..……..…....53
Figura 2-20. Resumen de modelos DEA estudiados en el estado del arte…….....53
Figura 3-1. CETRAM considerados y no considerados…….....61
Figura 4-1. Automatización en los CETRAM…….……....112
Figura 4-2. Toma del tiempo de transferencia en el CETRAM Tasqueña…….....113
Figura 4-3. Formato utilizado para obtener el tiempo de transferencia…….....114
Figura 4-4. Variación del tiempo de transferencia…….....114
Figura 4-5. Modos de transporte considerados …….....115
Figura 4-6. Recursos implementados para la eficiencia técnica……..….....119
Figura 4-7. Recursos implementados para el servicio al pasajero…….....120
Figura 4-8. Calidad ambiental en los CETRAM…….....121
Figura 4-9. Concepto de sostenibilidad y sus tres dimensiones…….....131
Figura 4-10. Metodología propuesta……..…….....132
Figura 5-1. Software MaxDEA Basic 6.4…….....137
Figura 5-2. Elección de variables en el software MaxDEA 6.4…….....137
Figura 5-3. Elección del modelo SBM…….....137
Figura 5-4. Orientación al input…….....138
Figura 5-5. Escala de rendimiento variable…….....138
Figura 5-6. Resumen de la corrida…….....139
Figura 5-7. Resultados de la corrida…….....139
Figura 5-8. Eficiencia de los CETRAM…….....146
Figura 5-9. Frontera de eficiencia técnica para el Grupo A…….....146
Figura 5-10. Frontera de eficiencia social para el Grupo A…….....147
Figura 5-11. Frontera de eficiencia ambiental para el Grupo A…….....147
Figura 5-12. Frontera de eficiencia técnica para el Grupo B…….....148
Figura 5-13. Frontera de eficiencia social para el Grupo B…….....148
Figura 5-14. Frontera de eficiencia ambiental para el Grupo B…….....149
Figura 5-15. Rendimiento (eficiencia) actual de los CETRAM…….....153
Figura 5-16. Rendimiento (eficiencia) actual de los CETRAM…….....154

Figura 5-17. Rendimiento (eficiencia) actual de los CETRAM…….....154
Figura 5-18. Rendimiento (eficiencia) actual de los CETRAM…….....155
Figura 5-19. Escenario actual y mejorado de los CETRAM Pantitlán y Universidad…….....160
Figura A-1. Redes modales existentes en la ZMVM y su interacción con los CETRAM…….....199

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Zona Metropolitana del Valle de México: Población y tasa de crecimiento…….....12
Tabla 2-2. CETRAM en la ZMVM…….....16
Tabla 2-3. Modos de transporte y movilidad en la ZMVM…….....22
Tabla 2-4. Comparación de intercambiadores modales del mundo…….....26
Tabla 2-5. Definición de términos para el concepto de eficiencia…….....31
Tabla 2-6. Ventajas y desventajas del método DEA…….....36
Tabla 2-7. Resumen de estudios de la eficiencia del transporte público urbano con modelos DEA.....54
Tabla 3-1. CETRAM considerados…….....59
Tabla 3-2. CETRAM no considerados…….....60
Tabla 3-3. Ficha técnica de Pantitlán…….....63
Tabla 3-4. Ficha técnica de Indios Verdes…….....65
Tabla 3-5. Ficha técnica de Tasqueña…….....67
Tabla 3-6. Ficha técnica de Chapultepec…….....69
Tabla 3-7. Ficha técnica de Cuatro Caminos…….....71
Tabla 3-8. Ficha técnica de El Rosario…….....73
Tabla 3-9. Ficha técnica de Universidad…….....75
Tabla 3-10. Ficha técnica de Constitución de 1917…….....77
Tabla 3-11. Ficha técnica de Zaragoza…….....79
Tabla 3-12. Ficha técnica de Ciudad Azteca…….....81
Tabla 3-13. Ficha técnica de Boulevard Puerto Aéreo…….....83
Tabla 3-14. Ficha técnica de Martín Carrera…….....85
Tabla 3-15. Ficha técnica de Tacuba…….....87
Tabla 3-16. Ficha técnica de Politécnico…….....89
Tabla 3-17. Ficha técnica de Zapata…….....91
Tabla 3-18. Ficha técnica de La Raza…….....93
Tabla 3-19. Ficha técnica de Tacubaya…….....95
Tabla 3-20. Ficha técnica de Observatorio…….....97
Tabla 3-21. Ficha técnica de Miguel Ángel de Quevedo…….....99
Tabla 3-22. Ficha técnica de Santa Marta…….....101
Tabla 3-23. Ficha técnica de San Lázaro…….....103
Tabla 3-24. Ficha técnica de Viveros…….....105
Tabla 3-25. Ficha técnica de Moctezuma…….....107
Tabla 4-1. Base de datos generada…….....111
Tabla 4-2. Criterio de automatización…….....112
Tabla 4-3. Capacidad de pasajeros de los modos de transporte…….....116
Tabla 4-4. Frecuencia de vehículos en algunos CETRAM…….....116
Tabla 4-5. Criterio de satisfacción del servicio…….....118
Tabla 4-6. Estudio de inputs y outputs usados con modelos DEA…….....122
Tabla 4-7. Correlación entre variables (valor de R^2)…….....125
Tabla 4-8. Variables para el análisis de la eficiencia…….....127
Tabla 4-9. Base de datos utilizada para el análisis…….....128
Tabla 4-10. Modelos usados de acuerdo a la dimensión evaluada…….....130
Tabla 4-11. Variables del modelo…….....130
Tabla 5-1. Grupo A…….....134
Tabla 5-2. Grupo B…….....134
Tabla 5-3. Variables y base de datos para el análisis de la eficiencia técnica…….....136
Tabla 5-4. Resultados de la eficiencia técnica…….....140
Tabla 5-5. Resultados de la eficiencia social (servicio al pasajero) …….....141
Tabla 5-6. Resultados de la eficiencia ambiental…….....142
Tabla 5-7. Resultados de la eficiencia de las tres dimensiones y benchmarking de DMUs…….....143

Tabla 5-8. Slacks y proyecciones en la dimensión técnica…….....150
Tabla 5-9. Slacks y proyecciones en la dimensión social (servicio al pasajero) …….....151
Tabla 5-10. Slacks y proyecciones en la dimensión ambiental…….....152
Tabla 5-11. Resultados de la eficiencia técnica (inputs y output originales) …….....156
Tabla 5-12. Resultados de la eficiencia técnica (inputs modificados)…….....156
Tabla 5-13. Resultados de la eficiencia social (inputs y outputs originales) …….....157
Tabla 5-14. Resultados de la eficiencia social (inputs y outputs modificados) …….....158
Tabla 5-15. Resultados de la eficiencia ambiental (inputs y output originales) …….....159
Tabla 5-16. Resultados de la eficiencia ambiental (inputs y output modificados) …….....159
Tabla A-1. Cálculo capacidad del CETRAM…….....185
Tabla A-2. Cálculo capacidad del CETRAM…….....186
Tabla A-3. Consumo energético por sector de transporte…….....192
Tabla A-4. Distancia promedio del transporte en la ZMVM…….....193
Tabla A-5. Factores de emisión de CO_2…….....194
Tabla A-6. Emisiones por sector de transporte en la CDMX…….....194
Tabla A-7. Factor del carbono negro…….....194
Tabla A-8. Variable estacionamientos (E) en la dimensión social…….....197
Tabla A-9. Variable emisiones de carbono negro (EBC) en la dimensión ambiental…….....198

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Luis y Leobarda, por su infinito apoyo, amor incondicional, y motivación constante.

A mis hermanos Reynolds y Azucena, por ser los mejores consejeros del mundo, amigos de toda la vida y ejemplos a seguir.

Al Dr. Juan Manuel Mayoral Villa, por ser el mejor guía profesional que pude encontrar, profesionista e investigador ejemplar, amigo personal y hermano político.

A la M.I. Azucena Román de la Sancha, por ser el mejor ejemplo de la profesión a la que aspiro, consejera, hermana y mejor amiga.

A mí amada Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de desarrollarme como un íntegro ser humano y de ser alguien en la vida.

A la Facultad de Ingeniería de la UNAM, por el conocimiento que me brindó, sus prácticas enriquecedoras y por alentarme a dar lo mejor de mí.

A María Elena, por darme tanto amor, estar conmigo y apoyarme en mis sueños y aspiraciones.

A mis amigos “CU”, porque con ellos viví los mejores momentos de la carrera, que son, donde más aprende uno.

A Dios, por estar siempre en mi camino e iluminarme cuando más lo necesité.

Ya sea que podamos lograr la armonía mundial o no, no tenemos mejor alternativa que trabajar hacia esa meta.

Dalai Lama Tenzin Gyatso

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se pone en contexto la situación actual del transporte público y la movilidad en la Zona Metropolitana del Valle de México, se mencionan también los motivos de esta tesis y se plantea el problema que la misma aborda. En el último apartado se expone la estructura de la tesis.

1.1 Motivo de la Tesis

Es bien sabido el gran problema de movilidad que existe en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), pues cada vez más las personas invierten mayor tiempo y dinero en sus traslados, utilicen transporte público o particular. En el 2013, según un estudio realizado por la Secretaria de Transporte y Vialidad del Distrito Federal junto con investigadores de la UNAM[1], en el que se invirtió más de dos millones de dólares, se encontró que la mayoría de las personas tardan en promedio una hora en sus traslados de hogar a trabajo y viceversa. El estudio reveló que el 70% de las personas utilizan el transporte público, generando saturación principalmente en los sistemas Metro y Metrobús. Así mismo la mayoría de las líneas de Metro, Metrobús y Trolebús, que atraviesan la zona centro de la Ciudad de México son las más congestionadas, por ejemplo las Líneas 1,2, 3 y B del Metro, trolebús eje central y Metrobús Línea 1 son superadas en su capacidad, la demanda es mayor que la oferta. Aunado a esto, de los traslados realizados en transporte público, el 55% son en microbuses, vagonetas y autobuses y un 15% en Metro y Metrobús, siendo sólo un 30% de los traslados los realizados en transporte particular. Lo anterior no ha cambiado demasiado en los últimos seis años, pues según la encuesta Origen-Destino 2007 del INEGI el 29% de los viajes (6.3 millones) en la ZMVM eran realizados en automóvil particular, un 61% en transporte público colectivo (microbús, vagonetas, autobús suburbano y taxi) y solo un 8% en sistemas de transporte público masivo (Metro, Metrobús, Tren Ligero y Trolebús), el restante 2% se hacían en bicicleta y motocicleta. Los datos anteriores son totalmente contrastantes con el porcentaje de espacio en la ciudad destinado a la infraestructura de transporte público y de transporte particular; un 85% del espacio vial en la ZMVM es destinado al transporte particular y sólo un 15% de la infraestructura es destinada al transporte público, lo cual es alarmante e incongruente, pues habla de un sistema ineficiente que no atiende a la necesidad real que tiene la ciudad. El enfoque de las inversiones que se han llevado a cabo han sido erróneas, pues sólo han incrementado el número de vialidades y caminos, pero no han reducido los tiempos de traslados de las personas, ya sea usando el transporte público o el transporte particular. En conclusión, la movilidad es mala, se afecta la calidad de vida de las personas y la productividad, la tercera parte de la jornada laboral se pierde en trayectos. En la figura 1-1 se ilustra lo anterior.

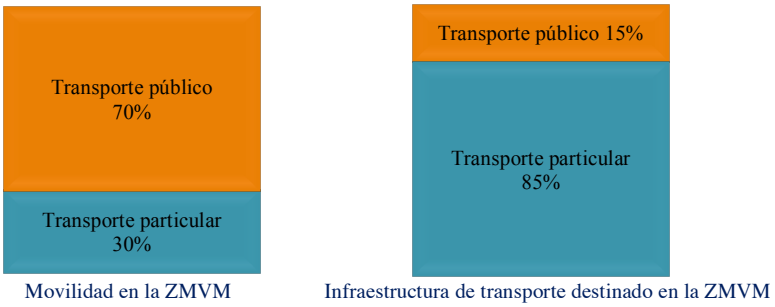


Figura 1-1. Contraste de la movilidad y la infraestructura del transporte en la ZMVM.
Fuente: SETRAVI y elaboración propia.

1. Fideicomiso para el Mejoramiento de las Vías de Comunicación del Distrito Federal

Ahora bien, la intermodalidad juega un papel muy importante en la actividad diaria de las grandes urbes, ésta se da precisamente en los intercambiadores modales. En la figura 1-2 se muestra el sistema de transporte multimodal. El sistema consiste en redes de diferentes modos de transporte que permiten a los pasajeros desplazarse de un lugar a otro. Los intercambiadores modales proveen la posibilidad de transferirse de una red modal a otra, es decir son puntos conectores. Adicionalmente, el uso de suelo del área metropolitana y la estructura institucional afectan el funcionamiento del servicio de todo el sistema.

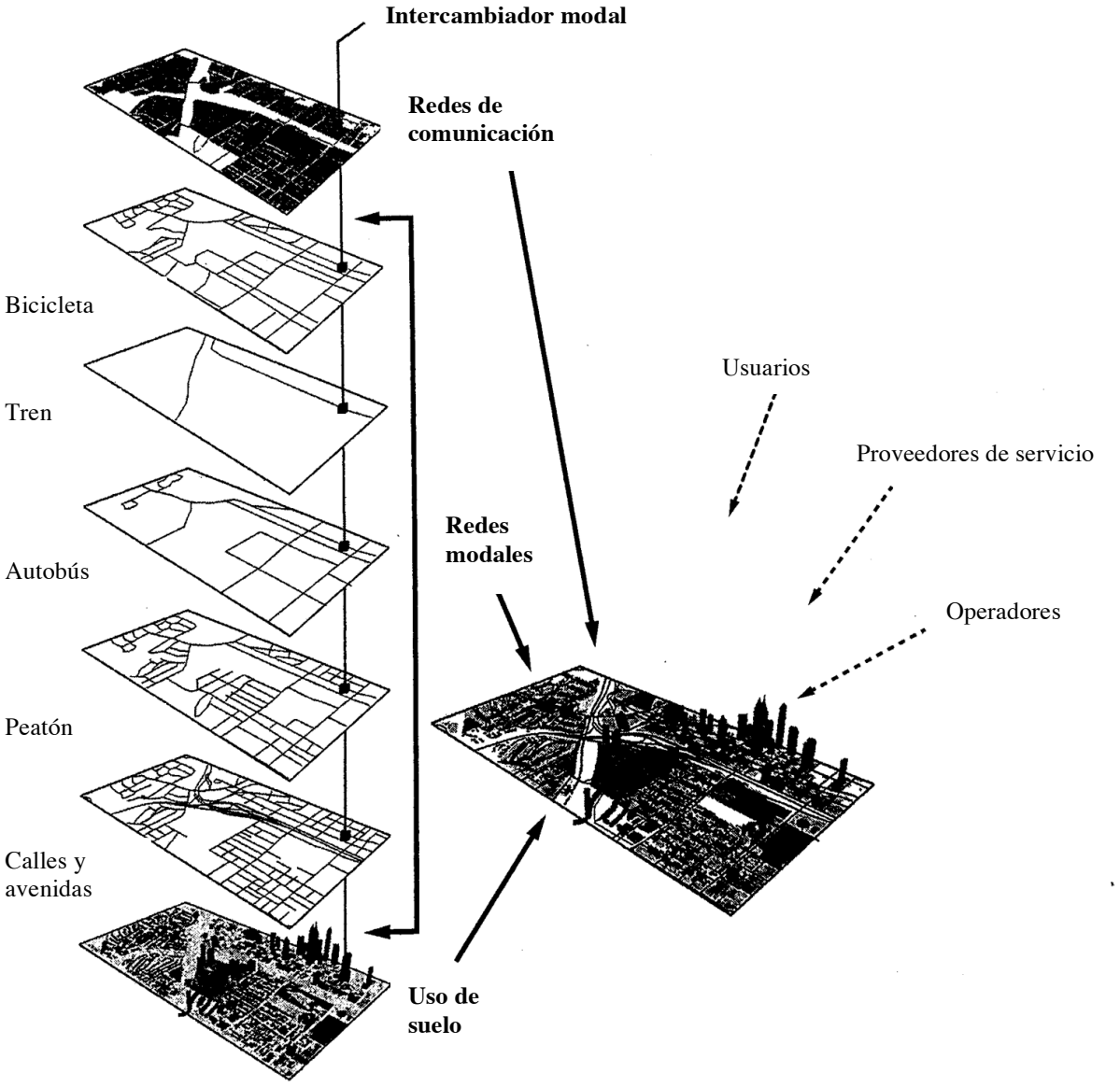


Figura 1-2. Sistema de transporte multimodal.
Fuente: Meyer y Miller. Urban Transportation Planning

Algo importante que debe destacarse de los intercambiadores modales es el ambiente institucional que los envuelve. Como en todo, la planeación y la toma de decisiones tiene que pasar forzosamente por este filtro. Cuando se trata de ideas nuevas e innovadoras se presentan aún más dificultades en materia institucional, pues en algunas ocasiones las barreras técnicas son menos abrumadoras que las institucionales (Meyer y Miller, 2001). En el esquema mostrado en la figura 1-3 se presenta un ejemplo de barreras institucionales que pueden afectar la toma de decisiones.

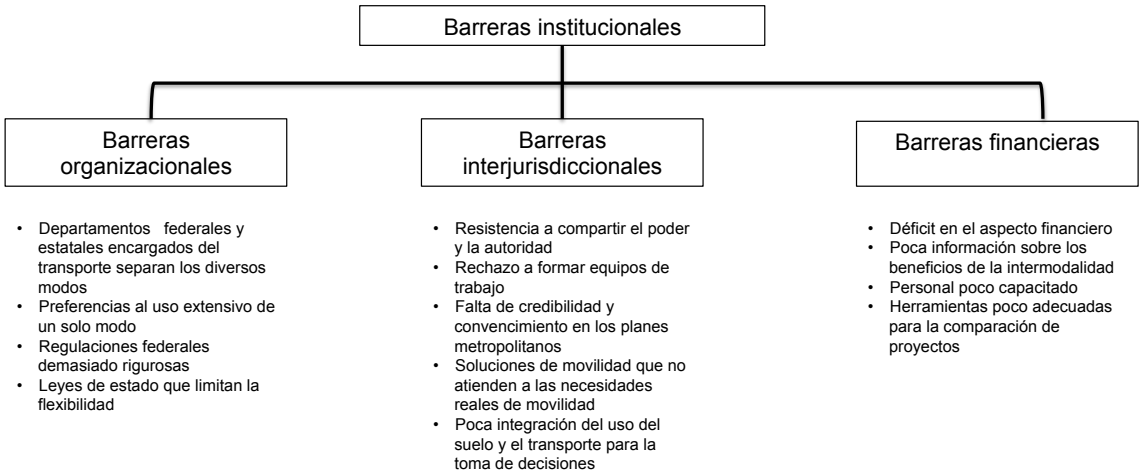


Figura 1-3. Barreras institucionales.
Fuente: Meyer y Miller. Urban Transportation Planning

En la ZMVM así como en las grandes urbes del mundo los intercambiadores modales son las puertas de entrada y salida de los suburbios donde residen las personas, son los lugares que conectan a la población con los grandes distritos financieros de mayor actividad económica y son los que comunican a ciudades y zonas metropolitanas. Además estos lugares pueden tener efectos positivos en sus alrededores, como ofrecer mayor seguridad, instalación de nuevos servicios comerciales, hospitalarios, escolares, entre otros.

Es por ello, que el esfuerzo y motivación de este trabajo se encamina a resolver parte de uno de los grandes problemas de la ZMVM, el transporte y la movilidad. En específico, se aborda el tema de los **Centros de Transferencia Modal** (**CETRAM**) los cuales tienen grandes problemas de planeación, ordenamiento, calidad en el servicio, transparencia legal, inseguridad, contaminación ambiental, contaminación visual, entre otros. Con ello, se ataca un problema clave que enferma actualmente a la ZMVM, que son los tiempos de traslados, calidad en los servicios de transporte, contaminación al medio ambiente y la productividad perdida, lo anterior resumido en una palabra, calidad de vida.

El desarrollo sostenible de las grandes ciudades es lo que permite un crecimiento equilibrado, armónico y estable de un país (Román-De la Sancha, 2008). En ellas se concentra la mayor cantidad de riqueza (cultural, financiera, académica, entre otras) y son las que aportan nuevos conocimientos y métodos para mejorar la calidad de vida. Sin

embargo, también en las grandes urbes se concentran las mayores densidades de población en el mundo, congestionamiento vial, desigualdad social y contaminación ambiental (ONU-Habitat, 2011). Aunado a lo anterior, el bienestar económico y social de un área metropolitana depende en gran medida del funcionamiento de sus sistemas de transporte, es por ello que la adecuada planeación y racionalización de los recursos destinados al transporte público urbano es crucial para el desarrollo de estas zonas urbanas densamente pobladas, pues un gran porcentaje de sus habitantes utilizan este tipo de transporte para su movilidad diaria (Meyer y Miller, 2001). En el sector del transporte público se destina un gran presupuesto que muchas veces es mal aprovechado, no atendiendo todos los problemas como se debería, agravando la situación mencionada (Jordá, 2012). En respuesta a ello, surge el concepto de eficiencia en la utilización de recursos, que es sin duda una acción que destaca, pues trata de identificar la forma de utilizar la menor cantidad de recursos para obtener la mayor producción. Por lo tanto, el motivo de esta tesis es el desarrollo sostenible de las grandes áreas metropolitanas, aportando herramientas útiles que les permitan aprovechar los recursos de una manera eficiente, específicamente en el transporte público. Los intercambiadores modales son elementos esenciales en las redes de transporte público en ciudades densamente pobladas. Estos, facilitan la conexión entre las redes modales y en muchos casos con el transporte particular (Watts, 2010). Además, estos contribuyen a la equidad e integración social. A pesar de la importancia de los intercambiadores modales, la evaluación de su eficiencia sigue siendo una difícil tarea en la fase de diseño y operación, debido a la falta de procedimientos prácticos que la faciliten. Existen muchos parámetros tradicionalmente usados como indicadores de rendimiento, sin embargo, su importancia para obtener el rendimiento global del intercambiador no es evidente. Consecuentemente, el concepto de eficiencia es comúnmente referido a la eficiencia técnica, mientras que la efectividad a la calidad de los servicios (Fielding y Glauthier, 1978). Por último, otra dimensión de eficiencia en los modernos intercambiadores modales es la calidad ambiental de la operación. Con lo anterior se propone una metodología innovadora que permite identificar que tan eficientemente se están utilizando los recursos destinados a los intercambiadores modales, que son el motor de las grandes ciudades (el trabajo de las personas reflejada en su productividad). Posteriormente, una vez identificados aquellos puntos ineficientes se darán recomendaciones para mejorar el funcionamiento de los sistemas de transporte. Como se mencionó, algo que persigue esta tesis es el desarrollo sostenible de las grandes ciudades, por ello se estudian los tres pilares de la sustentabilidad, aplicados al transporte público: económico, social y ambiental.

1.2 Objetivo y alcances

El objetivo de la presente tesis es la propuesta de una metodología innovadora que permita la evaluación de la eficiencia de los Centros de Transferencia Modal desde tres diferentes enfoques: técnico (económico), social y ambiental. La tesis abarca diferentes aspectos relacionados con los CETRAM, tales como la oferta de servicios, demanda, infraestructura, tipo de vehículos, tecnología disponible, características del servicio, aspectos económicos, aceptación del pasajero, contexto social y emisiones de gases de efecto invernadero.

Los alcances de esta tesis son amplios y con aplicaciones de gran utilidad. En primer lugar, este método puede ser aplicado por cualquier empresa, agencia, academia o instituciones relacionadas con el transporte público, para conocer el estado actual de las estaciones de transferencia modal de interés (de cualquier ciudad o zona metropolitana). Por otra parte, este método puede ser desarrollado como un software, siendo de gran utilidad para las instituciones encargadas de las estaciones de transferencia modal, pues será fácil identificar las ineficiencias de la estación, áreas de oportunidad y en cuales se está gastando de más. Con ello, mejoraría la eficiencia en la operación de estas estaciones, haciendo que los recursos sean mejor utilizados. Por último, esta metodología puede incluirse en manuales de diseño, operación y planeación de intercambiadores modales de cualquier urbe, enfocándose en zonas densamente pobladas, dando recomendaciones y aspectos a considerarse en la construcción, remodelación y operación de este tipo de infraestructura de gran importancia para el desarrollo humano.

1.3 Planteamiento del problema

Los CETRAM de la ZMVM son operados por la Coordinación de los Centros de Transferencia Modal de la Ciudad de México y por la Secretaría de Movilidad del Estado de México, en ellos se destinan una gran cantidad de recursos económicos en su operación y mantenimiento, $61 114 535.00 pesos anuales, según las oficinas de información pública de las mismas dependencias. Ello, con el objetivo de integrar adecuadamente el transporte público para una intermodalidad accesible, incluyente, eficiente, segura, que facilite la movilidad urbana y metropolitana[2]. En contraste con la realidad, los CETRAM llamados "paraderos" de la ZMVM, enfrentan una difícil situación, generando congestionamiento de vehículos, largas filas de espera que se refleja en tiempo perdido y estrés para los pasajeros, generando a la vez baja productividad, contaminación de gases de efecto invernadero, falta de espacios cómodos para usuarios, desorden en asensos y descenso de pasajeros, invasión de avenidas por parte del transporte colectivo, inseguridad, insalubridad, contaminación visual y presencia de comercio ambulante. Por ello, el problema que se plantea es el siguiente: ¿de qué forma se están utilizando los recursos en los CETRAM para cumplir con su objetivo de movilidad urbana y metropolitana?, de este problema principal surgen otras tres preguntas, ¿cómo puede medirse el rendimiento de estos centros?, ¿qué variables influyen?, ¿qué datos se requieren? Estas preguntas son claves para resolver el problema principal, y se responderán a la largo de esta tesis.

Para medir el rendimiento de los CETRAM se definen que aspectos de ellos se evaluarán, en esta tesis se plantea medir su rendimiento a partir de los tres pilares de la sustentabilidad:

2. Portal de la Coordinación de los Centros de Transferencia Modal

económico, social y ambiental. Posteriormente, se genera una base de datos, de la cual se seleccionarán las variables que indiquen de mejor manera el rendimiento mencionado. Por otra parte existen diferentes formas de obtener los valores de dichas variables, su precisión dependerá de la tecnología y tiempo disponible. Finalmente se hacen pruebas, se replantean las variables, todo ello, con el fin de proponer una metodología que permita mostrar que tan eficiente están siendo los CETRAM en la utilización de los recursos para cumplir sus objetivos.

1.4 Estructura de la tesis

La tesis se estructura de la siguiente manera:

En el **Capítulo 1, Introducción**, se pone en contexto la situación actual del transporte y la movilidad en la ZMVM, se mencionan los motivos de esta tesis y se plantea el problema que la misma aborda.

En el **Capítulo 2**, **Antecedentes**, se aclara la importancia de los CETRAM como intercambiadores modales en la ZMVM, se mencionan los modos transporte que existen en dicha zona y se hace una pequeña comparación con intercambiadores modales del mundo. Por otra parte, se aborda el estado del arte de la eficiencia técnica.

En el **Capítulo 3**, **Casos de Estudio**, se contextualiza los CETRAM considerados para la evaluación de la eficiencia y se presentan fichas técnicas que ilustran la situación particular de estos.

En el **Capítulo 4**, **Metodología de Evaluación de la Eficiencia de los CETRAM**, se explica cómo se obtuvo la base de datos necesaria para la evaluación de la eficiencia y se menciona las visitas de campo realizadas. Se precisa el enfoque de la evaluación de la eficiencia, se definen las variables utilizadas y se expone la metodología propuesta.

En el **Capítulo 5**, **Análisis de Resultados**, se examinan los resultados obtenidos, se comparan los resultados de cada CETRAM y se identifica que variables influyen en la eficiencia de estos. Así mismo se hacen recomendaciones para el mejoramiento de los CETRAM.

En el **Capítulo 6**, **Conclusiones**, se indican las principales conclusiones del estudio, aportaciones e investigaciones futuras sobre el tema.

En **Referencias**, se citan todos aquellos trabajos, estudios, artículos y páginas web que han sido consultados para el desarrollo de esta tesis.

2. ANTECEDENTES

En este capítulo se define que es un CETRAM y se aclara la importancia de estos como intercambiadores modales en la ZMVM, también se mencionan los modos transporte que existen en dicha zona y se hace una pequeña comparación con intercambiadores modales del mundo. Por otra parte, se aborda el estado del arte de la eficiencia técnica, que es la esencia para comprender la metodología propuesta.

1.1 Definición de un CETRAM

Un intercambiador modal es un espacio físico donde diversos modos de transporte convergen e interactuar entre sí para facilitar servicios de movilidad a los pasajeros. Estos espacios deben contar con instalaciones adecuadas para la interacción de los diferentes modos de transporte con el fin de brindar al usuario una intermodalidad que facilite el inicio, continuación y/o fin de sus viajes. Estos espacios también llamados estaciones de transferencia tienen diversas geometrías, tamaños y formas de operar que se distinguen por el entorno que les rodea: social, económico y ambiental. En las figuras 2-1 y 2-2 se muestran los principales componentes y geometría de un proyecto de intercambiador modal en la ciudad de Auckland, Nueva Zelanda.

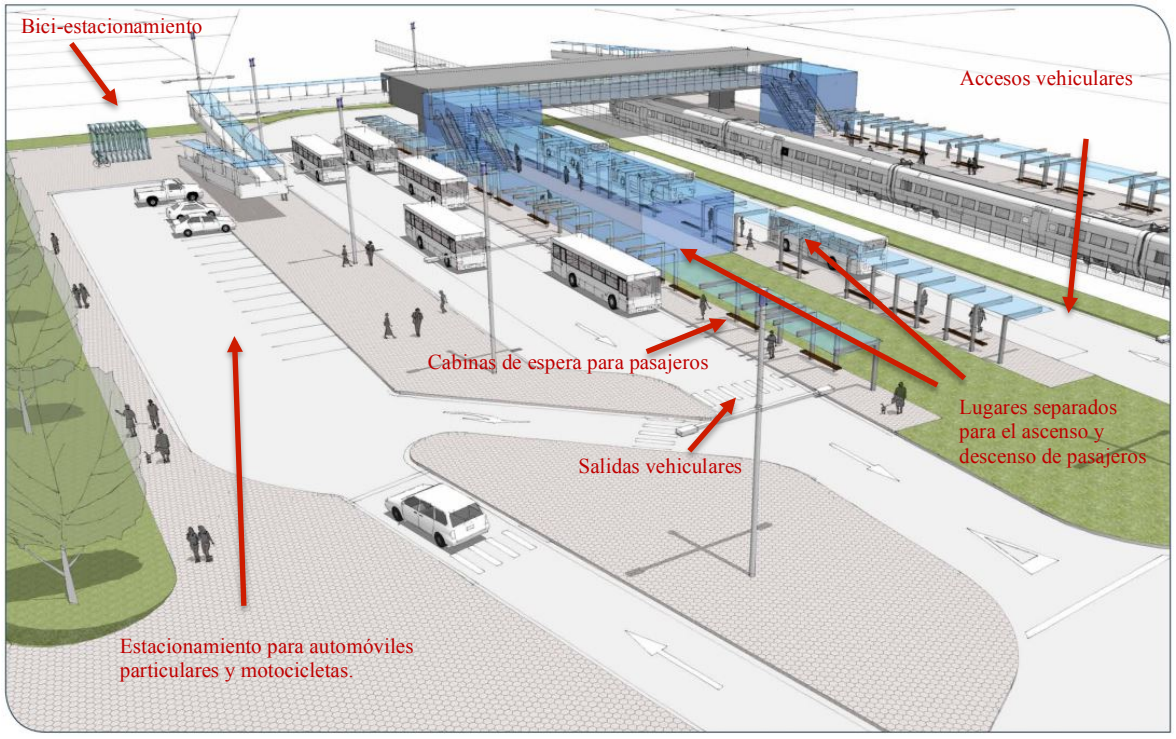


Figura 2-1. Intercambiador modal con sus principales componentes. Fuente: Transportblog of Auckland.

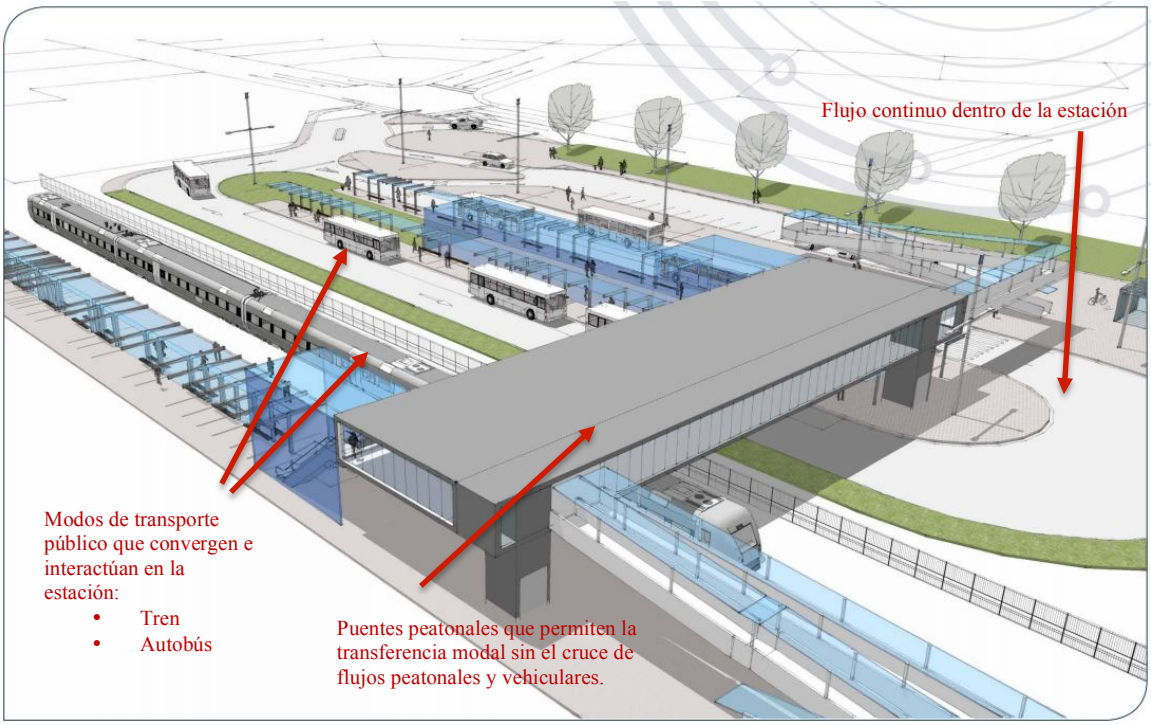


Figura 2-2. Intercambiador modal con sus principales componentes. Fuente: Transportblog of Auckland.

Los CETRAM ubicados en la ZMVM, en general cuentan con características geométricas y operación similares, la diferencia radica en la demanda de usuarios, ubicación geográfica, oferta de los servicios de transporte público y tecnología utilizada.

Según el INEGI, en su último estudio sobre delimitaciones de la Zonas Metropolitanas de México en 2010, la ZMVM está conformada por 16 alcaldías (antes delegaciones) de la Ciudad de México (antiguamente Distrito Federal), 59 municipios del Estado de México y 1 municipio del Estado de Hidalgo. En conjunto la ZMVM tiene una población de 20 116 842 habitantes, divididos de la siguiente manera: en la Ciudad de México hay 8 930 968 habitantes, en el Estado de México 11 185 875 y en el único municipio de Hidalgo 97 461. En la tabla 2-1 se muestran los municipios y alcaldías que conforman dicha zona metropolitana con su población y tasa de crecimiento anual, así como un número para identificarlos en el mapa de la figura 2-3.

Tabla 2-1. Zona Metropolitana del Valle de México: Población y tasa de crecimiento

No.	ESTADO	Municipio/Alcaldía	Población	Tasa de crecimiento anual (%) (2000-2010)
		ZMVM	20 116 842	0.9
1	CDMX	Álvaro Obregón	727 034	0.5
2		Azcapotzalco	474 688	-0.6
3		Benito Juárez	385 439	0.7
4		Coyoacán	640 416	-0.3
5		Cuajimalpa de Morelos	186 391	2.0
6		Cuauhtémoc	531 831	0.3
7		Gustavo A. Madero	1 185 772	-0.4
8		Iztacalco	384 236	-0.7
9		Iztapalapa	1 815 786	0.2
10		La Magdalena Contreras	239 086	0.7
11		Miguel Hidalgo	372 889	0.5
12		Milpa Alta	130 582	2.9
13		Tláhuac	360 265	1.7
14		Tlalpan	650 567	1.1
15		Venustiano Carranza	430 978	-0.7
16		Xochimilco	415 007	1.1
17	HIDALGO	Tizayuca	97 461	7.5
18	EDO MEX	Acolman	136 558	8.1
19		Amecameca	48 421	0.7
20		Apaxco	27 521	1.4
21		Atenco	56 243	4.9
22		Atizapán de Zaragoza	489 937	0.4
23		Atlautla	27 663	0.6
24		Axapusco	25 559	2.2
25		Ayapango	8 864	3.9
26		Coacalco de Berriozábal	278 064	0.9
27		Cocotitlán	12 142	1.7
28		Coyotepec	39 030	1.0
29		Cuautitlán	140 059	6.1
30		Cuautitlán Izcalli	511 675	1.2
31		Chalco	310 130	3.5
32		Chiautla	26 191	2.8
33		Chicoloapan	175 053	8.2
34		Chiconcuac	22 819	2.3
35		Chimalhuacán	614 453	2.2
36		Ecatepec de Morelos	1 656 107	0.2
37		Ecatzingo	9 360	1.6

Tabla 2-1. Zona Metropolitana del Valle de México: Población y tasa de crecimiento (continuación)

No.	ESTADO	Municipio/Alcaldía	Población	Tasa de crecimiento anual (%) (2000-2010)
38		Huehuetoca	100 023	9.7
39		Hueypoxtla	39 864	1.7
40		Huixquilucan	242 167	2.2
41		Isidro Fabela	10 308	2.3
42		Ixtapaluca	467 361	4.5
43		Jaltenco	26 328	1.8
44		Jilotzingo	17 970	1.7
45		Juchitepec	23 947	2.1
46		La Paz	253 845	1.7
47		Melchor Ocampo	50 240	3.8
48		Naucalpan de Juárez	833 779	-0.3
49		Nezahualcóyotl	1 110 565	-1.0
50		Nextlalpan	34 374	5.6
51		Nicolás Romero	366 602	3.0
52		Nopaltepec	8 895	1.7
53		Otumba	34 232	1.6
54		Ozumba	27 207	1.4
55		Papalotla	4 147	1.7
56		San Martín de las Pirámides	24 851	2.3
57	EDO MEX	Tecámac	364 579	7.5
58		Temamatla	11 206	2.3
59		Temascalapa	35 987	2.0
60		Tenango del Aire	10 578	2.2
61		Teoloyucan	63 115	-0.5
62		Teotihuacán	53 010	1.7
63		Tepetlaoxtoc	27 944	2.0
64		Tepetlixpa	18 327	0.8
65		Tepotzotlán	88 559	3.5
66		Tequixquiac	33 907	1.8
67		Texcoco	235 151	1.4
68		Tezoyuca	35 199	6.2
69		Tlalmanalco	46 130	0.8
70		Tlalnepantla de Baz	664 225	-0.8
71		Tonanitla	10 216	n.a.
72		Tultepec	91 808	-0.2
73		Tultitlán	524 074	1.9
74		Valle de Chalco Solidaridad	357 645	1.0
75		Villa del Carbón	44 881	1.6
76		Zumpango	159 647	4.7

Fuente: INEGI (2010) y elaboración propia

En la figura 2-3 se muestra un mapa de la ZMVM con la división estatal y municipal correspondiente.

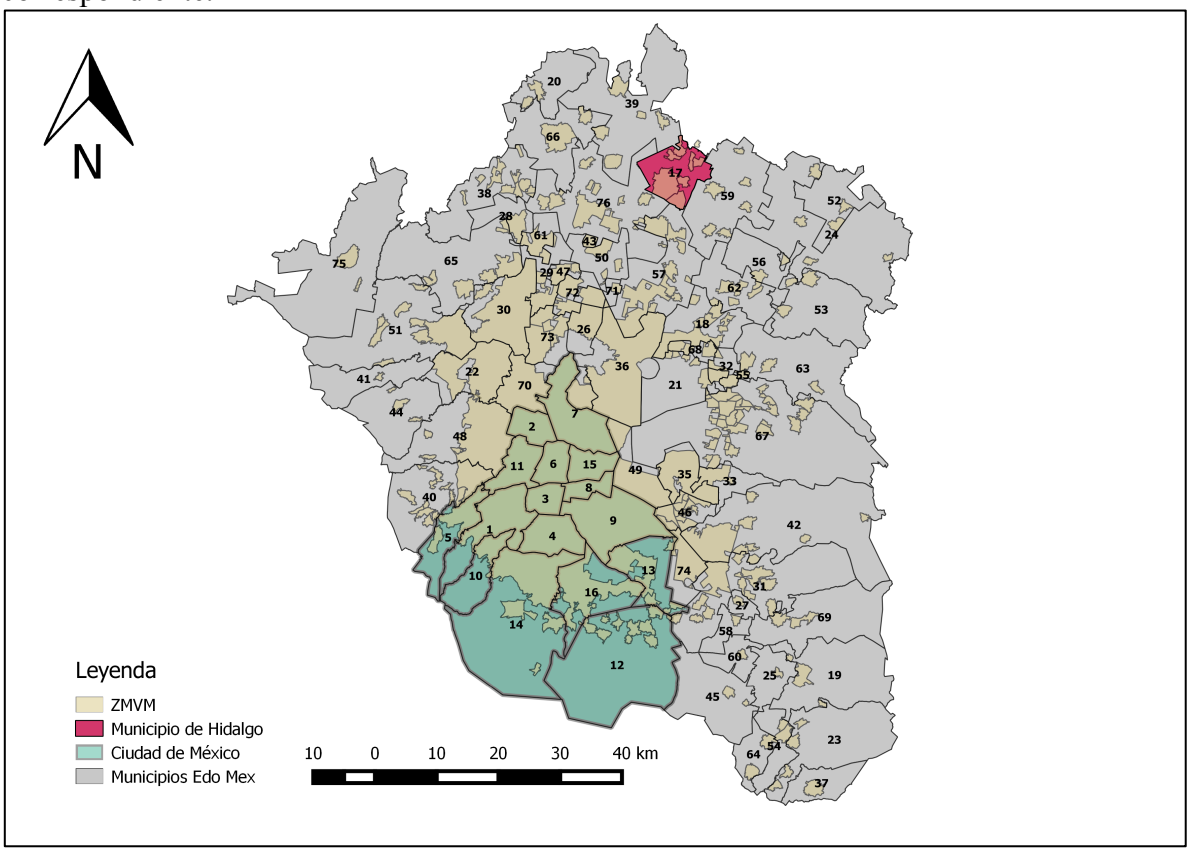


Figura 2-3. Mapa de la ZMVM con las alcaldías de la Ciudad de México y los municipios del Estado de México y del Estado de Hidalgo que la conforman. Fuente: INEGI y elaboración propia.

Actualmente la ZMVM cuenta con 52 CETRAM, los cuales están ubicados estratégicamente por la demanda de los servicios de transporte público de los pasajeros, 48 de ellos se encuentran en la Ciudad de México y están a cargo de la Coordinación de los Centros de Transferencia Modal, los otros cuatro se encuentran en el Estado de México, a cargo de la Secretaría de Movilidad del mismo estado.
En la figura 2-4 se muestra un mapa con la ubicación de los 52 CETRAM, así como las divisiones políticas de las alcaldías y municipios que forman la ZMVM.

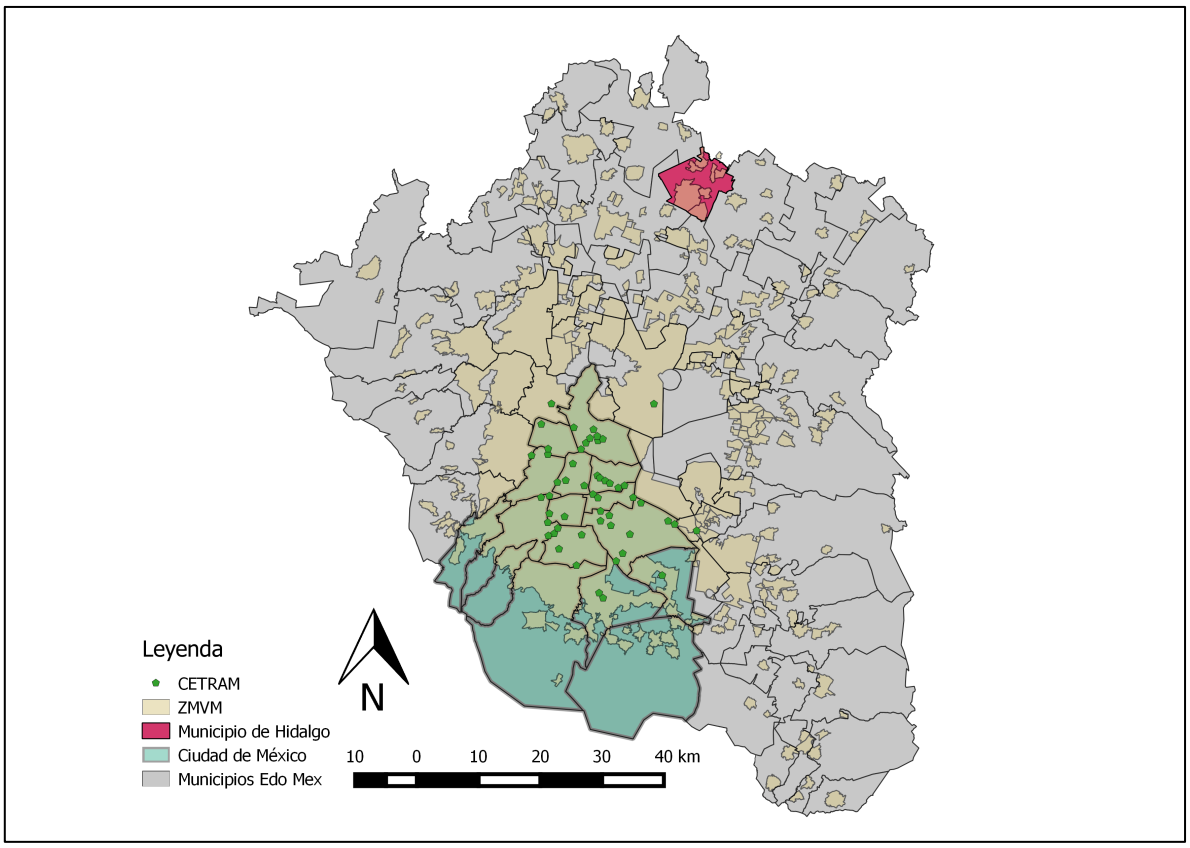


Figura 2-4. Mapa de la ZMVM y la ubicación de los CETRAM. Fuente: INEGI y elaboración propia

Como se observa en la figura 2-4, el 92% de los CETRAM están concentrados en la CDMX y el restante 8% perteneciente al Estado de México se encuentran en municipios aledaños a la Ciudad de México (Naucalpan de Juárez, Tlalnepantla de Baz, Ecatepec de Morelos y La Paz). Lo anterior está justificado porque en la Ciudad de México y en los municipios mencionados se concentra la mayor parte de la población, sin embargo, quedan muchos municipios con población considerable, zonas con alta marginación y zonas con un alto índice de desarrollo sin CETRAM que satisfagan sus necesidades de movilidad. Aunado a lo anterior, los CETRAM actuales son lugares donde prevalece el desorden y la falta de planeación, por una parte son insuficientes al no dar abasto a la demanda del transporte público, en otros casos, se pone en riesgo al usuario al no contar con instalaciones adecuadas que faciliten la transferencia de modos, por último, hay algunos en que su infraestructura está sobrada y no se utiliza, dejando en evidencia la falta de planeación.

De los 48 CETRAM en la CDMX se reparten en sus alcaldías de la siguiente manera: tres en Álvaro Obregón, dos en Azcapotzalco, dos en Benito Juárez, cuatro en Coyoacán, cuatro en Cuauhtémoc, ocho en Gustavo A. Madero, diez en Iztapalapa, tres en Iztacalco, dos en Miguel Hidalgo, uno en Tláhuac, uno en Tlalpan, seis en Venustiano Carranza y dos en Xochimilco, quedando tres alcaldías sin CETRAM alguno, La Magdalena Contreras, Cuajimalpa de Morelos y Milpa Alta. Por otra parte, en el Estado de México los cuatros

CETRAM están repartidos de la siguiente manera: uno en Naucalpan de Juárez, uno en Tlalnepantla de Baz, uno en Ecatepec de Morelos y uno en La Paz.

En la tabla 2-2 se enlistan los 52 CETRAM de la ZMVM, la alcaldía o municipio al que pertenecen y un ícono característico de estos, en la mayoría, íconos del Metro (STC). Posteriormente en la figura 2-5 se muestran un mapa con la ubicación de cada uno de ellos.

Tabla 2-2. CETRAM en la ZMVM

Número	CETRAM	ÍCONO CETRAM	ALCALDÍA/MUNICIPIO	ÍCONO ALCALDÍA/MUNICIPIO
1	Barranca del Muerto		Álvaro Obregón	
2	Observatorio		Álvaro Obregón	
3	Dr. Gálvez		Álvaro Obregón	
4	Refinería		Azcapotzalco	
5	El Rosario		Azcapotzalco	
6	Zapata		Benito Juárez	
7	Mixcoac		Benito Juárez	
8	Miguel Ángel de Quevedo		Coyoacán	
9	Viveros		Coyoacán	
10	Universidad		Coyoacán	
11	Tasqueña		Coyoacán	
12	Chapultepec		Cuauhtémoc	
13	San Antonio Abad		Cuauhtémoc	
14	Insurgentes/Oaxaca		Cuauhtémoc	
15	Buenavista		Cuauhtémoc	
16	Deportivo 18 de Marzo		Gustavo A. Madero	
17	Indios Verdes		Gustavo A. Madero	

Tabla 2-2. CETRAM en la ZMVM (continuación)

Número	CETRAM	ÍCONO CETRAM	ALCALDÍA/MUNICIPIO	ÍCONO ALCALDÍA/MUNICIPIO
18	Martín Carrera		Gustavo A. Madero	
19	Ferroplaza		Gustavo A. Madero	
20	Villa Cantera		Gustavo A. Madero	
21	Potrero		Gustavo A. Madero	
22	Politécnico		Gustavo A. Madero	
23	La Raza		Gustavo A. Madero	
24	Constitución de 1917		Iztapalapa	
25	Iztapalapa		Iztapalapa	
26	Tepalcates		Iztapalapa	
27	Apatlaco		Iztapalapa	
28	Central de Abastos		Iztapalapa	
29	Escuadrón 201		Iztapalapa	
30	Periférico Oriente		Iztapalapa	
31	Canal de Chalco		Iztapalapa	
32	Acatitla		Iztapalapa	
33	Santa Marta		Iztapalapa	
34	Canal de San Juan		Iztacalco	
35	Coyuya		Iztacalco	
36	Santa Anita		Iztacalco	

Tabla 2-2. CETRAM en la ZMVM (continuación)

Número	CETRAM	ÍCONO CETRAM	ALCALDÍA/MUNICIPIO	ÍCONO ALCALDÍA/MUNICIPIO
37	Tacuba		Miguel Hidalgo	
38	Tacubaya		Miguel Hidalgo	
39	Tláhuac		Tláhuac	
40	Huipulco		Tlalpan	
41	Pantitlán		Venustiano Carranza	
42	Moctezuma		Venustiano Carranza	
43	Balbuena		Venustiano Carranza	
44	Zaragoza		Venustiano Carranza	
45	Boulevard Puerto Aéreo		Venustiano Carranza	
46	San Lázaro		Venustiano Carranza	
47	Xochimilco		Xochimilco	
48	Deportivo Xochimilco		Xochimilco	
49	Cuatro Caminos		Naucalpan de Juárez	
50	Tlalnepantla		Tlalnepantla de Baz	
51	Ciudad Azteca		Ecatepec de Morelos	
52	La Paz		La Paz	

Fuente: Portal de la Coordinación de Centros de Transferencia Modal, oficina de información pública de la misma dependencia, Secretaría de Movilidad del Estado de México, iconografía obtenida de los portales oficiales del STC, Tren Ligero, Tren Suburbano, de los Municipios y Alcaldías, elaboración propia.

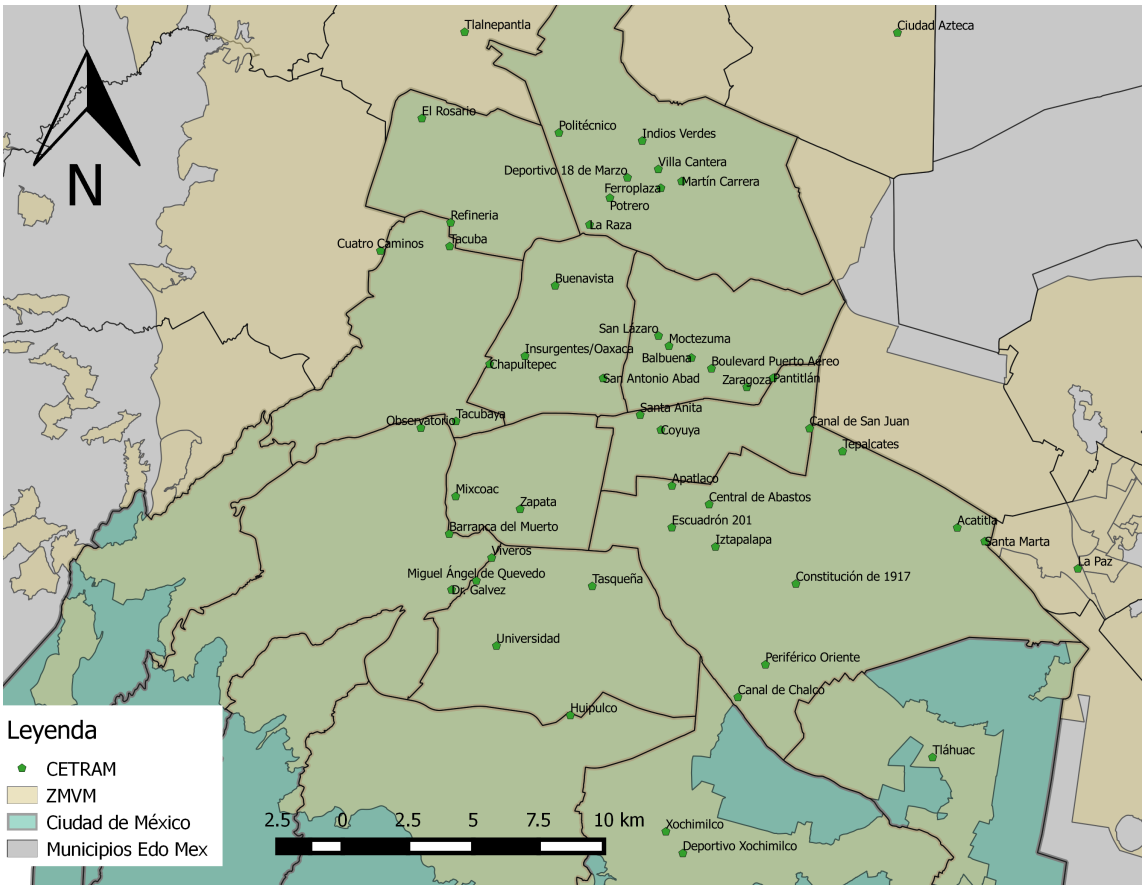


Figura 2-5. Ubicación de los 52 CETRAM. Fuente: INEGI y elaboración propia

2.1.1 Desarrollo histórico e importancia de los Centros de Transferencia Modal

Los primeros CETRAM denominados en un principio "paraderos", surgen con la inauguración de la Línea 1 del Sistema de Transporte Colectivo-Metro[3], como instalaciones complementarias con la finalidad de apoyar a la columna vertebral del sistema transporte de la ciudad. Con lo anterior se tendría un lugar destinado para el ascenso y descenso de pasajeros.

Los primeros CETRAM en inaugurarse fueron Chapultepec y Zaragoza (pertenecientes a la Línea 1 del Metro) en el año de 1969. Diez años más tarde se inaugura Indios Verdes, uno de los más grandes actualmente. En 1980 Zapata, en 1981 Pantitlán y en 1982 Taxqueña, o también llamado Tasqueña. Recientemente, con la construcción de la Línea 12 del Metro se inauguraron los CETRAM Periférico Oriente y Tláhuac. Así mismo, existen cuatro CETRAM con carácter de concesión, Zapata en el año 2003, Ciudad Azteca en 2010, el Rosario en 2013 y próximamente Cuatro Caminos.

En materia administrativa los CETRAM han dependido de diferentes instituciones, comenzaron dependiendo en 1969 del Sistema de Transporte Colectivo Metro[3]. Posteriormente en 1984 pasan a la Coordinación General del Transporte, en 1986 nuevamente regresan al Sistema de Transporte Colectivo Metro, en 1993 pasan a las Delegaciones Políticas, en 1994 nuevamente están en la Coordinación General del

3. Portal de la Coordinación de los Centros de Transferencia Modal

Transporte, de 1995 hasta 2010 dependen de la Secretaría de Transportes y Vialidad (SETRAVI). Finalmente mediante el Decreto de fecha 10 de noviembre, publicado en la G.O.D.F. el 14 de diciembre de 2010, se crea la **Coordinación de los Centros de Transferencia Modal del Distrito Federal**, Órgano Desconcentrado adscrito a la Oficialía Mayor del GDF, que entra en operación en marzo del 2011.

En materia de flota vehicular (unidades) se describe a continuación los hechos más relevantes:

- 1969: ingresaban vehículos tipo sedán con capacidad de 6 pasajeros y trolebuses.
- 1973: comenzaron los "vochos" taxis sedan con capacidad de 3 pasajeros.
- 1976: surgieron las combis con capacidad de 12 pasajeros sentados.
- 1985: aparecieron los primeros microbuses con capacidad de 18 pasajeros sentados.
- 1989: comienzan a circular los microbuses con capacidad de 23 pasajeros sentados.
- 1995: se motiva que los transportistas se conviertan en personas morales y utilicen autobuses de capacidad de 33 pasajeros sentados.
- 2005: comienza los articulados con capacidad de 41 pasajeros sentados.
- 2008: aparecen los primeros biarticulados con capacidad 53 de pasajeros sentados.
- 2013: aparecen las vagonetas con capacidad de 17 pasajeros sentados.

En materia de mecanismos de cobro:

- De 1969 a 1993: no se realizó ningún cobro por la utilización de los CETRAM.
- De 1994 a 1999: se comenzó a realizar el cobro de $2.00 mediante boletos por unidad al día por CETRAM.
- De 1999 a 2010: se hacía un cobro mensual conforme al Art. 323 del Código Financiero del Distrito Federal y se otorgaba una "cartulina" o "tarjetón".
- A partir del 2011: se estableció un cobro mensual conforme al Art. 306 del Código Fiscal del Distrito Federal, mediante depósitos en institución bancaria y relación a las unidades.

CETRAM en la actualidad:

Los CETRAM actualmente son los espacios públicos de mayor convergencia, su importancia radica en que en ellos se realizan más de seis millones de viajes diarios, de los cuales aproximadamente un 55% de los usuarios regulares tienen su residencia en la ZMVM[3].

De acuerdo con la Coordinación de CETRAM de la Ciudad de México, estos lugares atienden diariamente un aproximado de 23,000 unidades de transporte público de pasajeros, que ingresan en promedio 4 veces. De estos, 34 tienen conexión con el STC Metro, 9 con Trolebús, 3 con línea del Tren Ligero, 10 con Metrobús, 21 con servicio de RTP y 4 con Bici-estacionamientos. En la figura 2-6 se ilustra lo anterior.

3. Portal de la Coordinación de los Centros de Transferencia Modal

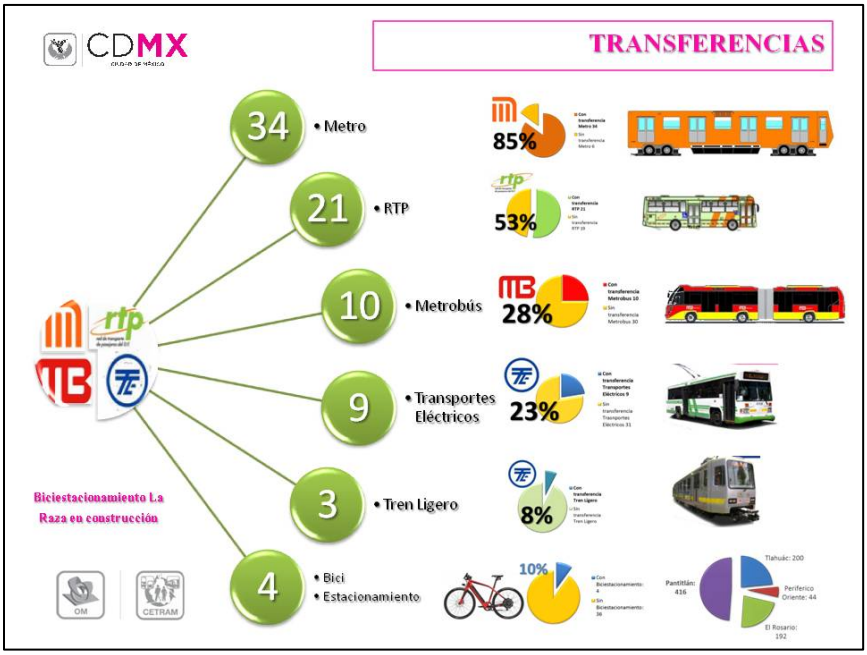


Figura 2-6. Porcentaje de modos de transporte de los CETRAM.
Fuente: Página oficial de la Coordinación de los Centros de Transferencia Modal.

En la figura 2-7 se muestran los CETRAM por años de inicio de operación.

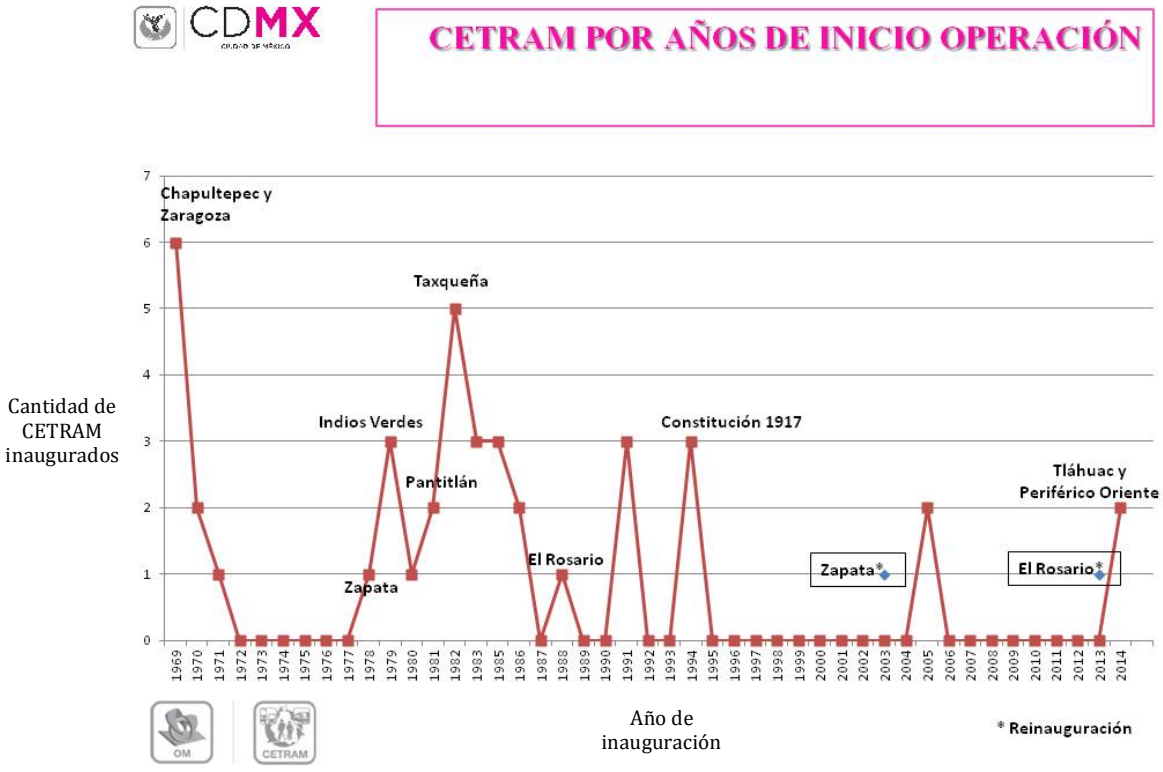


Figura 2-7. CETRAM por años de inicio de operación.
Fuente: Página oficial de la Coordinación de los Centros de Transferencia Modal.

2.1.2 Breve descripción de los modos de transporte en la ZMVM

La información extraída del portal de la Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México menciona lo siguiente: la Ciudad de México (antes Distrito Federal) cuenta con un amplio sistema de transporte y está dividido en transporte gubernamental y concesionado. Dentro del primero se encuentran el Sistema de Transporte Colectivo –Metro; el Servicio de Transportes Eléctricos – STE; la Red de Transporte de Pasajeros – RTP. El Metrobús es un caso especial, pues tiene iniciativa pública y privada. El concesionado está compuesto por transporte colectivo (autobuses, microbuses y vagonetas) e individual (taxis). Por otra parte se encuentra el transporte particular, referente a los automóviles, motocicletas y bicicletas. Ahora bien, en el Estado de México no sucede algo similar, el transporte colectivo (urbanos y foráneos) y el sistema Mexibús son operados y controlados por empresas privadas (concesión). Por último, se encuentra el Tren Suburbano, el cual es operado igualmente en carácter de concesión por una empresa privada.
Resumiendo lo anterior existen tres formas de moverse en la ZMVM, por medio de:

- Transporte público de gobierno
- Transporte concesionado
- Transporte particular

La tabla 2-3 detalla lo mencionado anteriormente con imágenes e íconos para su mejor descripción.

Tabla 2-3. Modos de transporte y movilidad en la ZMVM

Nombre	Carácter	Público
Metro-STC (Sistema de Transporte Colectivo)	Descripción	Realiza el 18% de los 20.6 millones de viajes que se generan en la ZMVM. Transporta a unos 4.2 millones de pasajeros en día laborable a través de 12 líneas que recorren 222.4 kilómetros de vías dobles; 195 estaciones y 324 trenes con 2 mil 799 carros, cada uno, y según su tipo, con capacidad para 170 o 178 pasajeros.
	Imagen	
	Ícono	
Nombre	Carácter	Público
STE (Servicio de Transportes Eléctricos)	Descripción	Su participación llega a apenas al 1.2% del total de viajes que se realizan en la ciudad. Transporta 65.7 millones de pasajeros por año con boleto pagado y 19.7 millones exentos de pago. Opera a través de la red de Trolebuses y el Tren Ligero que corre de Taxqueña a Xochimilco y que tiene una extensión de 437.20 kilómetros, con 9 líneas regulares.
	Imagen	
	Ícono	

Tabla 2-3. Modos de transporte y movilidad en la ZMVM (continuación)

Nombre	Carácter	Público
RTP (Red de Transporte de Pasajeros)	Descripción	Concentra un 3% del total de viajes, transporta a 650 mil usuarios diariamente; opera 98 rutas regulares, que hacen un total de 3 mil 482 kilómetros distribuidos por toda la ciudad, principalmente de zonas de difícil acceso y bajos recursos económicos. El parque vehicular actualmente es de 1 325 autobuses. Además presta servicio especial a personas de la tercera edad o con capacidades distintas a través de 51 autobuses totalmente equipados, de diseño especial y alta tecnología, que circulan por siete rutas. Así mismo, brinda servicio preferencial gratuito a cerca de 40 millones de pasajeros anualmente.
	Imagen	
	Ícono	rtp red de transporte de pasajeros del D.F.
Nombre	Carácter	Público y concesión
Metrobús	Descripción	Creado en el año 2005, el sistema Metrobús significó un cambio radical en el transporte público. Su implantación conlleva la aplicación de nuevas tecnologías, el mejoramiento del ambiente, privilegiar el transporte público colectivo, organizar a los concesionarios, modificar los hábitos del usuario y, en general, reordenar la prestación del servicio. Actualmente cuenta con seis rutas, las cuales tienen su ámbito en la Ciudad de México. Este sistema se caracteriza por confinar el carril izquierdo de cada sentido de avenidas principales para su uso exclusivo. El costo del pasaje es de 6 pesos y el pago se realiza mediante una tarjeta inteligente que es infalsificable y el control de su venta es automatizado, lo que evita fugas de dinero.
	Imagen	
	Ícono	MB
Nombre	Carácter	Concesión
Mexibús	Descripción	El Mexibús es el sistema de transporte de Autobús de Transito Rápido (BRT, por sus siglas en inglés) que opera en el Estado de México y la Ciudad de México, muy similar al Metrobús. Cuenta con tres rutas, Ciudad Azteca (Ecatepec)- Ojo de Agua (Tecámac), Chimalhuacan-Pantitlán y Lechería-10 de Mayo. En su primera línea, la ruta cuenta con 24 estaciones sobre un recorrido total de 16 kilómetros. En la segunda que va de Metro Pantitlán a Chimalhuacan tiene 14.5 kilómetros de recorrido. Este tipo de transporte funciona a través de una Tarjeta de Prepago que tiene un costo de $25 e incluye dos viajes.
	Imagen	
	Ícono	MEXIBUS

Tabla 2-3. Modos de transporte y movilidad en la ZMVM (continuación)

Nombre	Carácter	Concesión
	Descripción	Es un medio de transporte férreo masivo, operado por la empresa privada Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles (CAF), teniendo su ámbito en el Estado de México y la Ciudad de México. Actualmente el Tren tiene un recorrido de 27 km desde las Terminales Buenavista a Cuautitlán, cuenta con 5 estaciones intermedias y 2 terminales. Diariamente mueve a 180 000 pasajeros y 100 millones anualmente, beneficiando principalmente a las alcaldías Cuauhtémoc y Azcapotzalco y a los municipios de Tlalnepantla, Tultitlán y Cuautitlán. Su recorrido total promedio es de 25 min.
Tren Suburbano	Imagen	
	Ícono	
Nombre	Carácter	Concesión
	Descripción	Son los autobuses, microbuses y vagonetas los que acaparan el mayor número de viajes que se realizan en la Ciudad de México. El transporte concesionado colectivo de pasajeros atiende a casi el 60% de la demanda, transportando por día hábil a más de 12 millones de pasajeros. Opera en 106 rutas de transporte y 1 163 recorridos. Existen 28 508 concesionarios individuales y 10 empresas de transporte.
Autobuses, Microbuses y Vagonetas-CDMX	Imagen	
	Ícono	
Nombre	Carácter	Concesión
	Descripción	El transporte individual de pasajeros, es decir, los taxis, atiende al 5% de la demanda total, realizando en promedio un millón de viajes diarios. Existen 106 628 unidades, de las cuales, alrededor del 90% opera como taxi libre y el 10% restante como taxis de sitio.
Taxi	Imagen	
	Ícono	
Nombre	Carácter	Concesión
	Descripción	Al igual que los autobuses, microbuses y vagonetas de la Ciudad de México, estos se encargan de realizar aproximadamente el 55% de los viajes del Estado de México que tienen como destino la CDMX de acuerdo con el INEGI. Conjuntamente los transportes concesionados de la Ciudad de México y del Estado de México realizan casi 15 millones de viajes.
Autobuses foráneos y urbanos EDO-MEX	Imagen	
	Ícono	

Tabla 2-3. Modos de transporte y movilidad en la ZMVM (continuación)

Automóvil	Nombre	Particular
	Descripción	El automóvil particular en la ZMVM se encarga de realizar de 6.5 millones de viajes diarios, que representan el 30% de la totalidad.
	Imagen	
	Ícono	
Motocicleta	Nombre	Particular
	Descripción	En motocicleta se realizan 91 962 de viajes diarios, que representan el 0.005% de la totalidad.
	Imagen	
	Ícono	
Bicicleta	Nombre	Particular
	Descripción	En bicicleta se realizan 433 981 viajes diarios, que representan el 2% de la totalidad
	Imagen	
	Ícono	
A pie	Nombre	Particular
	Descripción	Por último está la posibilidad de trasladarse a pie en la ZMVM, en este rubro hay muy poca información al respecto, por lo tanto no hay porcentajes ni números de viajes. Sin embargo, sabemos que existe y que en otros países, sobre todo europeos, mucha gente se traslada a pie en sus viajes diarios.
	Imagen	
	Ícono	

Fuente: SEMOVI, SETRAVI, Encuesta Origen-Destino INEGI (2007), Secretaria de Movilidad del Estado de México, Portal del Tren Suburbano y elaboración propia.

Los modos de transporte como el Pumabus, Cedabus u otros similares no están tomados en cuenta porque no tienen un alcance relevante en la ZMVM, sino que solo operan en circuitos establecidos controlados por otro tipo organizaciones. Tampoco se toman en cuenta el transporte particular que algunas empresas otorgan a sus empleados, el transporte escolar, ni el reciente servicio Uber.

2.1.3 Breve comparación de intercambiadores modales en el mundo

La intermodalidad es un concepto básico en todo sistema de transporte racional y moderno que surge de la necesidad de conseguir un funcionamiento más eficaz y trae como consecuencia una mayor coordinación entre los distintos modos (Román-De La Sancha, 2008). En este apartado, se pone en contexto la situación de los intercambiadores modales en el mundo, mostrando una comparación de diferentes ciudades y países, del diseño y oferta de servicios de estos espacios destinados a la integración de los modos de transporte y al intercambio modal de pasajeros.
Los intercambiadores modales citados tienen en común que se encuentran en zonas con una alta densidad de población, la diferencia radica en las geometrías, oferta de servicios y diseño. En esta breve comparación se puede apreciar la variación de los sistemas de transporte de país en país y de región en región. El objetivo de estos intercambiadores es cubrir las necesidades de movilidad de sus poblaciones.

Tabla 2-4. Comparación de intercambiadores modales del mundo

Intercambiador modal	Ciudad y País	Demanda (pasajeros/día)	Modos de transporte	Superficie (m^2)	Número de niveles
Shinjuku	Tokio, Japón	3,700,000	Tren Nacional Tren Local Metro Autobuses Taxi Motocicleta Bicicleta	240,000	8
CST (Chhatrapati Shijavi Terminus)	Bombay, India	3,000,000	Tren Nacional Tren Local Metro Autobuses Taxi	28,500	1
Pantitlán	Ciudad de México, México	1,100,000	Metro BRT Autobuses Taxi Bicicleta	90,000	3
Nagoya	Nagoya, Japón	1,100,000	Tren Nacional Tren Local Metro Tren Ligero Autobuses Taxi Motocicleta Bicicleta	450,000	6
Tasqueña	Ciudad de México, México	750,000	Metro Tren Ligero Trolebús Autobuses Taxi Automóvil Motocicleta Bicicleta	38,000	1
Plaza del Pueblo (Guang Chang)	Shanghái, China	720,000	Metro BRT	10,000	3

Tabla 2-4. Comparación de intercambiadores modales del mundo (continuación)

Intercambiador modal	Ciudad y País	Demanda (pasajeros/día)	Modos de transporte	Superficie (m^2)	Número de niveles
Grand Central Terminal	Nueva York, EUA	690,000	Tren Nacional Metro Autobuses Taxi	190,000	2
Estación del Norte (Gare du Nord)	París, Francia	600,000	Tren Internacional Tren Nacional Tren Local Metro Autobuses Taxi Motocicleta Bicicleta	36,000	4
Estación Central de Berlín (Hauptbahnhof)	Berlín, Alemania	350,000	Tren Internacional Tren Nacional Tren Local Metro Autobuses Tranvía Taxi Automóvil Motocicleta Bicicleta	185,000	5
Brás	Sao Paulo, Brasil	250,000	Tren Suburbano Metro Autobuses Taxi	33,000	2
Clapham Junction	Londres, Inglaterra	80,000	Tren Nacional Metro Autobuses Taxi Motocicleta Bicicleta	140,000	1
Delicias	Zaragoza, España	10,000	Tren Nacional Tren Local Metro Autobuses Taxi Automóvil Motocicleta Bicicleta	40,000	1

Fuente: Páginas oficiales de las estaciones y elaboración propia. Páginas: Hauptbahnhof portal Tokyoconsultblog, rail-way-technology portal, grandcentralterminal portal, tokyometro portal, UNESCO portal, metro de Sao Paulo, STC Metro, Adif.

Puede observarse la diferencia del espacio destinado a la transferencia de modos en las estaciones europeas de las asiáticas como China o India, las cuales tienen un área muy reducida para dicha tarea. Japón es un caso único, donde además de dejar grandes espacios para la intermodalidad cuentan con un número considerable de niveles para el arribo de los diferentes modos. Por otra parte, la única estación estadounidense tiene características similares a las europeas, beneficia la movilidad de los pasajeros. Sin embargo, no es así con las estaciones latinoamericanas, las cuales cuentan con poca área de transferencia a pesar de la alta demanda de pasajeros. En las figuras 2-8 y 2-9 se muestran fotografías de las estaciones mencionadas.

Shinjuku

CST (Chhatrapati Shijavi Terminus)

Pantitlán

Nagoya

Tasqueña

Plaza del Pueblo (Guang Chang)

Figura 2-8. Intercambiadores modales del mundo. Fuente: Páginas oficiales de las estaciones y elaboración propia. Páginas: Hauptbahnhof portal Tokyoconsultblog, rail-way-technology portal, grandcentralterminal portal, tokyometro portal, UNESCO portal, metro de Sao Paulo, STC Metro, Adif.

Grand Central Terminal

Estación del Norte (Gare du Nord)

Estación Central de Berlín (Hauptbahnhof)

Brás

Clapham Junction

Delicias

Figura 2-9. Intercambiadores modales del mundo. Fuente: Páginas oficiales de las estaciones y elaboración propia. Páginas: Hauptbahnhof portal Tokyoconsultblog, rail-way-technology portal, grandcentralterminal portal, tokyometro portal, UNESCO portal, metro de Sao Paulo, STC Metro, Adif.

2.2 Estado del arte de la eficiencia técnica

La eficiencia técnica se refiere a la relación que hay entre la producción obtenida (outputs) y los recursos consumidos (inputs). La eficiencia es diferente de la efectividad, la primera se refiere a hacer las cosas correctamente, mientras que la segunda a hacer las cosas correctas (Fielding, 1978). Es decir, la eficiencia tiene que ver con el consumo de recursos y la producción; mientras que la efectividad es el grado de consecución de objetivos pre-establecidos, ya que tiene que ver con los objetivos políticos y sociales (Jordá, 2012), y no con el consumo de recursos, que es el tema que aborda esta tesis.

De acuerdo con Jordá (2012), la mejora de la eficiencia consiste en la maximización de la producción, **minimizándose el consumo de recursos**. En esta tesis, se estudia una eficiencia relativa, y no la eficiencia absoluta de los CETRAM. La eficiencia es relativa ya que depende de dos factores: las variables utilizadas y de los casos de estudios incluidos en los análisis. Debido a estos dos factores, se obtienen valores de eficiencia relativa, que sirven para comparar unos CETRAM con otros. Sin embargo, no es posible establecer valores de eficiencia absolutos para estos Centros de Transferencia Modal, ya que se debería tener en cuenta todos los aspectos de la producción, todos los CETRAM, y variables exógenas (que no son controlables por los operadores pero que influyen en su producción), situación que está fuera del alcance de esta tesis.

Los CETRAM son organizaciones con capacidad de decisión, por ello, es posible evaluar sus eficiencias como DMUs (Decision Making Unit, por sus siglas en inglés) (Viton, 1997).
Existen dos maneras de evaluar la eficiencia:

- Eficiencia técnica
- Eficiencia con asignación de recursos (estudio de costos)

Eficiencia técnica: se refiere a la relación que hay entre la producción obtenida (outputs) y los recursos consumidos (inputs) y puede tener dos orientaciones:

  - Orientación al input: consiste en evaluar la posibilidad de que el DMU produzca los outputs observados consumiendo menos inputs de los que utiliza en el proceso.

  - Orientación al output: estudia si es posible producir más outputs consumiendo los mismos inputs observados.

Por tanto, un DMU es técnicamente eficiente si la única manera de producir más outputs es consumiendo más inputs o si, por el contrario, un descenso en los factores consumidos lleva a una reducción de la producción.

La eficiencia técnica es más ampliamente utilizada debido a que no se necesitan los costos de producción, los cuales por lo general son difíciles de obtener y también a que el evaluador debe centrarse en aquello que los DMUs pueden controlar, que es el proceso de producción, mas no la asignación de precios.

Eficiencia con asignación de recursos: también llamada *allocative efficiency*, aquí el DMU busca producir los outputs con una mezcla de inputs que suponga el menor costo posible. El DMU es eficiente si es capaz de reducir los inputs de mayor costo y sustituirlos por otros de costo menor, sin variar la cantidad de outputs producida.

Para continuar con una explicación clara y coherente en la tabla 2-5 se precisan algunos términos que podrían causar confusión en las definiciones técnicas de este apartado.

Tabla 2-5. Definición de términos para el concepto de eficiencia

Término	Descripción
Input	Se refiere a los recursos consumidos
Output	Se refiere a la producción obtenida
DMU	*Decision Making Unit*, son las unidades de toma de decisiones, en esta tesis son los CETRAM.
SBM	*Slack Based Measure*, es un modelo de evaluación de la eficiencia, perteneciente al método DEA.
Slack	Es la parte débil, o lo que falta para alcanzar la eficiencia
Variable endógena	variable controlable por el operador
Variable exógena	variable no controlable por el operador

Fuente: elaboración propia

En 1951 Debreu mencionó por primera vez el término eficiencia técnica, buscando la manera de medir la ineficiencia en la utilización de recursos, llegando a la conclusión de que es la distancia entre la producción real y la producción óptima, ilustrada en la figura 2-10.

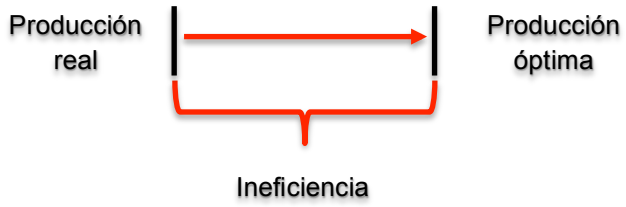


Figura 2-10. Concepto de ineficiencia. Fuente: elaboración propia

Luego en 1957 Farrel estableció una medida de la eficiencia técnica mediante una relación output-input, con base en los trabajos de Debreu. Define la eficiencia técnica como el éxito en producir la mayor cantidad posible de outputs con una determinada cantidad de inputs dada. Una importante contribución de Farrel es que establece el concepto de **frontera de eficiencia**.

Posterior a estos trabajos se han desarrollado dos enfoques para la evaluación de la eficiencia mediante métodos frontera:

- Métodos paramétricos
- Métodos no paramétricos

2.2.1 Métodos frontera para la evaluación de la eficiencia técnica de un conjunto de DMUs

Los métodos frontera son aquellos en los que se utiliza una frontera de eficiencia para clasificar a los distintos DMUs. La frontera de eficiencia se obtiene a partir de las observaciones realizadas, y a ella pertenecen solo los casos de mejores prácticas, es decir, los DMUs eficientes. Se consideran ineficientes todos los DMUs que no pertenezcan a la frontera (Jordá, 2012).

A lo largo del estado del arte se hablará de los métodos paramétricos estocásticos y de los métodos no paramétricos determinísticos, que han sido utilizados mayoritariamente para la evaluación de la eficiencia en costos y la eficiencia técnica del sector del transporte urbano.

2.2.1. A Métodos paramétricos

Los métodos paramétricos se basan como lo indica su nombre, en la estadística paramétrica, es decir, son métodos aplicados a variables continuas, donde se conoce la forma de la distribución y los parámetros que la forman. Ahora bien, para que estos métodos sean aplicados a métodos frontera debe tenerse una función objetivo (Viton, 1986) y conocer los recursos (inputs) y la producción (output). Como se mencionó anteriormente, pueden tenerse dos formas de evaluación, en este caso dos funciones: funciones de producción y funciones de costos.

- Funciones de producción: se mantiene constante el valor de los inputs, se busca la optimización maximizando la cantidad de outputs obtenidos. Estas funciones son usadas para evaluar la eficiencia técnica.

- Funciones de costos: se mantienen constantes los valores de los outputs y se optimiza minimizando la cantidad de inputs utilizada en la producción. Con ellas se evalúa la eficiencia en la asignación de recursos.

En ambos casos se dice que son funciones fronteras, ya que representan un límite máximo o un límite mínimo.

La producción de un DMU k se puede expresar mediante una función de producción de la siguiente manera:

$$y_k = f(x_k; B) + \varepsilon_k \tag{2.1}$$

El valor de la producción es y_k. Para alcanzarlo, es necesario que se consuma un cierto número de inputs x_k, representado mediante la función $f(x_k; B)$, siendo B un vector de parámetros desconocido. La ineficiencia técnica, o desviación en la producción del DMU k respecto al resto de DMUs viene representada por el término de error ε_k. El principal inconveniente de estos modelos es que se debe suponer, a priori, la forma de la función

$f(x_k; B)$, situación que en la mayoría de los casos se desconoce. Otro inconveniente importante es que los parámetros no son estimados estadísticamente, sino que deben ser calculados utilizando técnicas de programación matemáticas (Murillo-Zamorano, 2004).

Posteriormente Aigner et al. (1977) supusieron un cambio en el enfoque del problema del estudio de las funciones de producción, ya que en ellos se propuso separar el término de error ε_k en dos componentes, u_k y v_k, quedando la función de producción (2.1) expresada de la siguiente manera:

$$y_k = f(x_k; B) + (u_k + v_k) \tag{2.2}$$

La componente v_k recoge la parte de la desviación en la producción atribuible a las variables exógenas al DMU, asumiéndose que es independiente y con distribución normal. En cuanto a la componente u_k, es la parte del error asociada a la ineficiencia técnica del DMU y es independiente de v_k.

Por último Murillo-Zamorano y Vega-Cervera (2001) señalan que los métodos paramétricos son útiles para el estudio de los costos de los factores de producción, ya que pueden utilizar los valores de los precios. En cambio, los métodos no paramétricos son más apropiados para evaluar la eficiencia técnica.

2.2.1.B Métodos no paramétricos

Ahora bien, cuando no se puede determinar la distribución de los valores, por lo que no tenemos ningún parámetro a estimar, es decir, no hay funciones objetivo, entonces debe aplicarse la estadística no-paramétrica. Los métodos frontera no paramétricos no definen, a priori, una forma de la frontera de eficiencia. Entre los mismos métodos no paramétricos existen diferencias en la forma en cómo se calcula la frontera, es decir, como se mide la distancia entre las unidades analizadas y la frontera. Se explicarán a detalle tales diferencias.

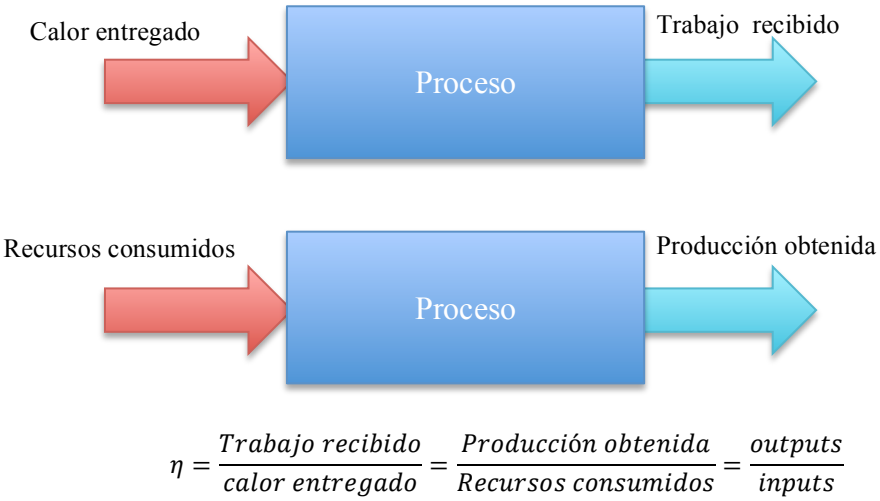
B. Método DEA

El análisis envolvente de datos (**Data Envelopment Analysis** o **DEA**, por sus siglas en inglés) es un método de programación lineal no paramétrico determinístico, desarrollado en 1978 por Charnes et al., cuyo objetivo es el cálculo de eficiencias relativas de un conjunto de unidades de decisión (Decision Making Units o DMUs, por sus siglas en ingles).

Los DMUs en el caso de esta tesis son los CETRAM. Los DMUs tienen una serie de características comunes, pero su eficiencia relativa varía según las características propias de cada uno de ellos. El DEA es un método empírico y no paramétrico, ya que al no hacerse ninguna suposición inicial sobre la forma que tiene la frontera, no hay que estimar ningún parámetro (Charnes et al., 1978). En el método DEA no se da preferencia a ningún factor de la operación, tanto outputs como inputs se incorporan en un único modelo (independientemente de las unidades en las que se midan). Se trata, por tanto, de obtener

una relación output múltiple / input múltiple. Por otro lado, el DEA es un método comparativo, ya que mide la eficiencia relativa respecto a la mejor observación de los resultados del conjunto de DMUs que se están evaluando, a esas mejores observaciones, que son los DMUs eficientes se les llama DMUs de referencia virtual, dicha referencia puede basarse en la media observada o en un resultado de operación predeterminado. Un DMU de referencia virtual debe ser siempre eficiente, sin embargo, un DMU eficiente no necesariamente debe ser referencia virtual.

La eficiencia técnica es un concepto básico de termodinámica, aplicado para cualquier máquina o proceso, es decir, lo que se obtiene de acuerdo a lo que se da. Se trata entonces de una relación de recursos consumidos y de la producción obtenida, en la figura 2-11 se ilustra lo anterior.



$$\eta = \frac{Trabajo\ recibido}{calor\ entregado} = \frac{Producción\ obtenida}{Recursos\ consumidos} = \frac{outputs}{inputs}$$

Figura 2-11. Concepto de eficiencia. Fuente: elaboración propia

En la literatura del DEA la eficiencia se denota con el símbolo θ ó ϕ, en la figura 2-11 se utilizó η para explicar el concepto, debido a su extendido uso en la termodinámica. Sin embargo, de aquí en adelante se referirá a la eficiencia como θ ó ϕ.

Luego entonces, dado que un DMU puede componerse de más de un input u output y estos a la vez pueden tener unidades muy diferentes, para ello, se agregan todos los outputs y todos los inputs, y se estudia la relación conjunta, de ahí el término output e input múltiple. La **eficiencia técnica es**, por tanto, una **medida de la productividad** (Jordá, 2012). Cada DMU analizado por los modelos DEA presenta una relación outputs / inputs y aquellos DMUs que presentan los valores mayores de la relación sirven de referencia para evaluar la eficiencia de los que presentan relaciones menores, por supuesto, los valores de referencia se encuentran en la frontera de eficiencia. Como se mencionó anteriormente el método supone un ejercicio de comparación o *benchmarking* utilizando la relación output / input como indicador de la eficiencia en la producción. En la figura 2-12 se ilustran los anteriores conceptos.

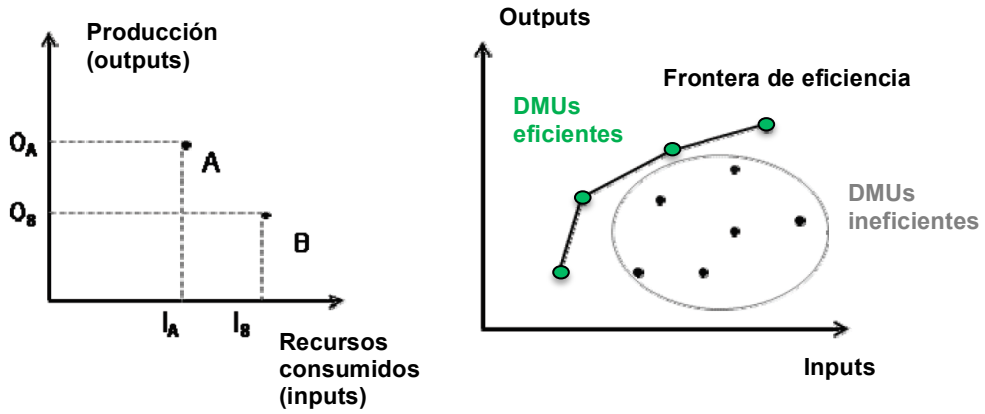


Figura 2-12. Conceptos de eficiencia. Fuente: Jordá 2012

De acuerdo con Odeck y Alkadi (2001) existen cuatro ventajas del DEA frente a los métodos paramétricos:

1. No requiere a priori la forma de la función de producción.

2. No requiere información sobre precios, lo que facilita los análisis de eficiencia, ya que por lo general es una información complicada de conseguir.

3. Permite el análisis simultáneo de varios outputs e inputs, mediante un output y un input múltiple o "virtual", composición de todos los outputs y todos los inputs considerados.

4. La eficiencia es medida respecto al valor más alto de resultados de operación observado. No es, por tanto, una medida de la eficiencia absoluta, ya que depende del conjunto de DMUs que se estén considerando.

Por otra parte, la frontera de eficiencia es diferente para cada caso analizado y dependerá siempre de dos factores:

- Las variables utilizadas, es decir lo inputs y outputs considerados
- El número de casos estudio, es decir, los DMUs. La inclusión de un DMU más modifica la frontera de eficiencia.

El método DEA de acuerdo con Odeck y Alkadi (2001) se utilizó por primera vez para evaluar organizaciones sin ánimo de lucro, en las que el rendimiento de la producción no podía ser medido por un único indicador, tal como la cantidad de beneficios totales, para estas organizaciones no tiene sentido evaluar los precios, por lo tanto esto supone una gran ventaja para el DEA. Así mismo Murillo-Zamorano (2004) añade como ventaja que, en los modelos DEA, la asignación de pesos de los factores se realiza automáticamente, por lo que se gana objetivad. En la tabla 2-6 se enuncian las ventajas y desventajas del método DEA.

Tabla 2-6. Ventajas y desventajas del método DEA

Ventajas	Desventajas
Análisis simultáneo de outputs e inputs	No toma en cuenta el efecto de las variables exógenas
No es necesario definir la forma de la frontera de eficiencia	No toma en cuenta errores estadísticos
La eficiencia es relativa respecto a la mejor observación	No dice directamente como mejorar la eficiencia
No es necesaria la información de los precios	Es difícil realizar valoraciones estadísticas a los resultados

Fuente: Jordá (2012)

b.1 Modelos en los que se obtiene la eficiencia por proyección radial

Los primeros modelos que se enunciaron en la literatura del DEA son los modelos CCR y BCC, los cuales llevan las iniciales de sus creadores, el primero desarrollado por Charnes, Cooper y Rhodes, el segundo por Banker, Charnes y Cooper. Ambos modelos son llamados radiales o básicos, y partir de estos se han desarrollado todos los demás modelos del DEA (Jordá, 2012).

Modelo CCR:

El modelo de programación lineal CCR se expresa como un problema de la siguiente forma: dado un conjunto de DMUs K, la eficiencia técnica h_0 del DMU k_0, se define como la relación de la suma ponderada de sus n outputs y_{jk0}, y la suma ponderada de sus m inputs x_{ik0}, todos con valores positivos. Modelo CCR orientado al input:

$$Maximizar\ \ h_0 = \frac{\sum_{j=1}^{n} w_j\, y_{jk0}}{\sum_{i=1}^{m} v_i\, x_{ik0}}$$

$$Sujeto\ a\text{:}$$

$$\frac{\sum_{j=1}^{n} w_j\, y_{jk}}{\sum_{i=1}^{m} v_i\, x_{ik}} \leq 1 \qquad w_j\, , v_i\ > 0,$$

$$i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K.$$

(2.3)

El subíndice i numera los inputs, el j los outputs y el k los DMUs. Esta notación se mantiene a lo largo de la tesis.

La primera restricción de este problema indica que el valor de la eficiencia de cada unidad k, en función de los pesos dados debe ser, como mucho, uno. Si se observa, el fin es tratar de maximizar la relación entre un output virtual, compuesto por todos los outputs considerados, y un input virtual también compuesto. En este problema son desconocidos

los pesos de los distintos outputs e inputs (w_j y v_i). Por tanto, cada unidad es libre de asignar el conjunto de pesos a sus factores de producción, de tal manera que hagan la unidad tan eficiente como sea posible, dentro de las restricciones del modelo. Esto tiene la ventaja de eliminar la tarea de asignar los distintos pesos a los factores, lo que introduciría cierta subjetividad en el modelo. La segunda condición obliga a que los pesos de los outputs y los inputs w_j y v_i sean mayores que cero, con ello se busca prevenir que las unidades puedan variar alguno de los outputs o los inputs utilizados con total libertad, pudiendo ser consideradas como eficientes de manera incorrecta.

La unidad k_0 bajo análisis es ineficiente, respecto al resto de DMUs, si no alcanza un valor de la relación de outputs e inputs igual a uno. En ese caso, no hay ninguna combinación de pesos que posibilite que alcance dicho valor. Sin embargo, un DMU eficiente, con valor de relación outputs-inputs igual a uno, puede tener varias combinaciones de pesos con las que se obtenga ese mismo valor.

Por lo tanto el modelo CCR impone las siguientes tres restricciones:

1. Se consideran rendimientos de escala constante

2. La convexidad del conjunto de combinaciones input-output posibles, es decir, la posibilidad de tomar diferentes valores de los pesos para lograr la eficiencia.

3. La disponibilidad de inputs y outputs, es decir, el hecho de que los pesos nunca serán cero hace que siempre existan inputs y outputs.

Con estas tres restricciones del modelo CCR es necesario explicar el término de rendimientos de escala. Los **rendimientos de escala** expresan en que cantidad varía la producción de un DMU a medida que se modifican los inputs utilizados en la obtención de los outputs. Luego entonces, una unidad de producción opera bajo rendimientos de escala constantes (REC) si, al variar los inputs utilizados en una determinada proporción, los outputs producidos varían en esa misma proporción. En caso contrario, un DMU opera bajo rendimientos de escala variables (REV). Los rendimientos de escala variables pueden ser de dos tipos: crecientes, si al variar los inputs en una determinada proporción, los outputs producidos varían en una proporción mayor, y decrecientes, en caso de que los outputs producidos varíen en una proporción menor a la variación de inputs.

Para poder resolver el problema, se convierte el modelo (2.3) en una forma lineal equivalente, y se estable como nueva restricción que el denominador sea igual a uno, maximizándose el numerador (Charnes et al., 1978 y Banker et al., 1984). A este modelo se le conoce como modelo multiplicador de acuerdo con Cooper et al., 2007. Queda expresado como sigue:

$$Maximizar\ \ h_0 = \sum_{j=1}^{n} w_j y_{jk0}$$

$$Sujeto\ a:$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i\, x_{ik0} \quad = 1,$$

$$\sum_{j=1}^{n} w_j\, y_{jk} \leq \sum_{i=1}^{m} v_i\, x_{ik},$$

$$w_j\, , v_i \ > 0,$$

$$i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K.$$

(2.4)

El problema anterior presenta complicaciones para ser resuelto de manera sencilla mediante cálculo computacional. Por eso se hace una transformación (Charnes et al., 1978 y Banker et al., 1984) para dejarlo expresado de una forma lineal equivalente. El modelo resultante, orientado al input, permite evaluar DMUs en una situación de REC. Cooper et al. (2007) lo denominan como modelo de envolvente y queda expresado de la siguiente forma:

$$Minimizar\ \ h_0 = \theta_0$$

$$Sujeto\ a:$$

$$\sum_{k=1}^{k} \lambda_k\, x_{ik} = \theta_0 x_{ik0}$$

$$0 \leq \theta_0 \leq 1,$$

$$\sum_{k=1}^{k} \lambda_k\, y_{jk} = y_{jk0},$$

$$\lambda_k \geq 0,$$

$$i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K.$$

(2.5)

La primera restricción de este problema indica que la cantidad de inputs utilizados por el DMU k_0, multiplicada por el factor de eficiencia θ_0, debe ser igual a la cantidad de inputs usados por la unidad de referencia virtual del DMU k_0, está unidad de referencia se encuentra en la frontera y es por lo tanto eficiente. Lo anterior quiere decir que la capacidad de transformar inputs en outputs del DMU k_0 será igual o peor que la capacidad de la

unidad de referencia. La tercera restricción indica que la unidad de referencia virtual debe producir tantos outputs como la unidad k_0 analizada. Por otra parte una unidad de referencia virtual puede ser referencia para más de un DMU analizado, esto se explicará con detalle más adelante. Luego, la intensidad del factor de eficiencia θ_0 puede ser, por tanto, utilizada para determinar la mínima cantidad de uso de inputs que deben ser proporcionalmente reducidos para que la unidad k_0 sea eficiente. El factor de eficiencia θ_0 toma valores entre cero y uno. Por último los valores del peso λ_k que contribuyen a la construcción de la unidad compuesta de referencia virtual tendrán valores distintos de cero.

Modelo BCC:

Los modelos CCR (2.5) permiten evaluar un conjunto de DMUs que tengan rendimientos de escala constantes. Sin embargo, en la vida real, al analizar un conjunto de DMUs, unos tendrán rendimientos de escala crecientes, otros decrecientes y otros constantes, debido a la diferencia de tamaño de las unidades. Por ello, Banker et al. (1984) reformularon el modelo CCR para permitir los rendimientos de escala variables, definiendo un nuevo modelo, el BCC, llamado así por las iniciales de sus creadores: Banker, Charnes y Cooper. El modelo se expresa de la siguiente manera:

Modelo BCC orientado al input:

$$Minimizar \;\; h_0 = \theta_0$$

$$Sujeto\ a\text{:}$$

$$\sum_{k=1}^{k} \lambda_k \, x_{ik} = \theta_0 x_{ik0}$$

$$0 \leq \theta_0 \leq 1,$$

$$\sum_{k=1}^{k} \lambda_k \, y_{jk} = y_{jk0},$$

$$\sum_{k=1}^{k} \lambda_k = 1,$$

$$\lambda_k \geq 0,$$

$$i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K. \qquad (2.6)$$

La formulación (2.6) es la de un modelo BCC orientado al input. La única diferencia respecto al modelo CCR (2.5) es que se incluye una nueva condición: el sumatorio de los pesos λ_k es igual a uno. De esta manera, se permite evaluar los rendimientos de escala variables en los DMUs. Se trata de garantizar que cada DMU es comparado solo con aquellos DMUs de un tamaño similar (Murillo-Zamorano, 2004), evitando que se consideren ineficientes simplemente por las diferencias de escala entre los DMUs.

El programa lineal (2.6) se utiliza para cada uno de los *K* DMUs, e igualmente, serán eficientes solo aquellos cuyos valores de θ_0 sean igual a uno. Los DMUs que no sean eficientes, tendrán valores de θ_0 inferiores a uno, como en el caso de los modelos CCR.

Los anteriores métodos mencionados causarían entonces confusión de cuando usar uno y cuando el otro, por ello Odeck y Alkadi (2001) señalan la siguiente recomendación:

- Modelos CCR: para sectores con DMUs homogéneos
- Modelos BCC: para sectores con DMUs heterogéneos

Los modelos anteriores (2.5 y 2.6) son modelos orientados al input, es decir, se centran en lograr la eficiencia con una reducción proporcional de inputs, manteniendo constantes los outputs. Si se desea el caso contrario, manteniendo los inputs constantes, y realizando un incremento proporcional de outputs, se tienen modelos orientados al output.

A continuación se muestran el modelo CCR orientado al output (2.7) y el modelo BCC orientado al output (2.8). Ambos modelos tratan de maximizar el factor que va multiplicando al output y_0. En ambos modelos el valor del factor de eficiencia ϕ_0 será mayor o igual a uno, siendo eficientes los DMUs cuyo valor de ϕ_0 sea uno.

Modelo CCR orientado al output:

$$Maximizar \ \ h_0 = \phi_0$$

$$Sujeto\ a\text{:}$$

$$\sum_{k=1}^{k} \lambda_k \, x_{ik} = x_{ik0} \ ,$$

$$\phi_0 \geq 1,$$

$$\sum_{k=1}^{k} \lambda_k \, y_{jk} = \phi_0 y_{jk0}$$

$$\lambda_k \geq 0,$$

$$i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K.$$

(2.7)

Modelo BCC orientado al output:

$$Maximizar \ \ h_0 = \phi_0$$

$$Sujeto\ a:$$

$$\sum_{k=1}^{k} \lambda_k \, x_{ik} = x_{ik0} \ ,$$

$$\phi_0 \geq 1,$$

$$\sum_{k=1}^{k} \lambda_k \, y_{jk} = \phi_0 y_{jk0}$$

$$\sum_{k=1}^{k} \lambda_k = 1,$$

$$\lambda_k \geq 0,$$

$$i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K.$$

(2.8)

La elección de una u otra orientación depende de las características del análisis que se quiera realizar, así como del sector que se analiza. De Borger et al. (1998) señala que se deberá elegir la orientación según lo siguiente:

- Orientación al output: cuando hay poca capacidad de control sobre los inputs o cuando el objetivo es incrementar la producción
- Orientación al input: cuando los inputs están bajo control o cuando el objetivo es controlar los costos

Con ambos modelos se calcula la misma frontera, por lo que un DMU será clasificado como eficiente o ineficiente independientemente del modelo. La única diferencia se da en los valores de la eficiencia, que pueden variar ligeramente, dando clasificaciones similares, pero no exactamente iguales (Jordá, 2012).

Frontera de eficiencia en modelos radiales:

La envolvente o frontera de eficiencia es obtenida mediante las mejores observaciones realizadas entre un conjunto de DMUs. Para representar gráficamente la frontera, basta con unir mediante segmentos rectos las unidades eficientes, es decir, las que obtuvieron valores de eficiencia iguales a uno (El Maghary y Lahdelma, 1995). Con ello, las unidades ineficientes quedan "envueltas" por la frontera, de ahí su nombre, análisis envolvente de datos. Luego entonces la frontera está formada por valores de eficiencia relativa, y no absoluta, ya que con otros DMUs considerados, se obtendría una frontera diferente.

La frontera puede, como mínimo, estar formada por una recta que pase por el origen y a la que solo pertenezca un punto. Siempre se cumple que, al menos un DMU alcanza el valor igual a uno (Adler et al., 2002). En una representación gráfica output-input, quedaría de la siguiente manera:

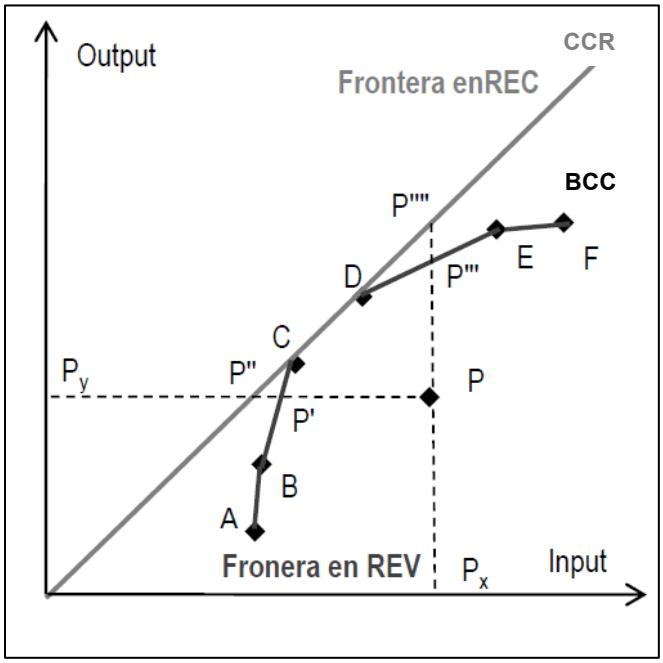


Figura 2-13. Diferencias entre fronteras de eficiencia con modelo CCR y BCC. Representación output-input. Fuente: Odeck y Alkadi (2001) y Jordá (2012)

La figura 2-13 muestra dos fronteras de eficiencia, obtenidas mediante modelos DEA diferentes: CCR y BCC. La primera es una línea recta que pasa por el origen y tienen una pendiente de 45°, se trata de la frontera obtenida aplicando modelos CCR, es decir, solo se consideran eficientes los DMUs que presentan rendimientos de escala constantes (REC). La línea poligonal AF es la segunda frontera, obtenida aplicando modelos BCC, donde se pueden evaluar los rendimientos de escala variables (REV). En esta frontera, el tramo AC representa los DMUs con rendimientos de escala crecientes; el segmento CD, las unidades con REC y el tramo DF muestra los DMUs con rendimientos de escala decrecientes.

El DMU P no pertenece a la frontera en ninguno de los dos casos, por tanto, tiene un valor de θ inferior a 1, para el caso de orientación al input, o de ϕ superior a 1, en caso de orientación al output, siendo ineficiente en ambas situaciones. Sin embargo, al proyectar hacia la frontera en un análisis de orientación al input (horizontalmente), se puede ver cómo, en el caso de la frontera con REV, el recorte de input necesario para que el DMU sea eficiente, el segmento PP', es menor que el recorte de input para el caso de REC (segmento PP''), y por tanto, indica una mejor situación de la operación del DMU P, al tener un valor de la eficiencia mayor, ya que θ_{REV} es igual a la relación PyP'/PyP, mientras que θ_{REC} es igual a la relación PyP''/PyP. Para el caso de la orientación al output, el aumento de output necesario al proyectar hacia la frontera (vertical) para que el DMU P sea eficiente, es menor en el caso de REV (segmento PP''') que en el caso de REC (segmento PP''''), indicando una situación de la operación mejor para el primer caso, ya que el ϕ_{REV} (relación PxP'''/

PxP) es menor que el ϕ_{REC} (relación PxP'''' / PxP). El modelo con REC es, por tanto, más restrictivo que el modelo con REV, ya que considera ineficientes a DMUs que el segundo considera eficientes: los DMUs A, B, E y F pertenecen a la frontera BCC, pero no a la CCR. Por el contrario, y como se ha comentado, el modelo con REC se ajusta menos a la realidad, ya que generalmente las compañías son de diferentes tamaños y operan con rendimientos de escala distintos. Por último, los DMUs C y D son considerados eficientes en ambas situaciones, ya que pertenecen a las dos fronteras.

Existen otras dos formas de representar la frontera de eficiencia, a parte de la mostrada en la figura 2-13 (output-input). Están las representaciones: input-input u output-output.

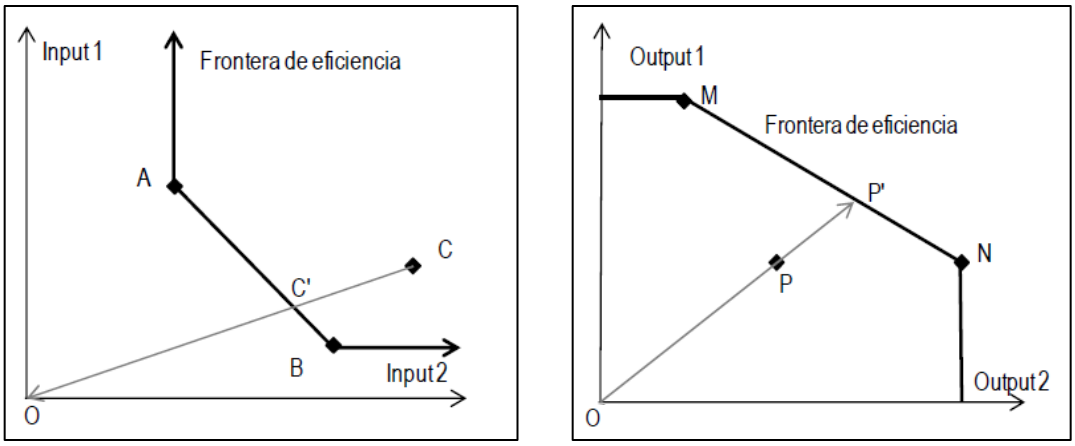


Figura 2-14. Fronteras de eficiencia mediante método DEA. Representaciones input-input y output-output. Fuente: Viton (1997) y Jordá (2012)

Los segmentos OC y OP de la figura 2-14 muestran la dirección de la proyección hacia la frontera del DMU bajo análisis, obteniéndose los puntos C' y P'. La proyección se realiza hacia el origen O, por lo que se conoce como proyección radial, de ahí el nombre de los modelos en los que se obtiene la eficiencia de esta manera, modelos radiales.

En la figura 2-14, los factores de eficiencia θ para la orientación al input y ϕ para la orientación al output son: la relación OC'/OC en el primer caso ($\theta \leq 1$) y OP'/OP en el segundo ($\phi \geq 1$). Ambos son radiales.

La frontera de eficiencia permite, por tanto, hacer una valoración de la eficiencia de las unidades, relativa al conjunto de datos que se dispone. Además ésta muestra gráficamente la eficiencia relativa de cada unidad. Así mismo la frontera de eficiencia permite evaluar cual es el conjunto de DMUs de referencia de los DMUs ineficientes, es decir, frente a qué DMUs eficientes se comparan los DMUs ineficientes. Estos DMUs de referencia serán aquellos que de manera más "cercana" envuelvan a los ineficientes y, por tanto, la proyección hacia la frontera del DMU ineficiente será una combinación lineal de estos. Por último, la frontera de eficiencia indica a lo largo de qué combinación de outputs e inputs una unidad ineficiente puede transformarse en eficiente. Viton (1997) indica que el conjunto de outputs e inputs debe cumplir las siguientes cuatro condiciones:

1. No ser negativos.
2. Existir, al menos, un par output-input posible.
3. El conjunto de soluciones posibles contiene la frontera.
4. Para producir valores estrictamente positivos de un output, son necesarios valores estrictamente positivos de, al menos, un input.

Slacks y super-eficiencia

Para comenzar con este apartado, primeramente tienen que definirse el concepto de ***slack***. Cuando la reducción proporcional de inputs o aumento proporcional de outputs no es suficiente para alcanzar la eficiencia, entran entonces ajustes complementarios llamados slacks. Estos ajustes de reducción o aumento ya no son proporcionales y por lo tanto dejan de ser radiales, a estos ajustes se les denomina slacks, la figura 2-15 aclara estos conceptos. Los slacks de acuerdo con Tone (2001) son los siguientes:

- Inputs (s_i^-) (exceso de input)
- Outputs(s_j^+)(déficit de output)

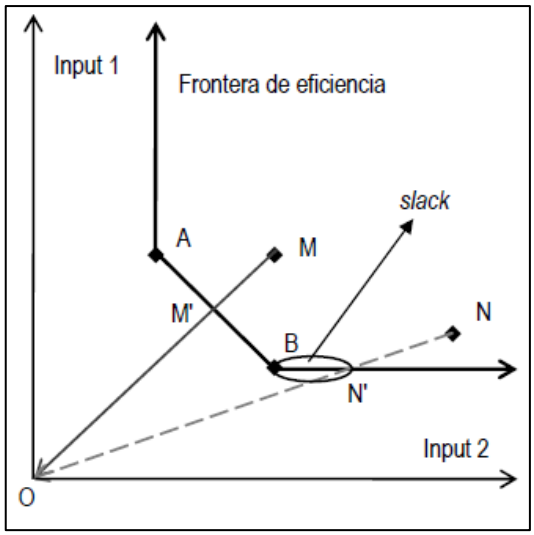


Figura 2-15. Proyección radial y presencia de slacks en un DMU. Representación input-input.
Fuente: Fried et al (1999) y Jordá (2012)

Así entonces los slacks son la parte faltante para que un DMU pueda alcanzar la eficiencia.

En la figura 2-15, dada una frontera se evalúa la eficiencia del DMU M proyectándolo hacia la frontera de manera radial, según la dirección OM y no se produce ninguna situación problemática, ya que los slacks de la proyección M' son cero, por lo tanto no es necesaria ninguna reducción adicional en los inputs para alcanzar la eficiencia. Sin embargo el DMU N, al proyectar radialmente hacia la frontera, se puede observar que su proyección N', teóricamente eficiente por pertenecer a la frontera, necesita consumir la misma cantidad de input 1 que el DMU B, pero consume más cantidad de input 2 (segmento BN'), por lo que es evidente que no puede ser considerado igual de eficiente que el DMU B, por mucho que ambos estén en la frontera. El segmento BN' es el slack del input 2 de la proyección N'.

La conclusión que se puede sacar de esta figura es que no es aceptable medir la eficiencia de un conjunto de DMUs únicamente mediante el factor θ radial: de alguna manera se debe tener en cuenta también los slacks a la hora de evaluar el valor de la eficiencia de los DMUs. Hay que usar, por tanto, modelos en los que el valor del factor de eficiencia esté definido por los slacks, para que solo se obtenga un valor de eficiencia igual a uno en el caso de que los slacks sean cero (Jordá, 2012).

Se deben introducir algunas modificaciones en el problema lineal del modelo CCR orientado al input (2.5) para poder evaluar los slacks. Una vez que se incluyen los slacks, queda el modelo propuesto por Banker et al. (1984):

$$Minimizar\ \ h_0 = \theta_0 - \varepsilon\left(\sum_{j=1}^{n} s_j^+ + \sum_{i=1}^{m} s_i^-\right)$$

$Sujeto\ a$:

$$\sum_{k=1}^{k} \lambda_k\, x_{ik} + s_i^- = \theta_0 x_{ik0}$$

$$0 \le \theta_0 \le 1,$$

$$\sum_{k=1}^{k} \lambda_k\, y_{jk} - s_j^+ = y_{jk0},$$

$$\lambda_k, s_i^-, s_j^+ \ge 0,$$

$$\varepsilon > 0, valor\ pequeño\ y\ próximo\ a\ cero$$

$$i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K.$$

(2.9)

Así, el programa lineal anterior, vuelve a dar como resultado valores del factor de eficiencia θ_0 comprendidos entre cero y uno. Además, y a diferencia de modelos anteriores, proporciona los valores de los vectores de slacks s_i^- y s_j^+, que pueden ser iguales o superiores a cero. En modelos posteriores, ε deja de ser utilizado.

Posterior a la contribución de Banker se han desarrollado varios modelos utilizando los slacks, por ejemplo uno de los problemas era que ahora se daban diferentes casos de eficiencias, (Zhu, 2001):

1. DMUs eficientes, ya que cumplen que θ toma como valor uno y sus slacks son iguales a cero (DMU M', en la figura 2 -15).

2. DMUs eficientes extremos, con características iguales a los anteriores, pero en ellos empieza la parte de la frontera que es asintótica a los ejes x e y (DMUs A y B, en la figura 2-15).

3. DMUs débilmente eficientes, ya que si bien el valor de θ es igual a uno, al menos uno de sus inputs es susceptible de ser reducido para mejorar la producción. (DMU N', en la figura 2-15).

Para resolver el problema de clasificación de DMUs eficientes planteado por Zhu, Andersen y Petersen (1993) plantean el concepto de **super-eficiencia**, que consiste en obtener, mediante la reformulación de los modelos CCR y BCC, nuevos valores θ^* de todos aquellos DMUs que hubieran obtenido valor igual a uno. De esta manera, se puede establecer un **ranking** de los DMUs eficientes, ya que con el nuevo modelo, se pueden tener valores de eficiencia mayores que uno, y por tanto, diferenciar entre DMUs eficientes. A continuación, se muestra uno de estos modelos:

$$Minimizar \ \ h_0 = \theta_0^*$$

$$Sujeto\ a:$$

$$\sum_{k=1,k\neq 0}^{k} \lambda_k \, x_{ik} = \theta_0^* x_{ik0}$$

$$\theta_0^* \geq 0,$$

$$\sum_{k=1,k\neq 0}^{k} \lambda_k \, y_{jk} = y_{jk0},$$

$$\lambda_k (k \neq 0) \geq 0,$$

$$i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K.$$

(2.10)

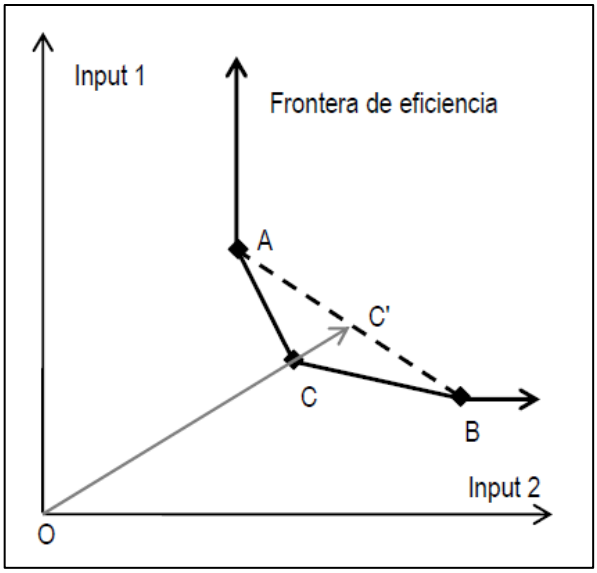


Figura 2-16. Evaluación de la super-eficiencia de un DMU. Representación input-input.
Fuente: Andersen y Petersen (1993) y Jordá (2012)

Tal como queda expresado en el modelo 2.10, y como se puede ver en la figura 2-16, la idea es resolver el modelo de nuevo, pero sin considerar el punto que era eficiente en la primera iteración (C en la figura), de tal manera que, el valor resultante en el nuevo modelo, es mayor que uno, tal como se muestra en el vector OC'. Así, se puede dar valores diferentes a cada DMU eficiente, por lo que es posible ordenarlos.

Lovell y Rouse (2003) proponen diferentes aplicaciones con estos modelos:

1. Establecer un ranking de DMUs eficientes.
2. Análisis de sensibilidad de las clasificaciones de eficiencia.
3. Identificar valores atípicos de la base de datos.

Modelo FDH

La envolvente de libre disposición (Free Disposal Hull o FDH, por sus siglas en inglés) es otro modelo DEA en el que, con los mismos datos de partida que los modelos CCR y BCC, se define una frontera de eficiencia diferente. Consiste en que los pesos λ de los factores de producción (outputs e inputs) puedan tomar valores iguales a cero, de ahí que tengan libre disposición. Esta condición excluye las combinaciones lineales de las observaciones (los DMUs) por lo que no se impone convexidad a la frontera. Esta condición es la que provoca que la frontera tenga forma escalonada (figura 2-17), en lugar de convexa, como los modelos con REV (Kerstens, 1996).

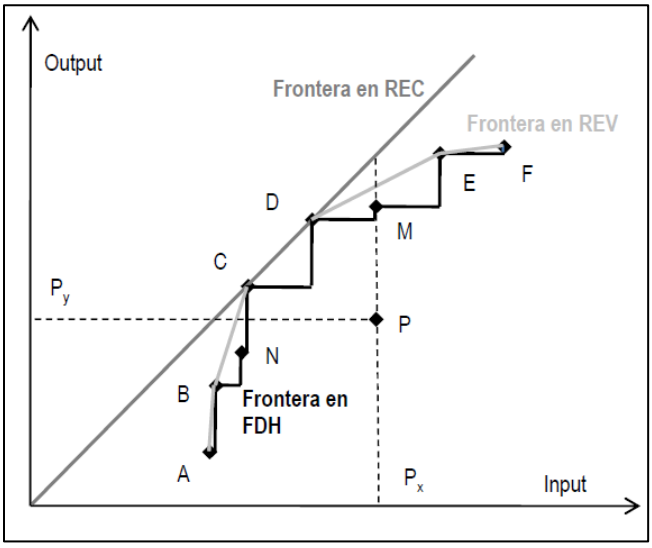


Figura 2-17. Fronteras de eficiencia. Diferencia entre modelos CCR (REC), BCC (REV) y modelo FDH. Representación output-input. Fuente: De Borger et al. (2002) y Jordá (2012).

Se observa que la frontera FDH es menos restrictiva que las obtenidas con los modelos CCR y BCC bajo rendimientos de escala constantes (REC) y variables (REV). El DMU P de la figura 2-17 requiere una proyección menor a la frontera FDH, tanto para el output (vertical) como para el input (horizontal). Este hecho desaconseja su uso.

De Borger et al. (1998) señalan como ventajas de este modelo la imposición mínima de condiciones. Como desventajas señalan, por un lado, el no poder detectarse congestión en la tecnología utilizada, entendida ésta como la reducción en la producción de outputs debido a un exceso en la cantidad de inputs utilizados (Jordá, 2012).

b.2 Modelos en los que se obtiene la eficiencia utilizando los slacks

Como se mencionó en el apartado anterior, la evaluación radial de la eficiencia no es del todo satisfactoria. Se deben considerar los slacks. Si bien en el estudio de Banker et al. (1984) ya aparecían los slacks en la formulación (2.9), la eficiencia se obtenía de manera radial, y después se podía corregir teniendo en cuenta los slacks. No será hasta estudios como el de Bogetoft y Hougaard (1998) o el de Tone (2001) cuando se formulen nuevos **modelos** de medida de la eficiencia **basados únicamente en los slacks** (**Slacks Based Measure o SBM**, por sus siglas en inglés). La idea es evitar todo el problema que existía en aquel momento sobre cómo clasificar los distintos DMUs eficientes según la medida radial. Con estos nuevos modelos, solo son eficientes aquellos DMUs en los que todos los valores de sus slacks son iguales a cero. Luego entonces el modelo de Tone (2001) utilizando slacks queda de la siguiente forma:

SBM orientado al input en REC:

$$Minimizar\ \rho = \frac{1 - \left(\frac{1}{m}\right)\sum_{i=1}^{m}\frac{s_i^-}{x_{ik0}}}{1 + \left(\frac{1}{n}\right)\sum_{j=1}^{n}\frac{s_j^+}{y_{jk0}}}$$

$Sujeto\ a$:

$$\sum_{k=1}^{k} \lambda_k\, x_{ik} + s_i^- = x_{ik0}\ ,$$

$$\sum_{k=1}^{k} \lambda_k\, y_{jk} - s_j^+ = y_{jk0},$$

$$\lambda_k, s_i^-, s_j^+ \geq 0,$$

$$i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K.$$

(2.11)

Se transforma en el siguiente problema lineal, para facilitar su resolución. Las transformaciones que se hacen son las siguientes:

$$\rho = \mathrm{T}, \lambda_k = \frac{\Delta_k}{t}; s_i^- = \frac{S_i^-}{t}, s_j^+ = \frac{S_j^+}{t}$$

SBM orientado al input en REC:

$$Minimizar \ \mathrm{T} = t - \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{S_i^-}{x_{ik0}}$$

$$Sujeto\ a:$$

$$1 = t + \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{S_j^+}{y_{jk0}} \ ,$$

$$\sum_{k=1}^{k}\Delta_k\, x_{ik} + S_i^- = t x_{ik0} \ ,$$

$$\sum_{k=1}^{k}\Delta_k\, y_{jk} - S_j^+ = t y_{jk0},$$

$$\Delta_k, S_i^-, S_j^+ \geq 0, t > 0,$$

$$i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K.$$

(2.12)

En el modelo (2.12), un DMU es eficiente si T es igual a uno. Este hecho solo ocurre en caso de que los valores de los slacks sean todos iguales a cero, tal como se ha indicado. De esta manera, se resuelve el problema de la medida radial, en el que se puede etiquetar a un DMU como eficiente si θ es igual a uno, independientemente de que el valor de los slacks no sean cero. En Tone (2002), el mismo autor desarrolla un modelo SBM capaz de medir la súper-eficiencia. En este caso, más que para evitar incluir DMUs con slacks diferentes a cero en el grupo de eficientes, el objetivo del modelo es clasificar los DMUs con valores de la eficiencia iguales a uno, pudiendo, por tanto, establecerse un ranking de eficiencia entre ellos.

Modelo MEA

El análisis de eficiencia multidireccional (Multi-directional Efficiency Analysis o MEA, por sus siglas en inglés) fue propuesto en el trabajo de Bogetoft y Hougaard (1998), sentándose los principios teóricos del modelo. Con este modelo se calcula la frontera de eficiencia de una manera similar a los modelos radiales. La diferencia radica en el momento de comparar los DMUs bajo análisis, con aquellos que pertenecen a la frontera, con el fin de evaluar su ineficiencia. Es decir, el proceso de selección de los puntos de referencia, en la frontera de eficiencia, para cada DMU analizado. Así, en vez de proyectarse los DMUs radialmente hacia la frontera, como en el caso de los modelos del apartado anterior, en primer lugar se busca un punto, perteneciente al conjunto de soluciones no posibles (no envueltas por la frontera), tal que la reducción de todos los inputs del DMU sea máxima.

Una vez que se tiene ese primer punto de referencia, se proyecta el DMU analizado hacia la frontera en la dirección que lo une con el punto de referencia calculado. El punto que se utiliza para la comparación se obtiene al cortar la recta resultante con la frontera. Lo importante de este modelo es la proyección del DMU hacia la frontera, más que el cálculo de la propia frontera. La idea es obtener la máxima reducción posible de cada input manteniendo fijos el resto de inputs. En la figura 2-18 se muestra la proyección en el modelo MEA.

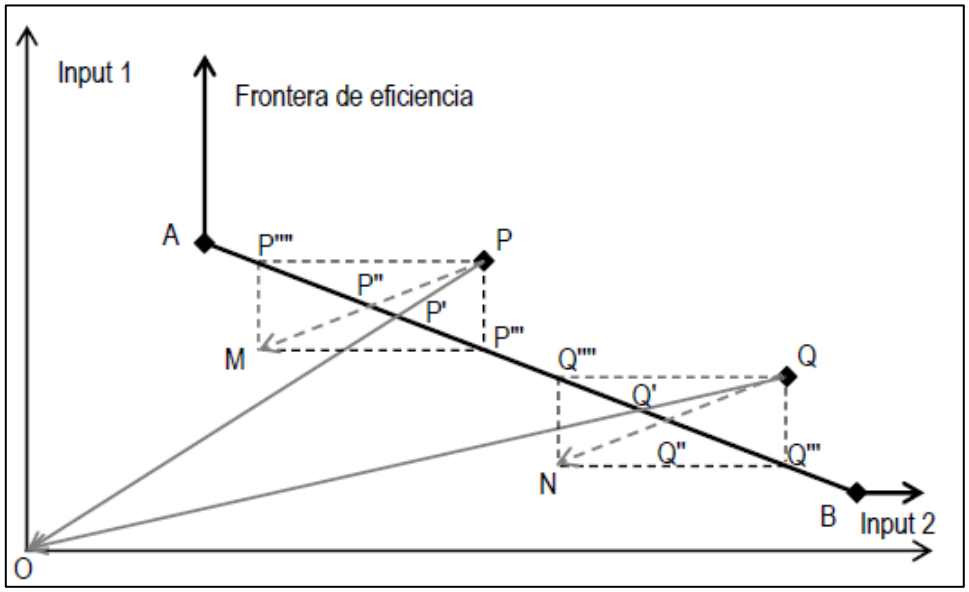


Figura 2-18. Diferencias entre la proyección radial y la proyección basada en slacks del modelo MEA. Fuente: Bogetoft y Hougaard (1998) y Jordá (2012).

En la figura 2-18 se observa lo siguiente. Si los DMUs no eficientes P y Q se proyectan radialmente hacia el origen, como se hace en los modelos CCR y BCC, se observa que sus eficiencias son diferentes, al ser diferentes la relación OP' / OP, frente a la OQ' / OQ, donde P' y Q' son los puntos de referencia en la frontera. Sin embargo, si los DMUs P y Q se proyectan hacia los puntos M y N, que son los que se obtienen al maximizar la reducción de input 1 (proyección vertical a P''' y Q''') e input 2 (proyección horizontal a P'''' y Q''''), según el modelo MEA, se obtienen los puntos P'' y Q'' de referencia en la frontera. En este caso, los vectores PM y QN son exactamente iguales, ya que los valores de los slacks son similares para ambos DMUs P y Q, por lo que con esta nueva proyección se obtendrían valores de la eficiencia idénticos, frente a los valores diferentes de la proyección radial.

Por tanto, con el modelo MEA, cada DMU tienen una dirección diferente de proyección hacia la frontera, de ahí el uso del término multidireccional en el nombre del modelo.

El modelo MEA pone de manifiesto la importancia de evaluar la eficiencia de los DMUs con base a los slacks, frente a la medida radial de los modelos DEA originales.

Modelos GEM:

Cooper et al. (1999) y Pastor et al. (1999) proponen modelos en los que se busca obtener una maximización de outputs y minimización de inputs que, de manera simultánea, consigan la máxima eficiencia en la operación. Son modelos orientados a los dos grupos de factores de producción. Se conocen como medidas generalizadas de la eficiencia (Generalized Efficiency Measures o GEM, por sus siglas en inglés). Se muestra el modelo RAM y el modelo CGM.

Modelo RAM

Modelo RAM (Range Adjusted Measure, por sus siglas en inglés): propuesto por Cooper et al. (1999), es un modelo GEM que mide la ineficiencia de un DMU no con una medida radial de la eficiencia, sino que usa los slacks:

$$Maximizar\ \ h_0 = \frac{1}{m+n}\left(\sum_{i=1}^{m}\frac{s_{i0}^{-}}{R_i^{-}} + \sum_{j=1}^{n}\frac{s_{r0}^{+}}{R_j^{+}}\right)$$

$Sujeto\ a$:

$$\sum_{k=1}^{k} \lambda_k\, x_{ik} + s_i^{-} = x_{ik0}\ ,$$

$$\sum_{k=1}^{k} \lambda_k\, y_{jk} - s_j^{+} = y_{jk0},$$

$$\lambda_k, s_i^{-}, s_j^{+} \geq 0,$$

$$R_i^{-} = \mathrm{x}_{i1} - \mathrm{x}_{i2} \qquad \mathrm{x}_{i1} = max_k[x_{ik}], \mathrm{x}_{i2} = min_k[x_{ik}],$$

$$R_j^{+} = \mathrm{y}_{j1} - \mathrm{y}_{j2} \qquad \mathrm{y}_{j1} = max_k[y_{jk}], \mathrm{y}_{j2} = min_k[y_{jk}],$$

$$i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K.$$

(2.13)

En el modelo (2.13), R_i^{-} y R_j^{+} representan los rangos ajustados, obtenidos como la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de cada input y cada output del conjunto K de DMUs.

Pastor et al. (1999) proponen el siguiente modelo, en el que, a diferencia del RAM, la medida de la eficiencia no se obtiene mediante la suma de slacks, sino que se evalúa según una relación entre los valores de los factores de eficiencia de los inputs y los outputs:

$$Minimizar\ \ h_0 = \frac{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\theta_0}{\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\phi_0}$$

$Sujeto\ a$:

$$\sum_{k=1}^{k}\lambda_k\, x_{ik} = \theta_0 x_{ik0}\ , \qquad 0 \le \theta_0 \le 1,$$

$$\sum_{k=1}^{k}\lambda_k\, y_{jk} = \phi_0 y_{jk0}, \qquad \phi_0 \ge 1,$$

$$\lambda_k \ge 0,$$

$$i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K.$$

(2.14)

Modelo CGM

Una propuesta de modelo interesante es la que hacen Tsutsui et al. (2009). Basándose en los modelos CCR y BCC, desarrollan un nuevo modelo, la medida del gradiente de costos (Cost Gradient Measure o CGM, por sus siglas en inglés). Este nuevo modelo incorporar a los modelos originales los precios de los inputs que, como se ha comentado en el apartado anterior, los métodos no paramétricos excluían, lo que no se hacía en los métodos paramétricos. Por tanto, este modelo cubre una laguna pendiente en el DEA. Sin embargo, debe recordarse que una de las principales justificaciones de usar el método DEA es precisamente evitar el uso de información sobre costos de los factores de producción que generalmente no está disponible. Si en otros modelos SBM, la reducción de inputs se hacía de manera no radial, basada en los slacks, en los modelos CGM, la reducción de inputs se hace dando pesos a cada uno de ellos, y en el caso de Tsutsui et al. (2009), esos pesos vienen determinados por los precios. La idea es obtener el valor de la eficiencia combinado los inputs, de tal manera, que se logre una maximización del ahorro en costos de producción.

En la figura 2-19 se aprecia cómo se produce la proyección del DMU hacia la frontera de una manera diferente a la realizada en los modelos radiales o SBM:

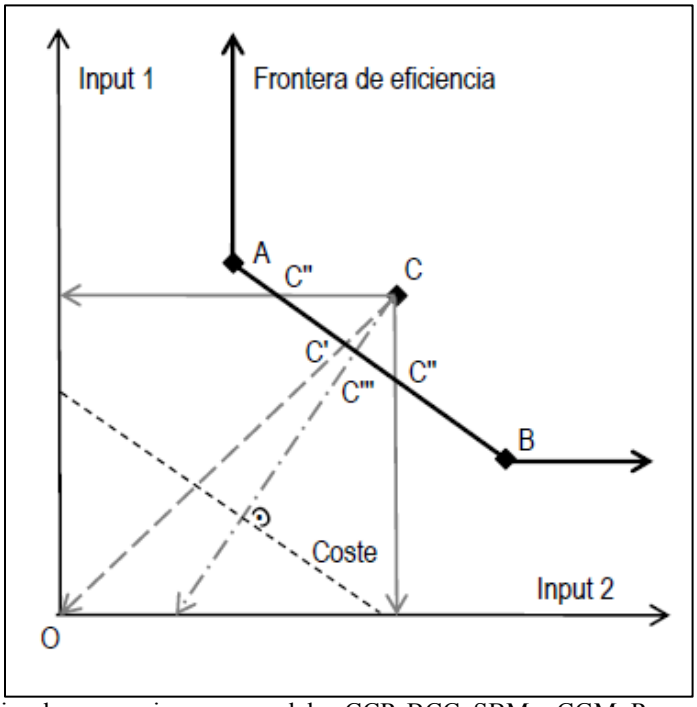


Figura 2-19. Diferencias de proyecciones en modelos CCR-BCC, SBM y CGM. Representación input-input. Fuente: Tsutsui et al. (2009) y Jordá (2012).

Para los tres casos CCR-BCC, SBM y CGM, la frontera obtenida con los modelos es la misma y solo varía la forma en que se proyecta. Frente a la proyección radial (C') y la no radial (C''), el modelo CGM proyecta perpendicularmente a la línea de costos (no radial), obteniéndose una proyección en la frontera (C''') diferente a la de los otros modelos.

Para finalizar la revisión de los diferentes modelos DEA, en la figura 2-20 se resumen los modelos comentados a lo largo de este apartado, así como su evolución:

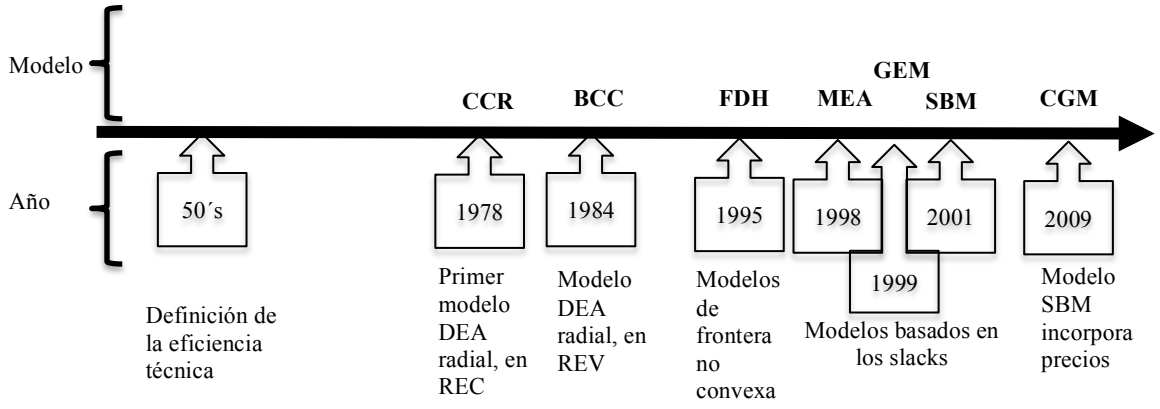


Figura 2-20. Resumen de modelos DEA estudiados en el estado del arte. Fuente: Jordá (2012)

2.2.2 Estudios sobre la evaluación de la eficiencia técnica del transporte público urbano

En este apartado se muestran diversos estudios en el área del transporte público urbano, se mencionan los siguientes casos: líneas de autobuses, aeropuertos, estaciones de transferencia y aerolíneas. En la tabla 2-7 se señalan los autores, la descripción de sus estudios, el modelo que utilizaron, así como los inputs y outputs que consideraron.

Tabla 2-7. Resumen de estudios de la eficiencia del transporte público urbano con modelos DEA

Autor	Modelos	Descripción	Inputs	Outputs
Lai et al. (2015)	DEA AHP/DEA AR	Compara la eficiencia técnica entre 24 importantes aeropuertos internacionales usando un método de decisión multi-criterio.	Número de trabajadores Número de puertas Número de pistas Tamaño de la terminal Longitud de las pistas Gastos de operación	Número de pasajeros Cantidad de carga Movimientos aéreos Ingresos totales
Jahangoshai Rezaee et al. (2015)	DEA y juego de probabilidad de Nash	Evalúa la eficiencia técnica de 24 líneas de autobuses mediante varias mediciones.	Distancia del viaje Número de paradas Vehículos/hora al año Población de 65 años o más Trabajadores con más de 16 años Población con	Total de viajes al año
Sreekanth Mallikarjun (2014)	DEA radial orientación general en REV	Mide la eficiencia de 14 grandes aerolíneas de Estados Unidos y de 14 aerolíneas nacionales, separándolas en dos grupos e identificando las causas de su ineficiencia.	Gastos de operación	Ingresos
Caulfield (2013)	DEA	Identifica la más eficiente solución para la ruta al aeropuerto central de Dublín, establece las razones de su ineficiencia.	Costo de operación	Tiempo de viaje ahorrado Preferencia Número de carros reducidos
Li (2013)	DEA	Analiza la eficiencia de las líneas de autobús en Beijing	Índice virtual Tarifa/pasajero	Nivel de seguridad Tiempo de fila Velocidad promedio
Yu-Chun Chang and Ming-Miin Yu (2012)	DEA-SBM, orientación al input y al output.	Mide la eficiencia de 16 aerolíneas internacionales.	Número de trabajadores Flota de aviones Combustible consumido Asientos disponibles/km Destino	Asientos disponibles/km Destino Pasajeros/Millas Factor ambiental Huella de carbono
Young-Tae Chang et al. (2012)	DEA-SBM, orientación al input, REV	Evalúa la eficiencia de 27 aerolíneas globales en aspectos económicos y ambientales.	Disponibilidad de combustible Consumo de combustible Número de trabajadores	Ingresos kilómetros Emisiones de carbono
Jordá et al. (2012)	DEA-SBM, orientación al input, REV	Analiza la eficiencia técnica de las compañías de bus urbano de España.	Vehículo/km	Longitud de la rutas Número de vehículos Costos de operación

Tabla 2-7. Resumen de estudios de la eficiencia del transporte público urbano con modelos DEA (continuación)

Autor	Modelos	Descripción	Inputs	Outputs
Von Hirschhausen y Cullmann (2010)	DEA	Analiza la eficiencia de 179 compañías de autobús en Alemania.	Labor (número de horas trabajadas) Número de autobuses	Asiento disponibles/km
Sun et al. (2010)	DEA radial, orientación al input, CRS	Mide la eficiencia técnica de 10 terminales de transferencia en Beijín, tratando de mejorarlas.	Área de transferencia Costos de operación Número de trabajadores Capacidad de los autobuses	Seguridad Tiempo de transferencia Total de pasajeros al día
Pestana y Peypoch (2010)	DEA-Índice Malmquist	Evalúa la eficiencia de las compañías de autobuses en Portugal a través del tiempo	Capacidad de vehículos Coste del combustible Trabajadores Activos líquidos	Pasajeros totales Ventas
Lao and Liu (2009)	DEA radial, orientación al output	Evalúa la eficiencia de líneas de autobús de manera individual desde dos perspectivas, la operacional y la espacial, comparando los resultados de ambas.	Distancia del viaje Número de paradas Vehículos/hora al año Población de 65 años o más Trabajadores con más de 16 años Población con movilidad reducida	Total de viajes al año
Odeck (2006)	DEA radial, orientación al input	Analiza la eficiencia del autobús urbano en Noruega	Consumo de combustible Trabajo Capital	Plazas-km
Karlaftis (2004)	DEA orientación al output	Evalúa la eficiencia de los autobuses en Estados Unidos	Número de trabajadores Consumo de combustible Capital	Vehículos/millas anuales

Fuente: Román-De la Sancha (2016). Modeling urban transfer stations efficiency

Como puede observarse en la tabla 2-7, el modelo depende del sector analizado, la orientación del nivel de control que se tenga de los recursos y la producción, o del objetivo deseado, por último el rendimiento de escala de la homogeneidad del sector. A pesar del desarrollo de los modelos basados únicamente en slacks sigue manteniéndose el uso con modelos radiales. Sin embargo, como se mencionó antes, los modelos SBM afinan más el valor de la eficiencia y son más rigurosos que los modelos radiales. Por lo anterior los CETRAM serán evaluados con un modelo SBM. Respecto a la orientación, debido a que se estudian los tres aspectos de la sustentabilidad (económico, social y ambiental) se tendrán dos orientaciones, la orientación al input para el aspecto económico y ambiental y la orientación al output para el aspecto social, en el Capítulo 4 (Metodología) se justificarán dichas orientaciones. Finalmente los rendimientos de escala serán variables (REV) debido a que los CETRAM estudiados tienen diferentes tamaños y tipos de servicio del transporte público, por lo que se comparará la eficiencia solamente entre CETRAM similares.

Por otra parte, es muy importante tener en cuenta el número de DMUs que se van a analizar. Muchos autores cumplen con la regla empírica desarrollada por Brockett y Golany en 1996 (fórmula 2.15). La regla consiste en que el tamaño de la muestra sea consistente con el número de variables a utilizar, el número de DMUs considerados para el análisis deben ser al menos tres veces la suma del número de outputs e inputs utilizados en el modelo:

$$n^{\circ}\text{DMUs} \geq 3 * (\, n^{\circ}\ \text{Outputs} + \ n^{\circ}\ \text{Inputs}\,) \tag{2.15}$$

Con ello se evita incluir más variables (outputs e inputs) de las necesarias, ya que provocan un aumento de los grados de dependencia entre ellas, y por tanto, un aumento en el valor de la eficiencia de todos los DMUs, considerando eficientes aquellos que no lo son (Kerstens, 1996).

Por lo tanto, el modelo SBM utilizado además de ser más afinado y riguroso elimina el problema de clasificación de DMUs eficientes señalada por Zhu (2001), quedando el problema de la siguiente forma:

SBM con orientación al input:

$$Minimizar \ \mathrm{T} = t - \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{S_i^-}{x_{ik0}}$$

$$Sujeto\ a:$$

$$1 = t + \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{S_j^+}{y_{jk0}} \ ,$$

$$\sum_{k=1}^{k}\Delta_k\, x_{ik} + S_i^- = t x_{ik0} \ ,$$

$$\sum_{k=1}^{k}\Delta_k\, y_{jk} - S_j^+ = t y_{jk0},$$

$$\Delta_k, S_i^-, S_j^+ \geq 0, t > 0,$$

$$i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K.$$

SBM con orientación al output:

$$Maximizar \ \mathrm{T} = t - \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{S_j^+}{y_{jk0}}$$

$$Sujeto\ a:$$

$$1 = t + \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{S_i^-}{x_{ik0}},$$

$$\sum_{k=1}^{k}\Delta_k\, x_{ik} + S_i^- = t x_{ik0} \ ,$$

$$\sum_{k=1}^{k}\Delta_k\, y_{jk} - S_j^+ = t y_{jk0},$$

$$\Delta_k, S_i^-, S_j^+ \geq 0, t > 0,$$

$$i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K.$$

El rendimiento de escala considerado en ambos casos es variable (REV). Los cálculos fueron realizados utilizando el software MaxDEA Basic 6.4, desarrollado por Cheng Gang y Qian Zhenhua en Beijing (2015). Este software tiene amplias aplicaciones del método DEA, dando la opción de elegir modelos radiales, SBM, análisis de costos, análisis a través del tiempo, entre otros. Por ejemplo, el índice Malmquist podría utilizarse para evaluar la eficiencia de los CETRAM a lo largo del tiempo, para ello se necesitaría tener datos precisos de las variables que describan este comportamiento, cada año.

3. CASOS DE ESTUDIO

En este capítulo se mencionan los CETRAM considerados como casos de estudio de esta tesis. Se hace uso de algunas fichas técnicas para su mejor exposición, mencionado las principales características geométricas, de operación, oferta, demanda, tecnología, aspectos financieros, sociales y ambientales. Así mismo, se hace una breve descripción de su localización, aspectos históricos, de gestión y su entorno urbano, mencionando que colonias rodean a estos centros de transferencia en un radio de 1 km, y que sitios representativos de la ZMVM caen dentro del mismo. Por otra parte, se explica las razones de la exclusión de algunos CETRAM.

La información presentada en las fichas técnicas se obtuvo de solicitudes de información a través del portal web INFOMEX, visitas de campo y de cálculos realizados. Esta información se solicitó a las dependencias encargadas de la movilidad urbana, transporte público, medio ambiente, entre otras. La generación de esta base de datos se explica a detalle en el Capítulo 4 (Metodología).

3.1 CETRAM considerados en la ZMVM

De los 52 CETRAM mencionados en el Capítulo 2 (Antecedentes) sólo se consideran para casos de estudio 39, debido a diferentes razones, falta de información, el CETRAM no contaba con las características mínimas de intermodalidad, las dependencias encargadas de su administración ya no los consideraban CETRAM, o estaban a punto de serlo, por lo tanto no se contaba con datos, entre otras. Por ejemplo, según la página oficial de la Coordinación de los Centros de Transferencia Modal, actualmente se operan 40 CETRAM en la Ciudad de México, sin embargo, esto fue contradictorio con la información recibida por parte de la oficina de información pública de la misma dependencia, en algunos casos mencionaban 45, 43, 41, incluso mencionaban CETRAM que ya no operaban como tal, sin embargo, en la página lo mencionan y se corroboró con visitas de campo que operaban cotidianamente con personal del CETRAM. Algo similar sucedió con la información solicitada a la Secretaría de Movilidad del Estado de México, a veces mencionaban dos, tres o cuatro CETRAM. Por las anteriores razones algunos CETRAM fueron descartados.

De los 39 casos de estudio que a continuación se abordan, cabe mencionar que su orden es comenzando la numeración con el CETRAM que mayor pasajeros atiende y finalizando con el que menos lo hace. De acuerdo con la información de la Secretaría de Movilidad de la CDMX, estos CETRAM abarcan aproximadamente 80 hectáreas, en las que hay 32 km de bahías, cobertizos, zonas comerciales y de servicios. Proporcionan servicio a seis millones de usuarios al día y a 23 mil unidades de transporte público. El 33% de la afluencia se concentra en Pantitlán, Indios Verdes, Tasqueña y Chapultepec.

Todos los datos aquí reportados corresponden al mes de septiembre del año 2015. Sin embargo, en algunos casos se actualizaron a febrero de 2016, debido a la incorporación de nuevos servicios de transporte público en la ZMVM. También se consultó la Encuesta Origen-Destino 2007 realizada por el INEGI, que corresponde a la encuesta más reciente en cuanto a movilidad urbana de la ZMVM. En la tabla 3-1 se muestran los 39 CETRAM considerados para casos de estudio, y en la tabla 3-2 los 13 que no lo fueron y las razones de su exclusión.

Tabla 3-1. CETRAM considerados

No.	CETRAM	Alcaldía/Municipio
1	Pantitlán	Venustiano Carranza
2	Indios Verdes	Gustavo A. Madero
3	Tasqueña	Coyoacán
4	Chapultepec	Cuauhtémoc
5	Cuatro Caminos	Naucalpan de Juárez
6	El Rosario	Azcapotzalco
7	Universidad	Coyoacán
8	Constitución de 1917	Iztapalapa
9	Zaragoza	Venustiano Carranza
10	Ciudad Azteca	Ecatepec de Morelos
11	Boulevard P. Aéreo	Venustiano Carranza
12	Martín Carrera	Gustavo A. Madero
13	Tacuba	Miguel Hidalgo
14	Politécnico	Gustavo A. Madero
15	Zapata	Benito Juárez
16	La Raza	Gustavo A. Madero
17	Tacubaya	Miguel Hidalgo
18	Observatorio	Álvaro Obregón
19	M. A. Quevedo	Coyoacán
20	Santa Marta	Iztapalapa
21	San Lázaro	Venustiano Carranza
22	Viveros	Coyoacán
23	Moctezuma	Venustiano Carranza
24	Central de Abastos	Iztapalapa
25	Tepalcates	Iztapalapa
26	Deportivo 18 de Marzo	Gustavo A. Madero
27	Potrero	Gustavo A. Madero
28	Huipulco	Tlalpan
29	Mixcoac	Benito Juárez
30	Dr. Gálvez	Álvaro Obregón
31	Ferroplaza	Gustavo A. Madero
32	Villa Cantera	Gustavo A. Madero
33	Iztapalapa	Iztapalapa
34	Balbuena	Venustiano Carranza
35	Barranca del Muerto	Álvaro Obregón
36	Xochimilco	Xochimilco
37	Refinería	Azcapotzalco
38	Coyuya	Iztacalco
39	Santa Anita	Iztacalco

Fuente: elaboración propia

De los 39 CETRAM considerados se reparten en las alcaldías de la siguiente manera: tres en Álvaro Obregón, dos en Azcapotzalco, dos en Benito Juárez, cuatro en Coyoacán, uno en Cuauhtémoc, ocho en Gustavo A. Madero, cinco en Iztapalapa, dos en Iztacalco, dos en Miguel Hidalgo, uno en Tlalpan, seis en Venustiano Carranza y uno en Xochimilco. Los municipios del Estado de México son Ecatepec de Morelos y Naucalpan de Juárez, con un CETRAM cada uno.

Tabla 3-2. CETRAM no considerados

No.	CETRAM	Razones de exclusión
1	San Antonio Abad	La coordinación de CETRAM ya no lo considera como tal, por lo que no se contaba con datos
2	Insurgentes/Oaxaca	La coordinación de CETRAM ya no lo considera como tal, por lo que no se contaba con datos
3	Buenavista	La coordinación de CETRAM estaba a punto de incorporarlo, sin embargo, no se contaba con datos
4	Apatlaco	La coordinación de CETRAM ya no lo considera como tal, por lo que no se contaba con datos
5	Escuadrón 201	La coordinación de CETRAM ya no lo considera como tal, por lo que no se contaba con datos
6	Periférico Oriente	Cuando se hizo el levantamiento de los CETRAM no fue posible acceder a éste, por los trabajos de reparación de la Línea 12, por lo que la información recopilada fue insuficiente
7	Canal de Chalco	El CETRAM no cuenta con una intermodalidad mínima, es decir, al menos dos modos de transporte. A este CETRAM solo converge el transporte colectivo
8	Acatitla	El CETRAM se encuentra abandonado
9	Canal de San Juan	La coordinación de CETRAM ya no lo considera como tal, por lo que no se contaba con datos
10	Tláhuac	Cuando se hizo el levantamiento de los CETRAM no fue posible acceder a éste, por los trabajos de reparación de la Línea 12, por lo que la información recopilada fue insuficiente
11	Deportivo Xochimilco	El CETRAM no cuenta con una intermodalidad mínima, es decir, al menos dos modos de transporte. A este CETRAM solo converge el transporte colectivo
12	Tlalnepantla	La información recibida por parte de la Secretaría de Movilidad del Estado de México fue insuficiente para el análisis
13	La Paz	La información recibida por parte de la Secretaría de Movilidad del Estado de México fue insuficiente para el análisis

Fuente: elaboración propia

Algunos CETRAM por la importancia de los transportes que convergen en ellos, como es el caso de Buenavista (Tren Suburbano, Metro y Metrobús), Insurgentes/Oaxaca (Metro y Metrobús), y Tlalnepantla (Tren Suburbano, Mexibús), deberían ser considerados para futuros análisis, pues sin duda su inclusión cambiaría el panorama de las eficiencias. Por otra parte, habría que hacerse estudios sobre la correcta ubicación de los CETRAM, pues casos como el de Acatitila o Santa Anita (prácticamente abandonados y sin uso) son evidencias de la falta de planeación. La adecuada localización de los CETRAM para que cumplan con la demanda de transporte, transferencia y como importantes puntos conectores de la ZMVM es un tema fuera del alcance de esta tesis, sin embargo, es muy importante, ya que se complementaría con lo que se aborda aquí, pues trataría más bien la efectividad y no la eficiencia.

En la figura 3-1 se muestra un mapa con la ubicación de los CETRAM considerados y no considerados

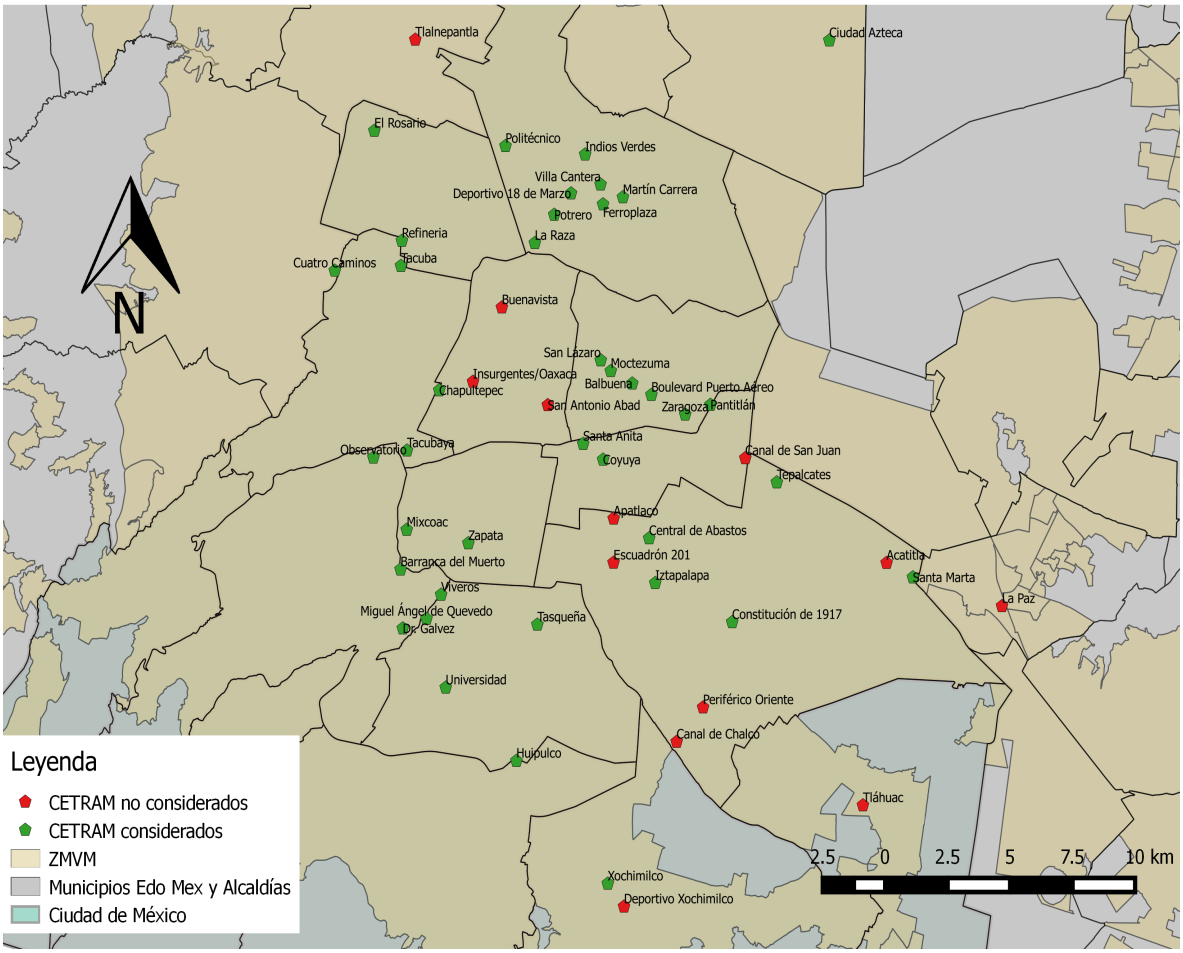


Figura 3-1. CETRAM considerados y no considerados.
Fuente: INEGI y elaboración propia

3.1.1 Pantitlán

Ubicado entre los límites de las alcaldías Venustiano Carranza e Iztacalco, se trata del CETRAM con mayor afluencia de pasajeros de los 39 casos de estudio considerados, de la ZMVM y de todo el país. Por éste transbordan diariamente 1 100 000 pasajeros, cuenta con la segunda área de transferencia más grande 88 949 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con cuatro líneas del STC (1, 5, 9 y A) que tienen cada una de ellas una de sus estaciones terminales en este CETRAM, otro modo es el Mexibús correspondiente a la línea 3, autobuses RTP, autobuses urbanos y foráneos, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Adolfo López Mateos, Ampliación Adolfo López Mateos, Pantitlán, Aviación Civil, Ampliación Aviación Civil, y Cuatro Árboles. Muy cerca se encuentra el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (Inventario Nacional de Vivienda 2015).

Áreas de oportunidad:
El CETRAM Pantitlán está muy cerca del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, lo cual es un área de oportunidad para la intermodalidad con tan importante punto de la ciudad, ofreciendo un mayor uso del transporte público de calidad, promover la integración social, generación de empleo y elevar la calidad de vida.

Desventajas:
Existe una gran cantidad de comercio ambulante. La intermodalidad con automóviles particulares y motocicletas es nula al no existir estacionamientos.

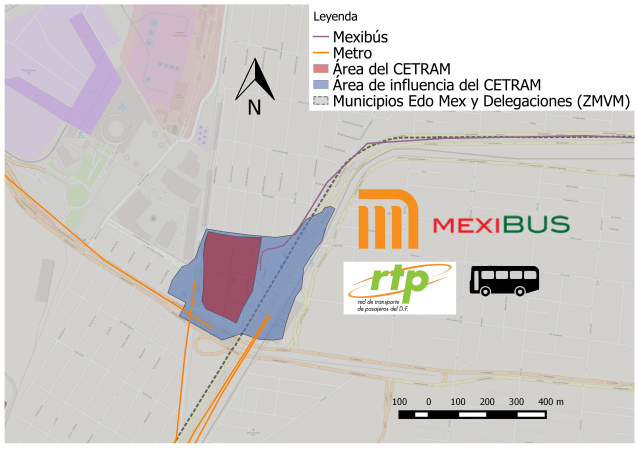
Ventajas:
Aunque debería ser obligación de todos los CETRAM evitar el cruce entre flujos peatonales y vehiculares para disminuir accidentes y congestionamientos, en la mayoría no es así, por ello, una ventaja de este CETRAM es que cuenta con puentes peatonales que separan dichos flujos, haciendo que la intermodalidad sea más rápida y segura. También cuenta con un amplio bici-estacionamiento.

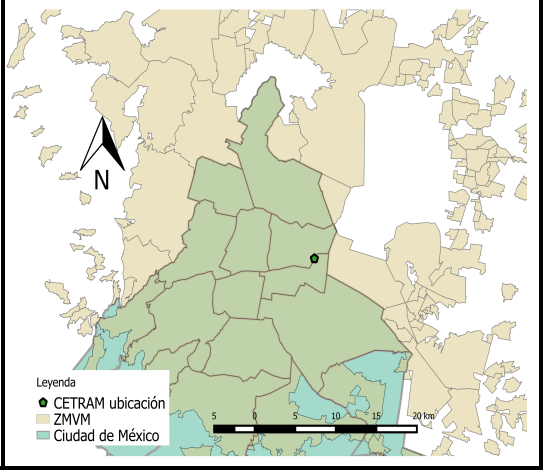
Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM, de acuerdo a las frecuencias y capacidades de los vehículos que arriban en él fue de 1 864 240 pasajeros al día. Algo contradictorio con lo que pasa día a día, pues se presentan congestionamiento de pasajeros y vehículos, insuficiencia e ineficiencia de los modos de transporte. Lo anterior se debe a la conjunción de diversos factores como: rutas origen-destino de los usuarios que coinciden en hora y lugar, inadecuada ubicación de los modos de transporte, frecuencias de salidas abiertas, paralelismo y competencia de rutas, todo ello se refleja en su mala operación (Román-De la Sancha, 2008). La mayoría de los CETRAM presentan esta misma situación.

El CETRAM está medianamente automatizado (60%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Sin embargo, cuenta con cámaras de video-vigilancia y señalamiento físico.

Tabla 3-3. Ficha técnica de Pantitlán

Pantitlán		Número 1
Año de creación		1982
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Venustiano Carranza
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	1,100,000
Operación	Número de trabajadores	6
	Automatización (%)	60
	Horas de operación (horas)	15
	Tiempo de transferencia promedio (min)	08:45
Oferta	Número de modos de transporte	4
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	1,864,240
Geometría	Superficie (m^2)	88,949
	Accesos y salidas vehiculares	5
	Sitio de taxi	sí
	Cajones de estacionamiento	0
	Bici-estacionamientos	sí
	Número de bahías	24
	Número de andenes	8
	Longitud de bahía (m)	300
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	55,217
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	150.8
	Emisiones de BC (ton/día)	19.28
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	60
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	7,532,800.00





Fuente: elaboración propia

3.1.2 Indios Verdes

Ubicado al norte de la Ciudad de México, en la alcaldía Gustavo A. Madero, se trata del segundo CETRAM con mayor afluencia de pasajeros. Por éste transbordan diariamente 950 000 pasajeros, su área de transferencia es de 64 714 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con una línea del STC (3) con una de sus estaciones terminales, Metrobús correspondiente a la línea 1, autobuses RTP, autobuses urbanos y foráneos, microbuses y vagonetas. Este CETRAM es la entrada y salida de muchos habitantes de los municipios de Tlalnepantla, Ecatepec, Tecámac y Coacalco. Cuenta con un amplio servicio de autobuses foráneos que conducen al Estado de México.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Lindavista, Residencial Zacatenco, Pueblo Santa Isabel Tola, Barrio Tepetates, Triunfo de la República, Rosas del Tepeyac, Pueblo San Pedro Zacatenco y Tepeyac Insurgentes (Inventario Nacional de Vivienda 2015).

Áreas de oportunidad:
Muy cerca se encuentra una pequeña terminal de autobuses, en un futuro esta puede ser integrada al CETRAM para mejorar la intermodalidad y la calidad de servicios de transporte.

Desventajas:
Existe una gran cantidad de comercio ambulante. El CETRAM está pobremente organizado y con problemas de salubridad. La intermodalidad con automóviles particulares, bicicletas y motocicletas es nula al no existir estacionamientos ni bici-estacionamiento.

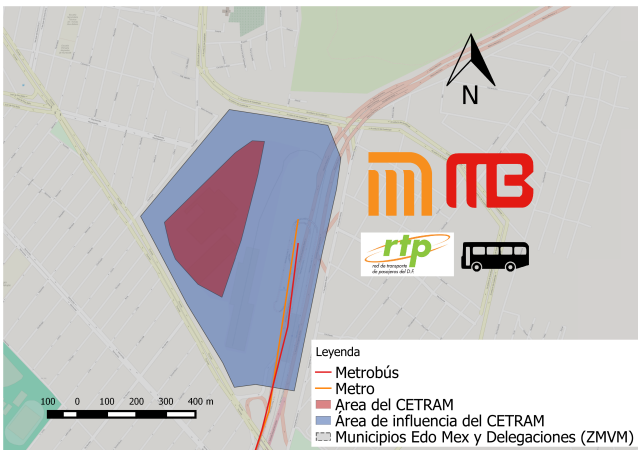
Ventajas:
Está conectado con la avenida principal Insurgentes, que comunica a la Ciudad de México con los municipios conurbados del Estado de México y que conduce hasta la ciudad de Pachuca, Hidalgo.

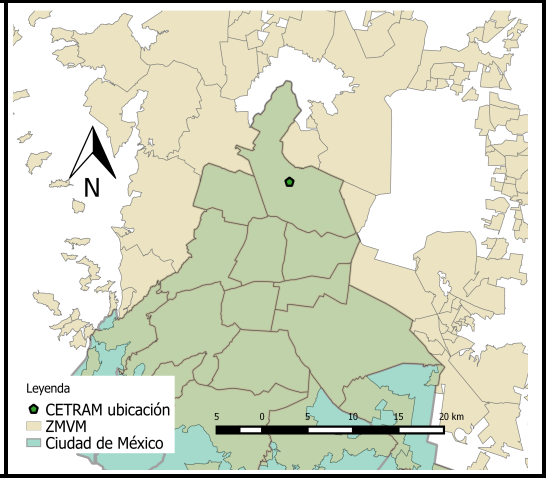
Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM, de acuerdo a las frecuencias y capacidades de los vehículos que arriban en él fue de 948 460 pasajeros al día, lo cual quiere decir que éste es insuficiente para la demanda de servicios, y lo será aún más en el futuro.

El CETRAM está poco automatizado (40%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Tampoco cuenta cámaras de video-vigilancia. Solo cuenta con señalamientos físicos en estado obsoleto.

Tabla 3-4. Ficha técnica de Indios Verdes

Indios Verdes		Número 2
Año de creación		1979
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Gustavo A. Madero
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	950,000
Operación	Número de trabajadores	20
	Automatización (%)	40
	Horas de operación (horas)	16
	Tiempo de transferencia promedio (min)	12:28
Oferta	Número de modos de transporte	4
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	948,460
Geometría	Superficie (m^2)	64,714
	Accesos y salidas vehiculares	19
	Sitio de taxi	sí
	Cajones de estacionamiento	0
	Bici-estacionamientos	no
	Número de bahías	17
	Número de andenes	2
	Longitud de bahía (m)	290
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	12,938
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	186.63
	Emisiones de BC (ton/día)	22.48
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	40
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	8,794,800.00





Fuente: elaboración propia

3.1.3 Tasqueña

Ubicado al sur de la Ciudad de México, en la alcaldía Coyoacán, se trata del tercer CETRAM con mayor afluencia de pasajeros. Por éste transbordan diariamente 750 000 pasajeros, su área de transferencia es de 38 066 m^2. Así mismo este CETRAM es de los que cuenta con mayor número de modos de transporte, siendo el Metrobús el único modo con el que no tiene conectividad. Los modos de transporte son: Metro, con una línea del STC (2) con una de sus estaciones terminales, Tren Ligero con una estación terminal, Trolebús líneas A y K, autobuses RTP, autobuses, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Campestre Churubusco, Santa Martha del Sur, Petrolera Taxqueña, Educación, El Centinela, Country Club, Conjunto California, Parque San Andrés, Atlantida, Multifamiliar Tlalpan y Hermosillo. Justo al lado del CETRAM se encuentra la Terminal Central de Autobuses del Sur (TCAS) (Inventario Nacional de Vivienda 2015).

Áreas de oportunidad:
Su estratégica ubicación a lado de la TCAS hace pensar que en un futuro el CETRAM se remodele con la finalidad de mejorar la intermodalidad integrando ambos cuerpos, por ende, brindar mejores servicios de transporte público a los pasajeros, haciendo más atractivo la transferencia en esta estación y de los servicios que puedan ofrecerse.

Desventajas:
Presencia de demasiado comercio ambulante y la falta de seguridad. Las instalaciones de bahías y zonas de espera del transporte público están en un estado obsoleto y degradante.

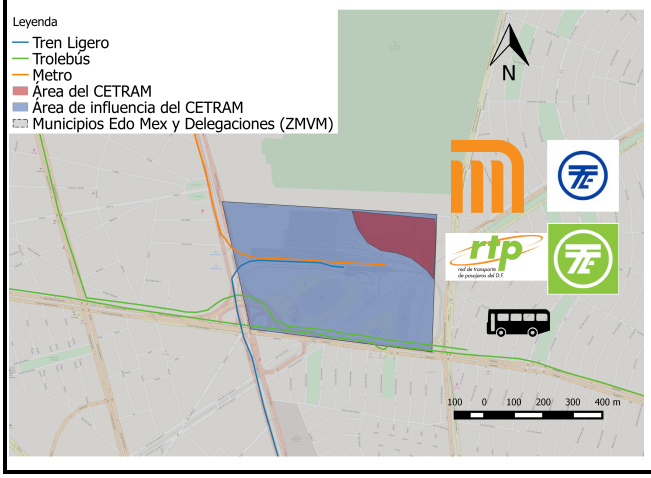
Ventajas:
El amplio estacionamiento y bici-estacionamiento con el que cuenta la TCAS le permite la transferencia con modos de transporte particular, como el automóvil, motocicleta y bicicleta.

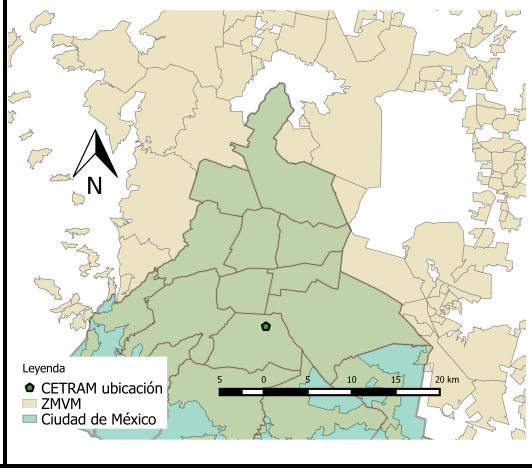
Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM, de acuerdo a las frecuencias y capacidades de los vehículos que arriban en él fue de 721 704 pasajeros al día, lo cual quiere decir que éste es insuficiente para la demanda actual. Es uno de los CETRAM que más horas opera en el día, de las 5:00 a las 23:30 horas.

El CETRAM está medianamente automatizado (60%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Sin embargo, cuenta cámaras de video-vigilancia y señalamiento físico.

Tabla 3-5. Ficha técnica de Tasqueña

Tasqueña		Número 3
Año de creación		1982
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Coyoacán
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	750,000
Operación	Número de trabajadores	13
	Automatización (%)	60
	Horas de operación (horas)	18.5
	Tiempo de transferencia promedio (min)	6:00
Oferta	Número de modos de transporte	5
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	721,704
Geometría	Superficie (m^2)	38,006
	Accesos y salidas vehiculares	7
	Sitio de taxi	sí
	Cajones de estacionamiento	300
	Bici-estacionamientos	sí
	Número de bahías	16
	Número de andenes	4
	Longitud de bahía (m)	150
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	62,148
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	62.51
	Emisiones de BC (ton/día)	8.02
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	60
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	2,337,800.00





Fuente: elaboración propia

3.1.4 Chapultepec

Ubicado entre los límites de las alcaldías Cuauhtémoc y Miguel Hidalgo, Chapultepec es el cuarto CETRAM con mayor afluencia de pasajeros. Por éste transbordan diariamente 500 000 pasajeros, su área de transferencia es de 30 233 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con una línea del STC (1), Trolebús líneas S e I, autobuses RTP, autobuses, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Rincón del Bosque, Anzures, Cuauhtémoc, Roma Norte, Condesa, San Miguel Chapultepec y la Sección I del Bosque de Chapultepec.

Áreas de oportunidad:
Cerca se encuentra uno de los pulmones más grandes la ZMVM, el Bosque de Chapultepec, sin duda el mejoramiento de la intermodalidad de los pasajeros con el entorno del bosque hará de este CETRAM un lugar atractivo para los que quieran disfrutar de este espacio, mejorando su calidad de vida.

Desventajas:
Es un CETRAM con forma irregular, lo cual dificulta la incorporación de modos. La intermodalidad con automóviles particulares, bicicletas y motocicletas es nula al no existir estacionamientos ni bici-estacionamiento.

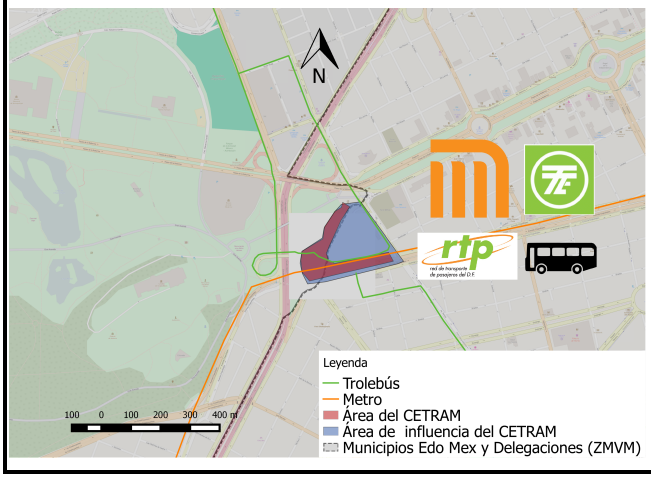
Ventajas:
A este CETRAM lo rodean edificios que albergan importantes instituciones bancarias, hoteles y empresas, por lo cual es un CETRAM que atrae a un gran número de trabajadores y turistas.

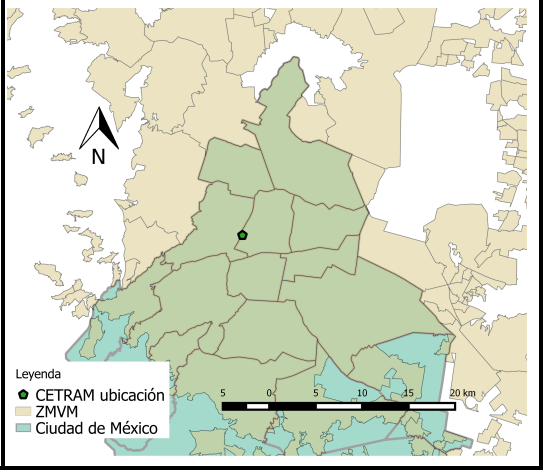
Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM, de acuerdo a las frecuencias y capacidades de los vehículos que arriban en él fue de 631 285 pasajeros al día, lo cual quiere decir que es suficiente para la demanda diaria. Sin embargo, la falta de coordinación entre los modos de transporte y la poca automatización hace que este CETRAM padezca de largas filas de espera, teniendo el segundo tiempo de transferencia más grande de los casos de estudio.

El CETRAM está poco automatizado (40%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Tampoco cuenta cámaras de video-vigilancia. Solo cuenta con señalamientos físicos en estado obsoleto.

Tabla 3-6. Ficha técnica de Chapultepec

Chapultepec		Número 4
Año de creación		1969
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Cuauhtémoc
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	500,000
Operación	Número de trabajadores	5
	Automatización (%)	40
	Horas de operación (horas)	16
	Tiempo de transferencia promedio (min)	18:33
Oferta	Número de modos de transporte	4
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	631,285
Geometría	Superficie (m^2)	30,233
	Accesos y salidas vehiculares	5
	Sitio de taxi	no
	Cajones de estacionamiento	0
	Bici-estacionamientos	no
	Número de bahías	10
	Número de andenes	2
	Longitud de bahía (m)	100
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	37,989
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	79.73
	Emisiones de BC (ton/día)	11.39
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	60
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	2,261,400.00





Fuente: elaboración propia

3.1.5 Cuatro Caminos

Ubicado en el municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México, se trata del CETRAM con la mayor área de transferencia de los casos de estudio, teniendo 93 470 m^2 y 28 bahías. Por éste transbordan diariamente 480 000 pasajeros. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con una línea del STC (2) con una de sus estaciones terminales, autobuses RTP, y una gran cantidad de autobuses urbanos y foráneos, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Parque Industrial, Lázaro Cárdenas, San Francisco Cuautlalpan, Residencial Lomas de Sotelo, San Joaquín, El Parque, Nueva Argentina, San Lorenzo Tlatenango, Ahuizotla y Alce Blanco. Muy cercano se encontraba el antiguo Toreo, hoy la nueva plaza Toreo Parque Central (Inventario Nacional de Vivienda 2015).

Áreas de oportunidad:
Actualmente está en construcción la remodelación de este CETRAM, el cual aprovechará que es la entrada y salida de muchos habitantes del municipio de Naucalpan. La remodelación tendrá una plaza comercial y una central camionera que comunicará a diferentes partes del Estado de México. Así mismo, beneficiará a los pasajeros al tener como prioridad la intermodalidad y la automatización. Esto sin duda, hará más atractivo este CETRAM para la movilidad diaria de los pasajeros.

Desventajas:
Una de las principales desventajas de este CETRAM era el pésimo servicio que se ofrecía a los pasajeros, competencia de rutas, falta de claridad de las señales, inseguridad y excesivo comercio ambulante. La intermodalidad se veía afectada al no contar con estacionamientos ni bici-estacionamiento. Sin embargo, en el nuevo proyecto está contemplado un amplio estacionamiento para bicicletas y automóviles.

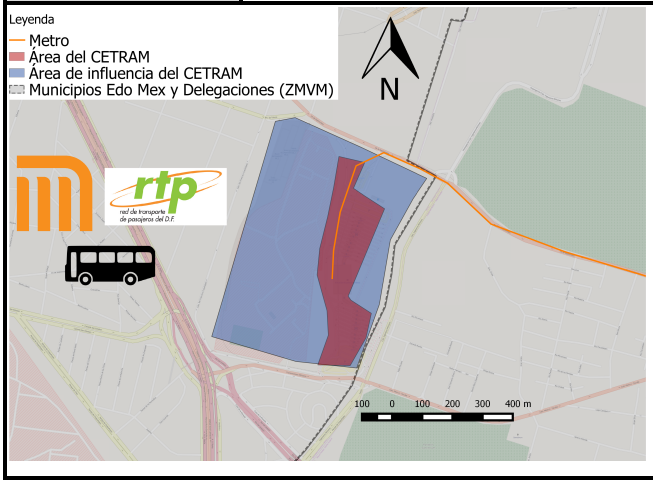
Ventajas:
Se encuentra comunicado con el Boulevard Manuel Ávila Camacho (Periférico), el cual enlaza a los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla, Cuatitlán Izcalli y que lleva hasta la ciudad de Querétaro.

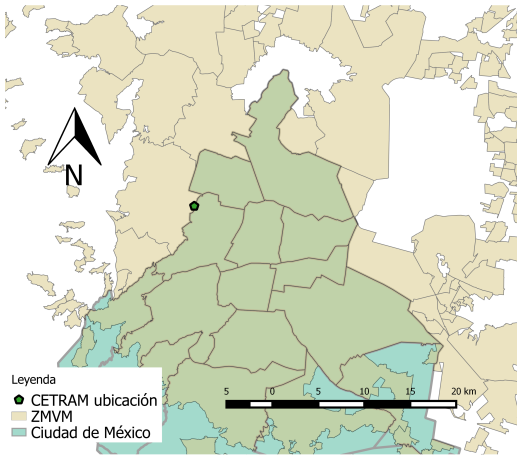
Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM, fue de 389 587 pasajeros al día, es decir, totalmente insuficiente para la demanda actual y peor aún para la demanda futura.

El CETRAM está poco automatizado (40%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indicaran el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Tampoco cuenta cámaras de video-vigilancia. Solo contaba con señalamiento físico en estado obsoleto. Los datos registrados para Cuatro Caminos son de su último estado antes de su remodelación. El escenario cambiará para los años futuros.

Tabla 3-7. Ficha técnica de Cuatro Caminos

Cuatro Caminos		Número 5
Año de creación		1984
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Secretaría de Movilidad del Estado de México
Municipio		Naucalpan de Juárez
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	480,000
Operación	Número de trabajadores	10
	Automatización (%)	40
	Horas de operación (horas)	16
	Tiempo de transferencia promedio (min)	12:00
Oferta	Número de modos de transporte	3
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	389,587
Geometría	Superficie (m^2)	93,470
	Accesos y salidas vehiculares	4
	Sitio de taxi	sí
	Cajones de estacionamiento	0
	Bici-estacionamientos	no
	Número de bahías	28
	Número de andenes	2
	Longitud de bahía (m)	150
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	12,479
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	21.99
	Emisiones de BC (ton/día)	2.63
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	60
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	n.d.





Fuente: elaboración propia

3.1.6 El Rosario

Ubicado al noroeste de la Ciudad de México, en la alcaldía Azcapotzalco, es junto con los CETRAM Zapata, Ciudad Azteca y próximamente Cuatro Caminos, que su tipo de gestión es concesionado, por este motivo se trata de uno de los CETRAM más organizados, limpios y seguros. Por éste transbordan diariamente 230 000 pasajeros, su área de transferencia es de 41 699 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con dos líneas del STC (6 y 7) con una de sus estaciones terminales cada una, Metrobús línea 6, Trolebús líneas I y G, autobuses RTP, autobuses urbanos y foráneos, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Tierra Nueva, Unidad Habitacional El Rosario, Unidad Habitacional Manuel Rivera Maya, Unidad Habitacional Culturas Universales, Pueblo San Martín Xochinahuac, Unidad Habitacional Pemex Prados El Rosario, Unidad Habitacional Francisco Villa, Unidad Habitacional Presidente Madero, Unidad Habitacional Azcapotzalco 2000 y Unidad Habitacional Ecológica (Inventario Nacional de Vivienda, 2015).

Áreas de oportunidad:
Con la reciente remodelación de este CETRAM la demanda de los servicios de transporte se ha elevado, sin duda esto puede ser aprovechado para incrementar sus ingresos al contar con tiendas departamentales, restaurantes y servicios de diferente índole que se ofrecen en la plaza dentro del CETRAM.

Desventajas:
La intermodalidad con automóviles particulares y motocicletas es nula.

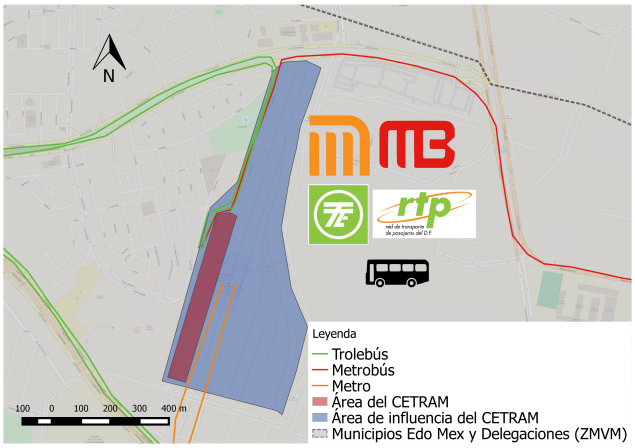
Ventajas:
No existe comercio ambulante dentro del CETRAM. Es la puerta de entrada de muchos habitantes de los municipios de Tlalnepantla, Atizapán, Tultitlán, Cuautitlán Izcalli, Tultepec y Cuautitlán, por lo cual su gran frecuencia de pasajeros estará siempre activa. Cuenta con un amplio bici-estacionamiento.

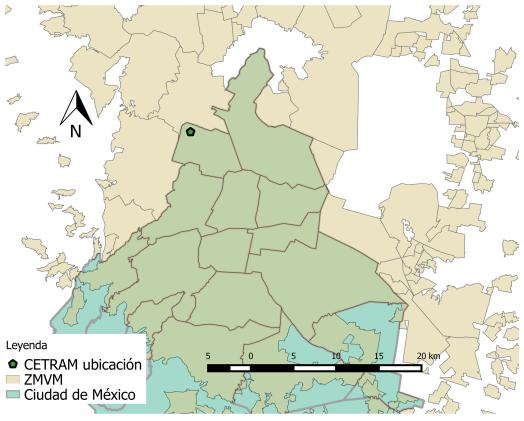
Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM, de acuerdo a las frecuencias y capacidades de los vehículos que arriban en él fue de 762 032 pasajeros al día, lo cual es suficiente para su demanda diaria. Su operación coordinada hace que los tiempos de transferencia no sean largos.

A pesar de su remodelación, el CETRAM está medianamente automatizado (60%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Cuenta con cámaras de video-vigilancia y con señalamiento físico en buen estado.

Tabla 3-8. Ficha técnica de El Rosario

El Rosario		Número 6
Año de creación		1988
Tipo de gestión		Concesión (Privada)
Nombre del operador		Grupo Carso
Alcaldía		Azcapotzalco
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	230,000
Operación	Número de trabajadores	16
	Automatización (%)	60
	Horas de operación (horas)	16
	Tiempo de transferencia promedio (min)	10:00
Oferta	Número de modos de transporte	5
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	762,032
Geometría	Superficie (m^2)	41,699
	Accesos y salidas vehiculares	3
	Sitio de taxi	sí
	Cajones de estacionamiento	0
	Bici-estacionamientos	sí
	Número de bahías	8
	Número de andenes	4
	Longitud de bahía (m)	400
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	34,944
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	68.87
	Emisiones de BC (ton/día)	9.93
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	80
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	6,097,900.00





Fuente: elaboración propia

3.1.7 Universidad

Se ubica en el sur de la Ciudad de México, en la alcaldía Coyoacán. Por éste CETRAM transbordan principalmente estudiantes de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), diariamente 200 000 pasajeros, su área de transferencia es de 22 587 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con una línea del STC (3) con una de sus estaciones terminales, autobuses RTP, autobuses, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Ciudad Universitaria, Santo Domingo y Copilco El Alto.

Áreas de oportunidad:
Como su nombre lo indica, muy cerca de este CETRAM se encuentra la UNAM, la cual cerca de éste tiene un amplio estacionamiento de bicicletas, perteneciente al sistema Bicipuma de la universidad, de igual forma el Pumabus, que es un servicio de transporte público, tiene una parada cerca del CETRAM. Por lo anterior, la incorporación de estos modos al CETRAM sería una forma más de mejorar la intermodalidad, sin embargo, debido a que se trata de dos instituciones distintas (UNAM y Coordinación de CETRAM) tendrían que hacerse esfuerzos por una operación conjunta.

Desventajas:
Existe una gran cantidad de comercio ambulante. La intermodalidad con bicicletas es nula al no existir bici-estacionamiento (el estacionamiento de bicicletas antes mencionado es parte de la UNAM).

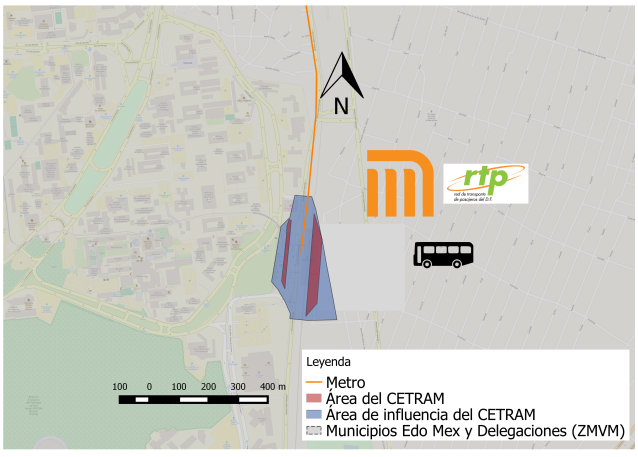
Ventajas:
Cuenta con dos cuerpos separados, lo cual podría aprovecharse para que en una parte sea destinada al descenso y la otra el ascenso de pasajeros, como sucede en el Mexipuerto Ciudad Azteca, más adelante se mencionará. Existe un pequeño estacionamiento que permita la intermodalidad con automóviles particulares y motocicletas.

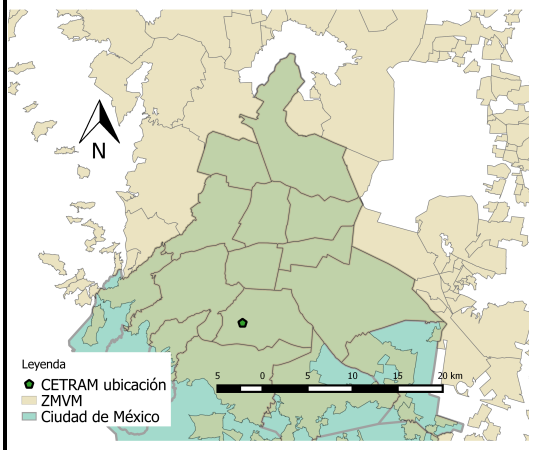
Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM fue de 599 030 pasajeros al día, lo cual quiere que está operando a más del doble de su demanda diaria. Es uno de los CETRAM que más horas opera en el día, de las 5:00 a las 23:00 horas.

El CETRAM está pobremente automatizado (20%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Tampoco cuenta cámaras de video-vigilancia ni con señalamiento físico.

Tabla 3-9. Ficha técnica de Universidad

Universidad		Número 7
Año de creación		1983
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Coyoacán
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	200,000
Operación	Número de trabajadores	6
	Automatización (%)	20
	Horas de operación (horas)	18
	Tiempo de transferencia promedio (min)	08:30
Oferta	Número de modos de transporte	3
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	599,030
Geometría	Superficie (m^2)	22,587
	Accesos y salidas vehiculares	5
	Sitio de taxi	sí
	Cajones de estacionamiento	7
	Bici-estacionamientos	no
	Número de bahías	5
	Número de andenes	2
	Longitud de bahía (m)	200
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	33,567
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	77.57
	Emisiones de BC (ton/día)	22.48
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	60
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	1,767,100.00





Fuente: elaboración propia

3.1.8 Constitución de 1917

Ubicado en el sureste de la Ciudad de México, en la alcaldía Iztapalapa. Por éste transbordan diariamente 200 000 pasajeros, su área de transferencia es de 38 973 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con una línea del STC (8) con una de sus estaciones terminales, autobuses RTP, autobuses urbanos, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Constitución de 1917, Iztapalapa, Ampliación San Miguel, La Regadera, Los Ángeles, Cuitláhuac el Rosal, Los Ángeles Apanoaya, Paraje San Juan, Francisco Villa y 2da Ampliación Paraje San Juan.

Áreas de oportunidad:
Dado la densa población de las colonias alrededor de este CETRAM y sabiendo que la gran mayoría lo utilizan como el inicio de sus viajes, ya sea con motivos de trabajo o escuela, puede aprovecharse para ofrecer servicios de diferente índole a los pasajeros; considerando sus necesidades, haciendo que el transbordo por esta estación sea más atractiva, generando así una fuente de ingresos.

Desventajas:
Existe una gran cantidad de comercio ambulante. A pesar de ser un CETRAM grande, éste no ofrece suficientes modos de transporte para hacerlo más flexible. La intermodalidad con automóviles particulares, bicicletas y motocicletas es nula al no existir estacionamientos ni bici-estacionamiento.

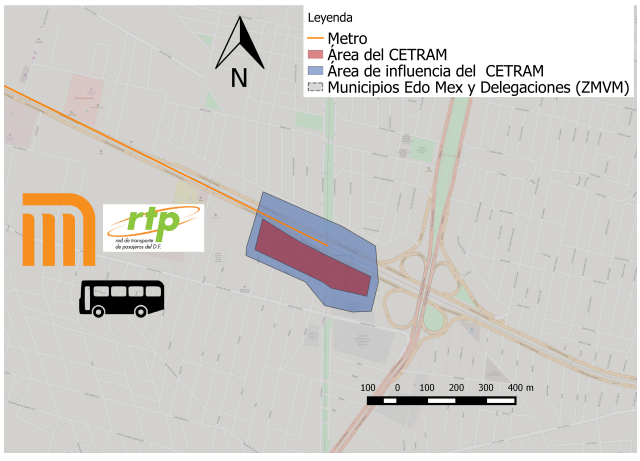
Ventajas:
Está conectado con dos grandes avenidas (Periférico y Calzada Ermita-Iztapalapa) lo cual hace atractivo pensar en una remodelación para incorporar modos como el automóvil particular, motocicleta y bicicleta.

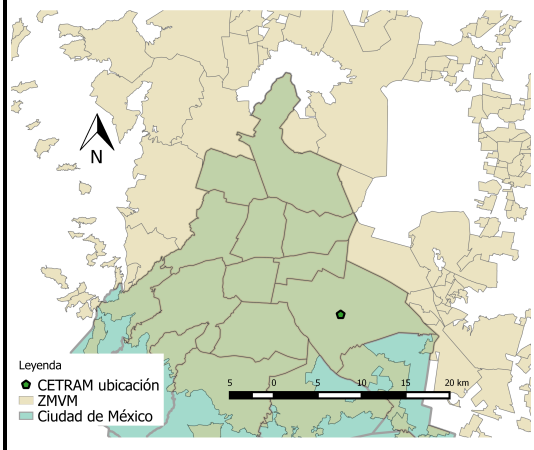
Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM, de acuerdo a las frecuencias y capacidades de los vehículos que arriban en él fue de 452 380 pasajeros al día, lo cual quiere decir que es suficiente para la demanda de servicios.

El CETRAM está poco automatizado (40%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Tampoco cuenta cámaras de video-vigilancia. Solo cuenta con señalamientos físicos.

Tabla 3-10. Ficha técnica de Constitución de 1917

Constitución de 1917		Número 8
Año de creación		1994
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Iztapalapa
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	200,000
Operación	Número de trabajadores	9
	Automatización (%)	40
	Horas de operación (horas)	19
	Tiempo de transferencia promedio (min)	7:00
Oferta	Número de modos de transporte	3
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	452,380
Geometría	Superficie (m^2)	38,973
	Accesos y salidas vehiculares	4
	Sitio de taxi	sí
	Cajones de estacionamiento	0
	Bici-estacionamientos	no
	Número de bahías	10
	Número de andenes	2
	Longitud de bahía (m)	180
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	12,833
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	63.22
	Emisiones de BC (ton/día)	8.04
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	40
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	2,708,700.00





Fuente: elaboración propia

3.1.9 Zaragoza

Ubicado al oriente de la Ciudad de México, en la alcaldía Venustiano Carranza. Este CETRAM fue de los primeros en inaugurarse, en 1969, debido a la alta demanda de servicios de transporte en esa zona de la ciudad. Por éste transbordan diariamente 185 000 pasajeros, su área de transferencia es de 19 433 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con una línea del STC (1), autobuses RTP, autobuses urbanos y foráneos, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Aviación Civil, Ampliación Aviación Civil, Puebla, Ignacio Zaragoza, Cuchilla Agrícola Oriental, Federal así como parte de Pantitlán y Agrícola Oriental.

Áreas de oportunidad:
Cuenta con un área amplia sin utilizar, lo cual permitiría el crecimiento de este CETRAM en un futuro, cuando la demanda así lo requiera, o para introducir nuevos y mejores modos de transporte.

Desventajas:
Los pasajeros cruzan la avenida principal para hacer la transferencia modal. Los cuerpos del metro están separados, haciendo que en las laterales de la avenida principal, la calzada Ignacio Zaragoza, se congestione por la fila ocasionada por los vehículos. Existe una gran cantidad de comercio ambulante. El CETRAM está pobremente organizado y con problemas de salubridad. La intermodalidad con automóviles particulares, bicicletas y motocicletas es nula al no existir estacionamientos ni bici-estacionamiento.

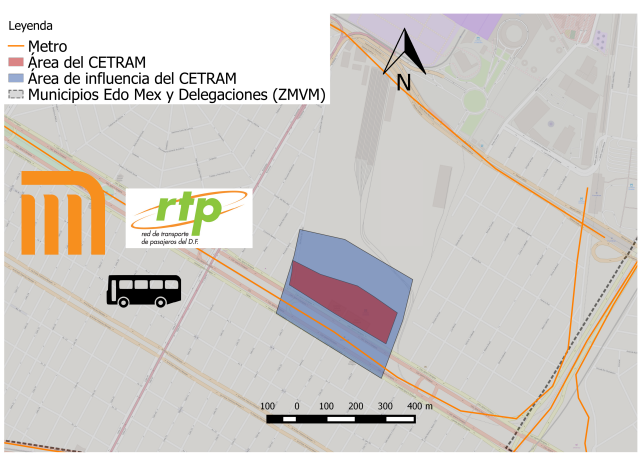
Ventajas:
Está conectado con la avenida principal Ignacio Zaragoza que comunica a la Ciudad de México con la ciudad de Puebla, por esta avenida llega una gran cantidad de mercancías.

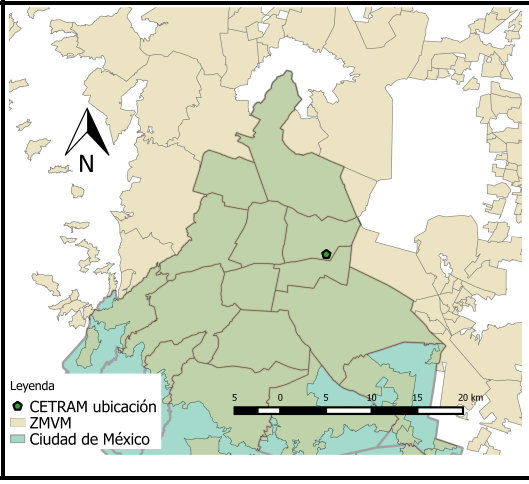
Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM fue de 576 937 pasajeros al día, lo cual quiere decir que éste es suficiente para la demanda de servicios.

El CETRAM está poco automatizado (40%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Tampoco cuenta cámaras de video-vigilancia. Solo cuenta con señalamiento físico.

Tabla 3-11. Ficha técnica de Zaragoza

Zaragoza		Número 9
Año de creación		1969
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Venustiano Carranza
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	185,000
Operación	Número de trabajadores	6
	Automatización (%)	40
	Horas de operación (horas)	16
	Tiempo de transferencia promedio (min)	06:30
Oferta	Número de modos de transporte	3
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	576,937
Geometría	Superficie (m^2)	19,443
	Accesos y salidas vehiculares	4
	Sitio de taxi	no
	Cajones de estacionamiento	0
	Bici-estacionamientos	no
	Número de bahías	8
	Número de andenes	2
	Longitud de bahía (m)	290
	Longitud de anden (m)	200
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	18,132
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	88.69
	Emisiones de BC (ton/día)	11.33
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	20
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	2,873,400.00





Fuente: elaboración propia

3.1.10 Ciudad Azteca

CETRAM localizado en el municipio de Ecatepec de Morelos, Estado de México. También llamado Mexipuerto- Ciudad Azteca es el más moderno y el que incorpora tecnología para la sincronización de sus operaciones. Por éste transbordan diariamente 180 000 pasajeros, su área de transferencia es de 36 000 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con una línea del STC (B) con una de sus estaciones terminales, Mexibús correspondiente a la línea 1, autobuses urbanos y foráneos, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Ciudad Azteca 3ra sección, San Agustín 3ra sección, Valle de Santiago, Indeco Santa Clara, Ciudad Azteca 1ra sección, Rinconada de Aragón, Ignacio Allende, Unidad Habitacional Ciudad y Puerto, Laderas del Peñón, San Agustín 3ra sección A, y Ciudad Azteca 2da sección (Inventario Nacional de Vivienda 2015).

Áreas de oportunidad:
Este CETRAM es un importante punto de partida y de fin para muchos habitantes del municipio de Ecatepec, con la creación de una plaza con servicios de diversas índoles y la mejora de la intermodalidad se han reflejado los beneficios para la empresa que opera el CETRAM y los pasajeros, por lo que el darle continuidad y estar en contacto con la más alta tecnología para su operación será suficiente.

Desventajas:
Su crecimiento se ve limitado al estar rodeado de colonias ya establecidas, por lo que tendrán que hacerse niveles subterráneos o elevados si se incorporan nuevos modos de transporte en un futuro.

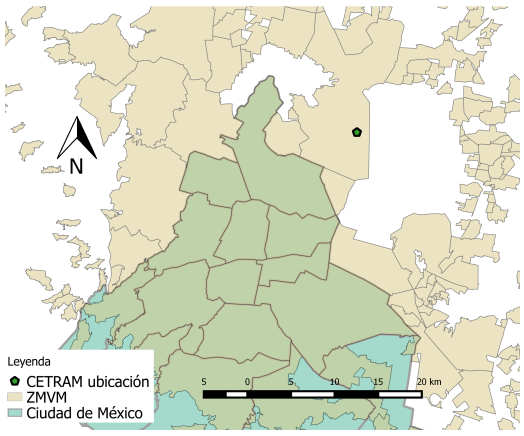
Ventajas:
No hay presencia de comercio ambulante. Cuenta con estacionamiento y bici-estacionamiento para la intermodalidad con automóviles particulares, bicicletas y motocicletas.

Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM fue de 487 050 pasajeros al día, lo cual quiere decir que éste es suficiente para la demanda de servicios.

El CETRAM está altamente automatizado (100%), cuenta con señalamientos electrónicos, en las pantallas se indica el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Cuenta con cámaras de video-vigilancia y con señalamiento físico en buen estado.

Tabla 3-12. Ficha técnica de Ciudad Azteca

Ciudad Azteca		Número 10
Año de creación		2000
Tipo de gestión		Concesión (Privada)
Nombre del operador		Grupo Carso
Municipio		Ecatepec de Morelos
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	180,000
Operación	Número de trabajadores	9
	Automatización (%)	100
	Horas de operación (horas)	16
	Tiempo de transferencia promedio (min)	8:00
Oferta	Número de modos de transporte	3
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	487,050
Geometría	Superficie (m^2)	36,000
	Accesos y salidas vehiculares	8
	Sitio de taxi	sí
	Cajones de estacionamiento	250
	Bici-estacionamientos	sí
	Número de bahías	10
	Número de andenes	2
	Longitud de bahía (m)	150
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	23,367
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	34.85
	Emisiones de BC (ton/día)	4.02
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	80
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	n.d.



Fuente: elaboración propia

3.1.11 Boulevard Puerto Aéreo

Ubicado al oriente de la Ciudad de México, en la alcaldía Venustiano Carranza es un CETRAM muy cercano al Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM). Su afluencia diaria es de 125 000 pasajeros, su área de transferencia es de 10 538 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con una línea del STC (1), Trolebús línea G, autobuses RTP, autobuses, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Fraccionamiento Industrial Puerto Aéreo, Santa Cruz Aviación, Valentín Gómez Farías, Ignacio Zaragoza, Jardín Balbuena, Federal, Moctezuma 1A sección, Moctezuma 2A sección (Inventario Nacional de Vivienda 2015).

Áreas de oportunidad:
Muy cerca se encuentra el AICM, lo cual puede ser aprovechado para la incorporación de modos que favorezcan la intermodalidad y accesibilidad a los pasajeros a tan importante punto de la ciudad, desde un modo de transporte público eficiente.

Desventajas:
Existe una gran cantidad de comercio ambulante. Es uno de los CETRAM peor organizado, inseguro y con problemas de salubridad. La intermodalidad con automóviles particulares, bicicletas y motocicletas es nula al no existir estacionamientos ni bici-estacionamiento.

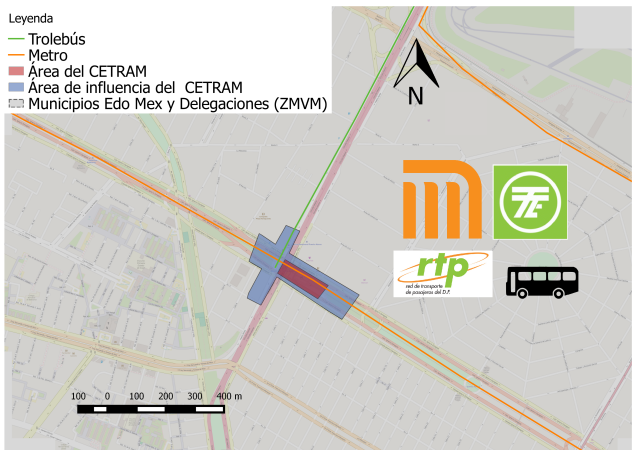
Ventajas:
Está conectado con una avenida principal que comunica a la Ciudad de México con la ciudad de Puebla, la avenida Ignacio Zaragoza.

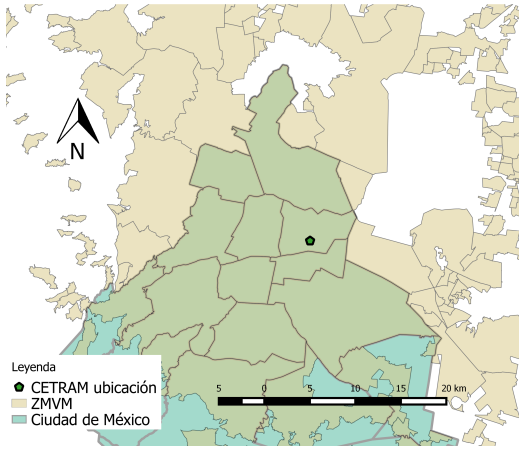
Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM, de acuerdo a las frecuencias y capacidades de los vehículos que arriban en él fue de 450 255 pasajeros al día, es decir, es suficiente para la demanda, sin embargo la intermodalidad es insegura para el pasajero y con gran contaminación visual.

El CETRAM está pobremente automatizado (20%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Tampoco cuenta cámaras de video-vigilancia ni con señalamiento físico.

Tabla 3-13. Ficha técnica de Boulevard Puerto Aéreo

Boulevard Puerto Aéreo		Número 11
Año de creación		1969
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Venustiano Carranza
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	135,000
Operación	Número de trabajadores	8
	Automatización (%)	20
	Horas de operación (horas)	16
	Tiempo de transferencia promedio (min)	06:00
Oferta	Número de modos de transporte	4
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	450,255
Geometría	Superficie (m^2)	10,538
	Accesos y salidas vehiculares	10
	Sitio de taxi	sí
	Cajones de estacionamiento	0
	Bici-estacionamientos	no
	Número de bahías	6
	Número de andenes	2
	Longitud de bahía (m)	100
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	18,443
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	47.17
	Emisiones de BC (ton/día)	6.03
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	40
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	2,059,700.00





Fuente: elaboración propia

3.1.12 Martín Carrera

Ubicado al noreste de la Ciudad de México, en la alcaldía Gustavo A. Madero es uno de los CETRAM junto con Tasqueña y El Rosario que cuentan con más modos de transporte, siendo el Tren Ligero el único modo faltante. Por éste transbordan diariamente 135 000 pasajeros, su área de transferencia es de 19 312 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con dos líneas del STC (4 y 6) con una de sus estaciones terminales cada una, Metrobús correspondiente a la línea 6, Trolebús línea LL, autobuses RTP, autobuses urbanos y foráneos, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: 15 de Agosto, Constitución de la República, Salvador Díaz Mirón, Martín Carrera, La Estanzuela, Granjas Modernas, Aragón La Villa, Villa Gustavo A. Madero, La Dinamita y Barrio La Cruz (Inventario Nacional de Vivienda 2015).

Áreas de oportunidad:
A menos de 200 m se encuentra el Ayuntamiento de la Delegación Gustavo A. Madero, La Basílica de Guadalupe y el museo que ésta alberga, puntos importantes donde acuden gran número de personas, situación que comparte con sus vecinos CETRAM Ferroplaza y Villa Cantera. La mejora de vialidades, aceras e inclusión de ciclo-vías que comuniquen a los CETRAM con estos puntos, hará al transporte público atractivo para la movilidad en la ciudad. Lo anterior, una fuente de ingresos valiosa para los CETRAM.

Desventajas:
Existe una gran cantidad de comercio ambulante. El CETRAM está pobremente organizado y con contaminación visual. La intermodalidad con automóviles particulares, bicicletas y motocicletas es nula.

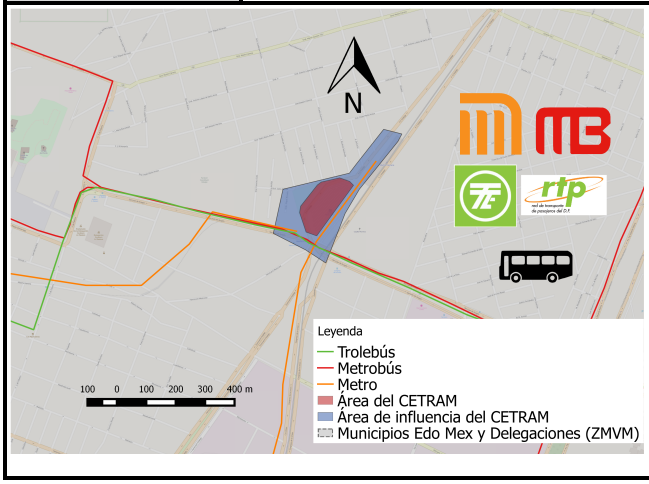
Ventajas:
Está conectado con la avenida principal Centenario, que comunica a la Ciudad de México con los municipios conurbados del Estado de México, Ecatepec, Tecámac y el municipio de Tizayuca, Hidalgo.

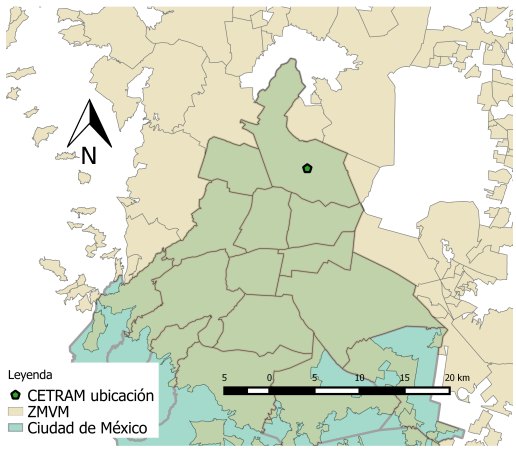
Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM, de acuerdo a las frecuencias y capacidades de los vehículos que arriban en él fue de 805 080 pasajeros al día, es decir, suficiente para su demanda.

El CETRAM está poco automatizado (40%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Tampoco cuenta cámaras de video-vigilancia. Solo cuenta con señalamiento físico en estado obsoleto.

Tabla 3-14. Ficha técnica de Martín Carrera

Martín Carrera		**Número** **12**
Año de creación		1981
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Gustavo A. Madero
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	135,000
Operación	Número de trabajadores	2
	Automatización (%)	40
	Horas de operación (horas)	16
	Tiempo de transferencia promedio (min)	10:00
Oferta	Número de modos de transporte	5
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	805,080
Geometría	Superficie (m^2)	19,312
	Accesos y salidas vehiculares	2
	Sitio de taxi	sí
	Cajones de estacionamiento	0
	Bici-estacionamientos	no
	Número de bahías	7
	Número de andenes	4
	Longitud de bahía (m)	290
	Longitud de anden (m)	160
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	54,907
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	84.21
	Emisiones de BC (ton/día)	9.64
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	40
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	3,356,100.00





Fuente: elaboración propia

3.1.13 Tacuba

Se trata del CETRAM más irregular, geométricamente hablando, al tener cuatro cuerpos de bahías, repartidos en el trébol de la Calzada México-Tacuba. Ubicado al poniente de la Ciudad de México, en la alcaldía Miguel Hidalgo. Por éste transbordan diariamente 130 000 pasajeros, su área de transferencia es de 11 400 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con dos líneas del STC (2 y 7), autobuses RTP, autobuses, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Ángel Zimbrón, San Álvaro, San Diego Ocoyoacac, Ignacio Manuel Altamirano, Huichapan, Torre Blanca, Legaria y Tacuba (Inventario Nacional de Vivienda 2015).

Áreas de oportunidad:
Al recibir a una gran cantidad de pasajeros provenientes del municipio de Naucalpan pueden crearse espacios para ofrecer servicios a estos y así obtener ingresos por renta de locales, además del cobro formal a los transportistas.

Desventajas:
Es uno de los CETRAM con mayor cantidad de comercio ambulante, tanto así que la zona es conocida como el Mercado de Tacuba. Igualmente está pobremente organizado y con problemas de salubridad. La intermodalidad con automóviles particulares, bicicletas y motocicletas es nula.

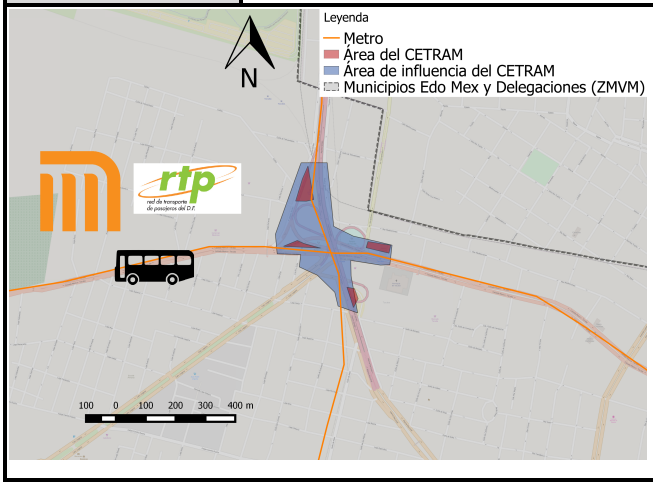
Ventajas:
Se encuentra en una avenida principal (Calzada México-Tacuba) que conecta a la Ciudad de México con el municipio conurbado de Naucalpan de Juárez, Estado de México.

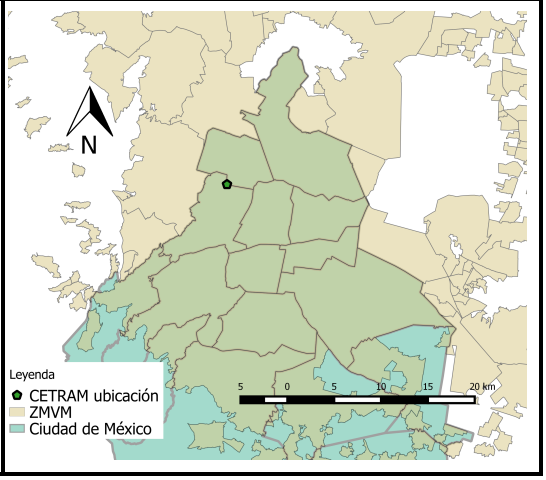
Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM fue de 790 100 pasajeros al día, lo cual quiere decir que éste es suficiente para la demanda de servicios de transporte. Sin embargo, algo común de este CETRAM es que los autobuses, microbuses y vagonetas hacen uso de la avenida principal para el ascenso y descenso de pasajeros y poco uso de las bahías, lo cual genera congestionamiento en la avenida en ambos sentidos.

El CETRAM está pobremente automatizado (20%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Tampoco cuenta cámaras de video-vigilancia ni con señalamiento físico.

Tabla 3-15. Ficha técnica de Tacuba

Tacuba		Número 13
Año de creación		1970
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Miguel Hidalgo
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	130,000
Operación	Número de trabajadores	6
	Automatización (%)	20
	Horas de operación (horas)	16
	Tiempo de transferencia promedio (min)	4:30
Oferta	Número de modos de transporte	3
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	790,100
Geometría	Superficie (m^2)	11,400
	Accesos y salidas vehiculares	18
	Sitio de taxi	no
	Cajones de estacionamiento	0
	Bici-estacionamientos	no
	Número de bahías	4
	Número de andenes	4
	Longitud de bahía (m)	90
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	27,789
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	23.59
	Emisiones de BC (ton/día)	2.46
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	20
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	1,483,200.00





Fuente: elaboración propia

3.1.14 Politécnico

Ubicado al norte de la Ciudad de México, en la alcaldía Gustavo A. Madero. Por éste transbordan diariamente 120 000 pasajeros, en su mayoría estudiantes del Instituto Politécnico Nacional (IPN), su área de transferencia es de 14 930 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con una línea del STC (5) con una de sus estaciones terminales, autobuses RTP, autobuses urbanos y foráneos, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Unidad Habitacional Lindavista Vallejo, Unidad Habitacional Condomódulos, Unidad Habitacional Patera Vallejo, Nueva Vallejo, Planetario Lindavista, Industrial Vallejo, San Bartolo Atepehuacán y el Fraccionamiento Nueva Industrial Vallejo (Inventario Nacional de Vivienda 2015).

Áreas de oportunidad:
Muy cerca se encuentra la Unidad Profesional Adolfo López Mateos del IPN, la cual dentro de sus instalaciones ofrece el servicio de Trolebús como servicio de transporte público, en un circuito que tiene conexión con el CETRAM. En un futuro, se podría favorecer la intermodalidad, creando puentes peatonales que separen flujos peatones de vehiculares y automatizando la estación en beneficio de los pasajeros, ofreciendo servicios de transporte eficientes.

Desventajas:
Existe un gran desorden en el CETRAM, demasiada competencia de rutas. La intermodalidad con automóviles particulares, bicicletas y motocicletas es nula.

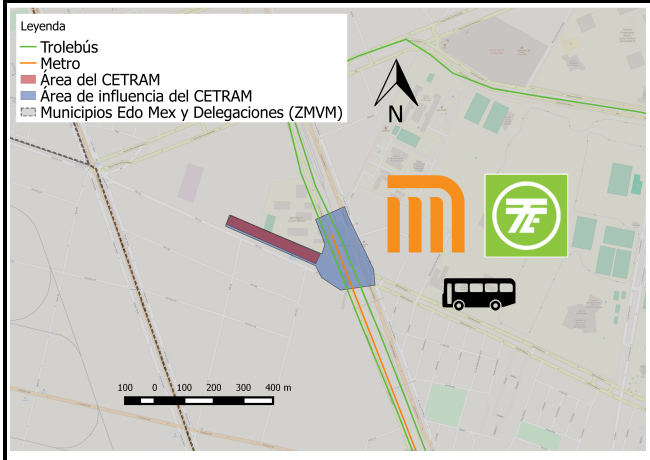
Ventajas:
Es la entrada y salida de un gran número de personas provenientes de los municipios de Tlalnepantla, y se conecta con una de las arterías principales de la Ciudad de México, la avenida Eje Central.

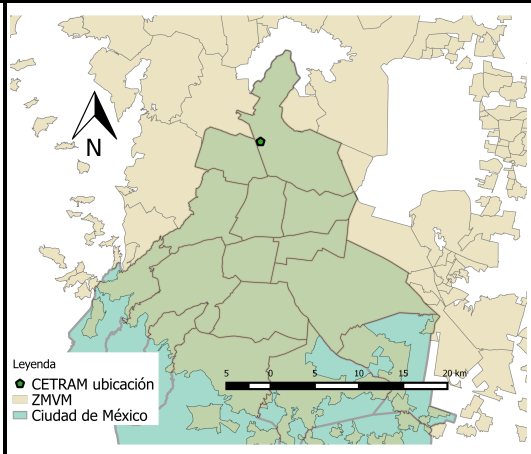
Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM fue de 472 775 pasajeros al día, lo cual quiere decir que éste es suficiente para la demanda.

El CETRAM está poco automatizado (40%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Tampoco cuenta cámaras de video-vigilancia. Solo cuenta con señalamiento físico.

Tabla 3-16. Ficha técnica de Politécnico

Politécnico		Número 14
Año de creación		1982
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Gustavo A. Madero
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	120,000
Operación	Número de trabajadores	16
	Automatización (%)	40
	Horas de operación (horas)	16
	Tiempo de transferencia promedio (min)	9:00
Oferta	Número de modos de transporte	3
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	472,775
Geometría	Superficie (m^2)	14,930
	Accesos y salidas vehiculares	2
	Sitio de taxi	sí
	Cajones de estacionamiento	20
	Bici-estacionamientos	no
	Número de bahías	4
	Número de andenes	2
	Longitud de bahía (m)	200
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	28,195
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	22.75
	Emisiones de BC (ton/día)	2.39
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	60
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	1,892,900.00





Fuente: elaboración propia

3.1.15 Zapata

Ubicado en el centro-sur de la Ciudad de México, en la alcaldía Benito Juárez es uno de los CETRAM más organizados, limpios y con un área específica para el ascenso y descenso de pasajeros. Por éste transbordan diariamente 115 000 pasajeros, su área de transferencia es de 8 734 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con dos líneas del STC (3 y 12), Trolebús correspondiente a la línea D, autobuses RTP, autobuses, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Santa Cruz Atoyac, Unidad Habitacional Emiliano Zapata, Unidad Habitacional Presidente Alemán, Xoco, Residencial Emperadores, Tlacomecatl del Valle y Letrán del Valle, muy cerca se encuentra el conocido Parque de los Venados (Inventario Nacional de Vivienda 2015).

Áreas de oportunidad:
La construcción de más niveles para una futura demanda de servicios de transporte y de otra índole, y así obtener ingresos adicionales para su mantenimiento y funcionamiento.

Desventajas:
El crecimiento del CETRAM se ve limitado a que sea de forma vertical, pues no hay terrenos ni espacio disponible a sus alrededores.

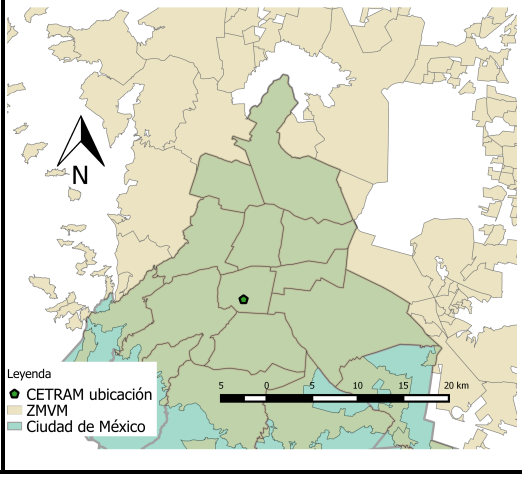
Ventajas:
No hay presencia de comercio ambulante. Es uno de los CETRAM más organizados, limpios y seguros. Está conectado con dos avenidas principales, Universidad y Félix Cuevas.

Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM fue de 936 856 pasajeros al día, muy por encima de su demanda. También es el que más horas opera en el día, 19 horas, de 5:00 a 0:00.

El CETRAM está medianamente automatizado (60%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Sin embargo, cuenta cámaras de video-vigilancia y con señalamiento físico en buen estado.

Tabla 3-17. Ficha técnica de Zapata

Zapata		Número 15
Año de creación		1980
Tipo de gestión		Pública y privada
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Benito Juárez
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	115,000
Operación	Número de trabajadores	4
	Automatización (%)	60
	Horas de operación (horas)	19
	Tiempo de transferencia promedio (min)	10:00
Oferta	Número de modos de transporte	4
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	936,856
Geometría	Superficie (m^2)	8,734
	Accesos y salidas vehiculares	4
	Sitio de taxi	sí
	Cajones de estacionamiento	0
	Bici-estacionamientos	sí
	Número de bahías	5
	Número de andenes	4
	Longitud de bahía (m)	100
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	39,363
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	21.27
	Emisiones de BC (ton/día)	2.48
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	80
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	639,500.00



Fuente: elaboración propia

3.1.16 La Raza

Ubicado al norte de la Ciudad de México, en la alcaldía Gustavo A. Madero. Por éste transbordan diariamente 115 000 pasajeros, su área de transferencia es de 20 296 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con dos líneas del STC (3 y 5), Metrobús correspondiente a la línea 1, autobuses RTP, autobuses urbanos y foráneos, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Vallejo Poniente, San Francisco Xocotitla, La Raza, Héroe de Nacozari, Porvenir, Guadalupe Victoria, Defensores de la República, Tlacamaca, Ampliación Panamericana, Guadalupe Insurgentes, Vallejo, Peralvillo, San Simón Tolnahuac y Santa Maria Insurgentes, muy cerca se encuentra el Monumento a la Raza (Inventario Nacional de Vivienda 2015).

Áreas de oportunidad:
Es un CETRAM que cuenta con un área extensa para una futura remodelación, mejor ordenamiento, control e incorporación de modos de transporte.

Desventajas:
Demasiado comercio ambulante. El CETRAM está pobremente organizado y con problemas de inseguridad. La intermodalidad con automóviles particulares y motocicletas es nula.

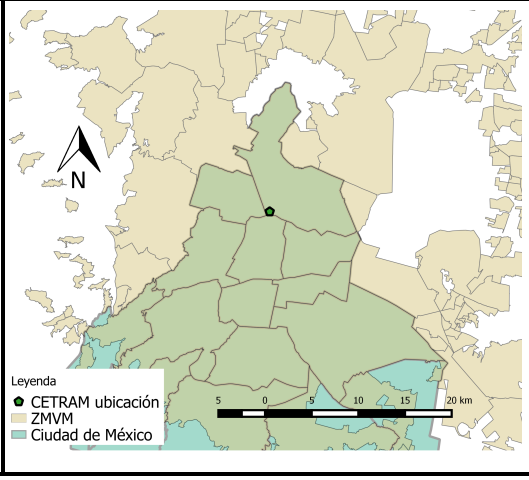
Ventajas:
Está conectado con la avenida principal Insurgentes, que comunica a la Ciudad de México con los municipios conurbados del Estado de México y que conduce hasta la ciudad de Pachuca, Hidalgo. Cuenta con un bici-estacionamiento.

Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM fue de 1 206 544 pasajeros al día, que está muy por arriba de la demanda de servicios de transporte. Sin embargo, la falta de organización es algo que impera.

El CETRAM está pobremente automatizado (20%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Tampoco cuenta cámaras de video-vigilancia ni señalamiento físico.

Tabla 3-18. Ficha técnica de La Raza

La Raza		Número 16
Año de creación		1978
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Gustavo A. Madero
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	115,000
Operación	Número de trabajadores	3
	Automatización (%)	20
	Horas de operación (horas)	16
	Tiempo de transferencia promedio (min)	06:50
Oferta	Número de modos de transporte	4
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	1,206,544
Geometría	Superficie (m^2)	20,296
	Accesos y salidas vehiculares	15
	Sitio de taxi	sí
	Cajones de estacionamiento	0
	Bici-estacionamientos	sí
	Número de bahías	8
	Número de andenes	4
	Longitud de bahía (m)	250
	Longitud de anden (m)	200
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	83,933
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	32.89
	Emisiones de BC (ton/día)	1.55
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	40
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	521,200.00



Fuente: elaboración propia

3.1.17 Tacubaya

Ubicado al poniente de la Ciudad de México, en la alcaldía Miguel Hidalgo. Por éste transbordan diariamente 115 000 pasajeros, su área de transferencia es de 4 702 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con tres líneas del STC (1, 7 y 9) con una de las estaciones terminales de la línea 9, Metrobús correspondiente a la línea 2, autobuses RTP, autobuses, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Tacubaya, Escandón, Unidad Habitacional 8 de Agosto, Bellavista, Hipódromo Condesa, San Miguel Chapultepec, Observatorio, Cove y la Unidad Habitacional Sears Roebuck, muy cerca se encuentra el conocido Parque Lira (Inventario Nacional de Vivienda 2015).

Áreas de oportunidad:
Junto al CETRAM se encuentra el gran Mercado de Tacubaya, importantes centros comerciales, museos y oficinas gubernamentales, sin duda la creación de puentes y caminos peatonales, que es, un de las carencias principales de éste y otros CETRAM, beneficiaría la intermodalidad y acceso de los pasajeros. Por ende, la demanda de este CETRAM se incrementaría, viéndose reflejado en sus ingresos.

Desventajas:
Existe una gran cantidad de comercio ambulante. El CETRAM está pobremente organizado, con problemas de salubridad, inseguridad y alto nivel de indigencia. La intermodalidad con automóviles particulares, bicicletas y motocicletas es nula al no existir estacionamientos ni bici-estacionamiento.

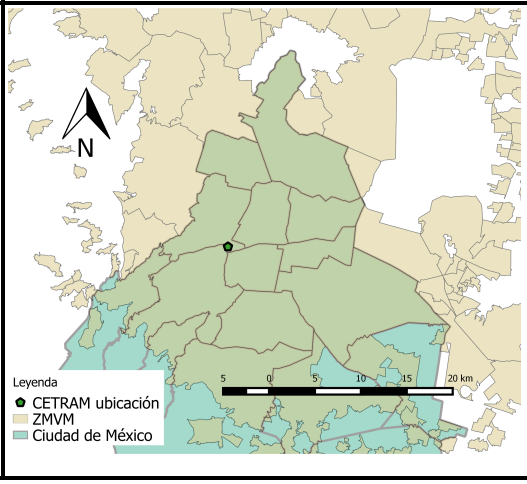
Ventajas:
Tiene conexión con tres líneas del STC, que traslada y recibe pasajeros de diferentes partes de la ZMVM. Así mismo cuenta con tres avenidas principales (Lira, Jalisco y Observatorio) que lo comunican con importantes vías de acceso controlado: Periférico y Circuito Interior.

Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM fue de 1 562 480, muy por arriba de su demanda. La falta de organización, buenos accesos y seguridad son un problema frecuente.

El CETRAM está poco automatizado (40%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Tampoco cuenta cámaras de video-vigilancia. Solo cuenta con señalamiento físico en estado obsoleto.

Tabla 3-19. Ficha técnica de Tacubaya

Tacubaya		Número 17
Año de creación		1970
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Miguel Hidalgo
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	115,000
Operación	Número de trabajadores	8
	Automatización (%)	40
	Horas de operación (horas)	16
	Tiempo de transferencia promedio (min)	11:00
Oferta	Número de modos de transporte	4
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	1,562,480
Geometría	Superficie (m^2)	4,702
	Accesos y salidas vehiculares	10
	Sitio de taxi	no
	Cajones de estacionamiento	0
	Bici-estacionamientos	no
	Número de bahías	4
	Número de andenes	6
	Longitud de bahía (m)	100
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	64,243
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	55.18
	Emisiones de BC (ton/día)	5.76
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	40
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	291,700.00



Fuente: elaboración propia

3.1.18 Observatorio

Ubicado al poniente de la Ciudad de México, en la alcaldía Álvaro Obregón se trata del CETRAM más desorganizado y con mayor competencia de rutas. Por éste transbordan diariamente 85 000 pasajeros, su área de transferencia es de 15 928 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con una línea del STC (1), autobuses urbanos y foráneos, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Central Camionera Poniente, Real del Monte, Pino Suárez, 16 de Septiembre, América, Hidalgo, Las Palmas, Polvora, La Conchita, Sede Delegación, Bosques 2da Sección y 1ra Sección, Toltecas, Bellavista, Cove y Observatorio. Así mismo, junto al CETRAM se encuentra la Terminal Central de Autobuses del Poniente (TCAP) (Inventario Nacional de Vivienda 2015).

Áreas de oportunidad:
La remodelación de este CETRAM incorporando a la TCAP en favor de la intermodalidad de los pasajeros sería un gran paso para contar con estaciones que incorporen servicios de transporte y de diferente índole de nivel internacional. Aunado a ello, este CETRAM tendrá una de las estaciones terminales del Tren de Alta Velocidad México-Toluca, con lo cual sería aún más benéfico para las empresas operadoras y para los pasajeros la integración de los cuerpos mencionados al facilitar la transferencia de modos.

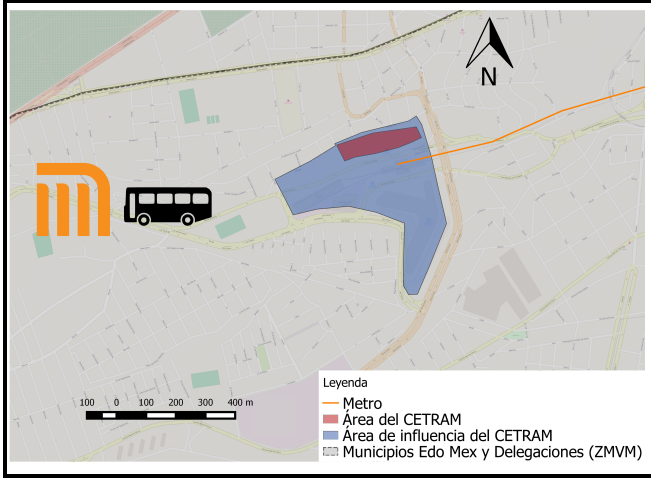
Desventajas:
Existe una gran cantidad de comercio ambulante. El CETRAM está pobremente organizado, inseguro y con problemas de salubridad.

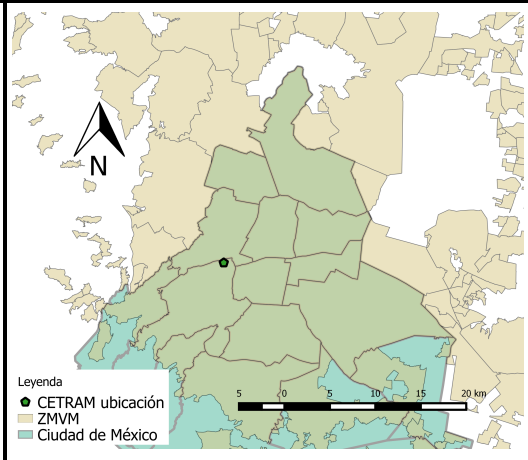
Ventajas:
Recibe a pasajeros de más 300 destinos de la República Mexicana, principalmente de los estados de: México, Querétaro, San Luis Potosí, Jalisco, Guanajuato, Michoacán y Colima. Por otra parte la Avenida de las Torres y la Avenida Observatorio lo comunican con el Anillo Periférico y con la Avenida Principal Constituyentes. Una ventaja futura que tendrá este CETRAM con la incorporación del Tren de Alta Velocidad México-Toluca es que estará comunicado con el distrito financiero de Santa Fe en un recorrido menor a 5 min, y con la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, con lo cual trasladará a un gran número de trabajadores, estudiantes y turistas. El estacionamiento y bici-estacionamiento de la TCAP le permite tener intermodalidad con automóviles particulares, motocicletas y bicicletas.

Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM, de acuerdo a las frecuencias y capacidades de los vehículos que arriban en él fue de 542 408 pasajeros al día. Sin embargo, algo que impera en éste es la total desorganización y competencia de rutas, haciendo que el tiempo de transferencia sea el más grande de los casos estudio, 21 minutos promedio para la transferencia de un modo a otro es lo que tarda un pasajero. Aunado a ello, éste está poco automatizado (40%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Tampoco cuenta cámaras de video-vigilancia. Solo cuenta con señalamiento físico en estado obsoleto.

Tabla 3-20. Ficha técnica de Observatorio

Observatorio		Número 18
Año de creación		1972
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Álvaro Obregón
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	85,000
Operación	Número de trabajadores	6
	Automatización (%)	40
	Horas de operación (horas)	16
	Tiempo de transferencia promedio (min)	21:00
Oferta	Número de modos de transporte	2
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	542,408
Geometría	Superficie (m^2)	15,928
	Accesos y salidas vehiculares	6
	Sitio de taxi	sí
	Cajones de estacionamiento	200
	Bici-estacionamientos	sí
	Número de bahías	10
	Número de andenes	2
	Longitud de bahía (m)	120
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	17,044
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	21.34
	Emisiones de BC (ton/día)	4.48
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	40
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	2,090,100.00





Fuente: elaboración propia

3.1.19 Miguel Ángel de Quevedo

Ubicado al sur de la Ciudad de México, en la alcaldía Coyoacán se trata de uno de los CETRAM con menor área de transferencia para sus operaciones, 976 m^2. Por éste transbordan diariamente 80 000 pasajeros. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con una línea del STC (3), Trolebús correspondiente a la línea K, autobuses RTP Eco que llevan hasta el distrito financiero de Santa Fe, autobuses urbanos y foráneos, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Agrícola, Santa Catarina, FOVISSSTE Oxtopulco, Oxtopulco Universidad, Chimalistac, Romero de Terreros, Altillo Universidad, Torres Chimalistac, San Ángel, Florida, Guadalupe Inn, Pueblo Axotla, Monte de Piedad, Integración Latinoamericana y del Carmen. Junto se encuentra el nuevo centro comercial Oasis (Inventario Nacional de Vivienda 2015).

Áreas de oportunidad:
El reciente centro comercial Oasis ha atraído a un gran número de personas, sin duda, la remodelación de este CETRAM con accesos y salidas peatonales y la reorganización de los comerciantes incrementará la afluencia y los ingresos de éste.

Desventajas:
La reducida área de transferencia hace que las aceras se utilicen como zonas de espera para los pasajeros, haciendo que el flujo peatonal sea lento y reducido. Así mismo, el comercio ambulante perjudica el área destinada a dicho flujo. El CETRAM está pobremente organizado. La intermodalidad con automóviles particulares, bicicletas y motocicletas es nula. Los estacionamientos del Centro Comercial Oasis y de la plaza Wall-Mart Taxqueña no son tomados en cuenta como parte del CETRAM.

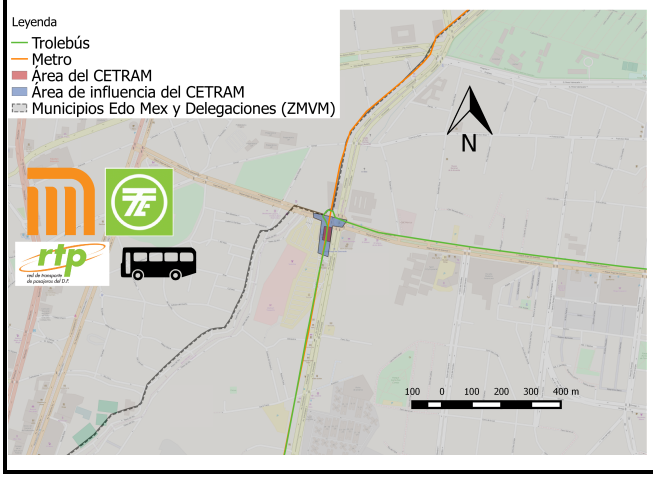
Ventajas:
Está conectado con dos avenidas principales, Universidad y Miguel Ángel de Quevedo.

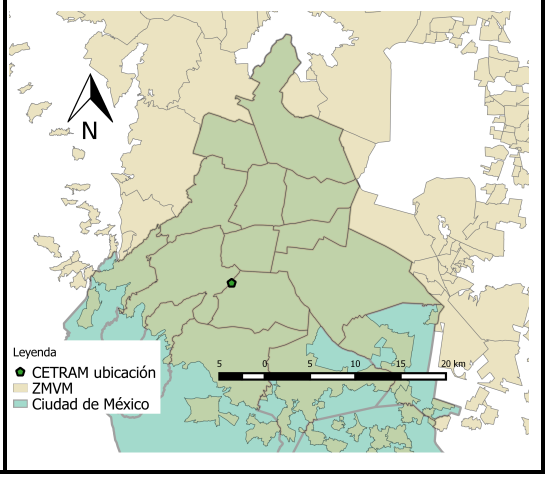
Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM, de acuerdo a las frecuencias y capacidades de los vehículos que arriban en él fue de 483 354 pasajeros al día, es decir, suficiente para su demanda. Sin embargo, la operación se ve afectada al no contar ninguna bahía para el ascenso y descenso de pasajeros, esto se realiza en los avenidas principales mencionadas anteriormente, provocando congestionamiento vehicular y riesgo de accidentes para pasajeros y conductores.

El CETRAM está pobremente automatizado (20%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Tampoco cuenta cámaras de video-vigilancia ni con señalamiento físico. Cabe destacar que este CETRAM es de los que genera menores emisiones de carbono (CO_2 y BC), debido a la incorporación de modos de transporte eléctricos y de bajas emisiones (Metro, Trolebús y RTP Eco)

Tabla 3-21. Ficha técnica de Miguel Ángel de Quevedo

Miguel Ángel de Quevedo			**Número** **19**
Año de creación		1983	
Tipo de gestión		Pública	
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal	
Alcaldía		Coyoacán	
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	80,000	
Operación	Número de trabajadores	1	
	Automatización (%)	20	
	Horas de operación (horas)	16	
	Tiempo de transferencia promedio (min)	06:20	
Oferta	Número de modos de transporte	4	
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	483,354	
Geometría	Superficie (m^2)	976	
	Accesos y salidas vehiculares	2	
	Sitio de taxi	sí	
	Cajones de estacionamiento	0	
	Bici-estacionamientos	no	
	Número de bahías	0	
	Número de andenes	2	
	Longitud de bahía (m)	0	
	Longitud de anden (m)	150	
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	28,106	
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	8.2	
	Emisiones de BC (ton/día)	1.69	
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	40	
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	0.00	





Fuente: elaboración propia

3.1.20 Santa Marta

Ubicado al sureste de la Ciudad de México en la alcaldía Iztapalapa, entre los límites con el Municipio de La Paz, Estado de México es uno de los CETRAM con buena infraestructura y sin comercio ambulante dentro de sus instalaciones. Por éste transbordan diariamente 80 000 pasajeros, en su mayoría provenientes de los municipios de La Paz, Chimalhuacán, Chalco, Valle de Chalco Solidaridad e Ixtapaluca. Su área de transferencia es de 23 769 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con una línea del STC (A), autobuses RTP, autobuses urbanos y foráneos, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Unidad Habitacional Ermita Zaragoza, Pueblo Santa Marta Acatitla, Lomas de Zaragoza, Rincón de los Reyes, Unidad Habitacional Tepozanes, Floresta, Pueblo Santiago Acahualtepec (Inventario Nacional de Vivienda 2015).

Áreas de oportunidad:
Cuenta con un área considerable que podría ser utilizada para reorganizar la operación de los modos de transporte. Además, es la entrada y salida de muchos habitantes de los municipios antes mencionados y de la delegación más poblada de la ciudad, Iztapalapa. Por lo anterior, su afluencia e ingresos se incrementarían en paralelo al ofrecer mejores servicios de transporte público.

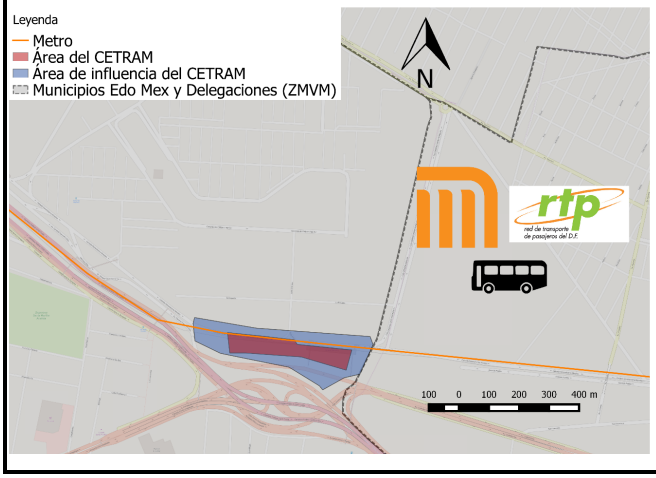
Desventajas:
A las afueras de este CETRAM impera el caos, muchos camiones, microbuses y vagonetas hacen paradas frecuentes en la avenida principal Ignacio Zaragoza, que después se convierte en la Autopista México-Puebla. A las afueras existe una gran cantidad de comercio ambulante y la inseguridad es común. La intermodalidad con automóviles particulares, bicicletas y motocicletas es nula.

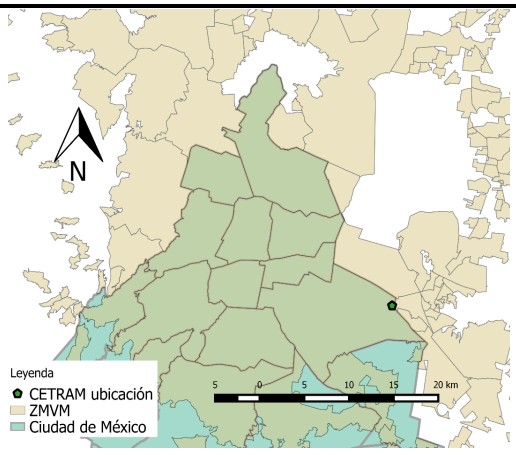
Ventajas:
Está conectado con la autopista México-Puebla, recibiendo a una gran cantidad de autobuses provenientes de los municipios conurbados del Estado de México y del estado de Puebla. No cuenta con comercio ambulante dentro de sus instalaciones.

Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM fue de 645 636 pasajeros al día, suficiente para la demanda de servicios de transporte. El CETRAM está poco automatizado (40%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Tampoco cuenta cámaras de video-vigilancia, solo cuenta con señalamiento físico.

Tabla 3-22. Ficha técnica de Santa Marta

Santa Marta		Número 20
Año de creación		1991
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Iztapalapa
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	80,000
Operación	Número de trabajadores	3
	Automatización (%)	40
	Horas de operación (horas)	20,5
	Tiempo de transferencia promedio (min)	07:30
Oferta	Número de modos de transporte	3
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	645,636
Geometría	Superficie (m^2)	23,769
	Accesos y salidas vehiculares	3
	Sitio de taxi	no
	Cajones de estacionamiento	0
	Bici-estacionamientos	no
	Número de bahías	6
	Número de andenes	2
	Longitud de bahía (m)	350
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	16,189
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	29.51
	Emisiones de BC (ton/día)	6.16
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	20
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	3,101,100.00





Fuente: elaboración propia

3.1.21 San Lázaro

Ubicado al centro-oriente de la Ciudad de México en la alcaldía Venustiano Carranza. Por éste transbordan diariamente 75 000 pasajeros, en su mayoría provenientes de los municipios de Ecatepec y La Paz. Su área de transferencia es de 17 914 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con dos líneas del STC (1 y B), Metrobús con dos líneas (4 y 5), autobuses RTP, autobuses, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Moctezuma 1A sección, Unidad Habitacional Kennedy, Aeronática Militar, El Parque, 7 de Julio, Ampliación 7 de Julio, Morazán, 10 de Mayo, Penitenciaria, Ampliación Penitenciaria, Madero, Miguel Hidalgo, Jardín Balbuena y parte de la Centro, SuperManzana Morelos I, SuperManzana Morelos II. (Inventario Nacional de Vivienda 2015).

Áreas de oportunidad:
Al encontrarse localizado a un costado de la Terminal de Autobuses de Pasajeros de Oriente (TAPO), puede incorporar puentes y accesos peatonales que faciliten la intermodalidad, y ampliación de la plaza comercial existente, haciendo más atractivo el transbordo y uso de este CETRAM para una gran cantidad de pasajeros provenientes de entidades del Este y Sureste del país, es decir, Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Veracruz, Puebla y Tlaxcala.

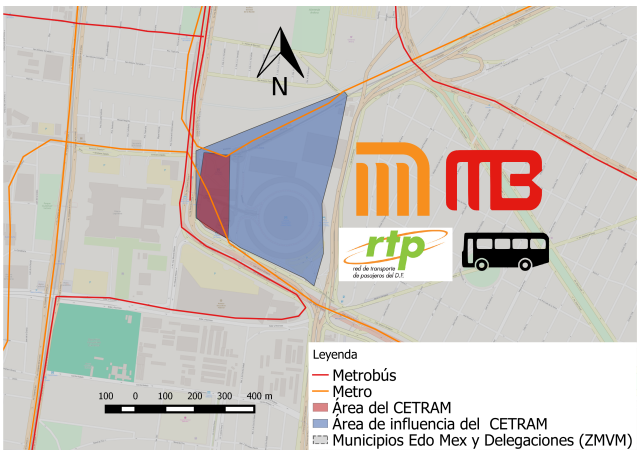
Desventajas:
A las afueras de este CETRAM impera el comercio ambulante, muchos camiones, microbuses y vagonetas hacen paradas frecuentes en la avenida principal Ignacio Zaragoza. Así mismo, existe una gran cantidad de comercio ambulante y la inseguridad es común.

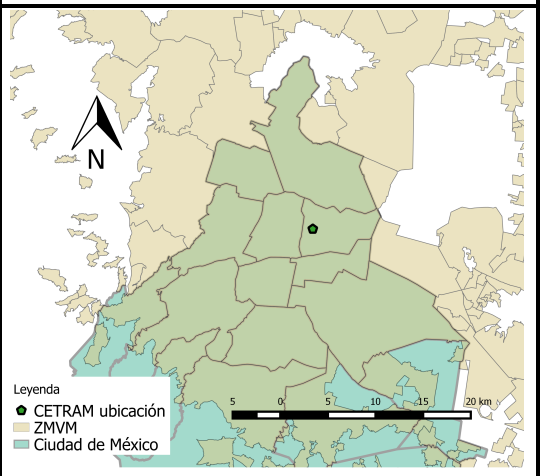
Ventajas:
Este CETRAM tiene la ventaja de estar prácticamente en la TAPO, lo cual aprovecha para tener intermodalidad con transportes como el automóvil particular, motocicletas y bicicletas, al contar con un amplio estacionamiento y bici-estacionamiento. Está conectado con la avenida Ignacio Zaragoza, que posteriormente se convierte en la autopista México-Puebla, comunicando ambas ciudades.

Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM fue de 1 196 316 pasajeros al día, sobrado para la demanda de servicios de transporte. El CETRAM está medianamente automatizado (60%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Sin embargo, cuenta cámaras de video-vigilancia y con señalamiento físico en buen estado.

Tabla 3-23. Ficha técnica de San Lázaro

San Lázaro		Número 21
Año de creación		1969
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Venustiano Carranza
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	75,000
Operación	Número de trabajadores	12
	Automatización (%)	60
	Horas de operación (horas)	16
	Tiempo de transferencia promedio (min)	03:30
Oferta	Número de modos de transporte	4
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	1,196,316
Geometría	Superficie (m^2)	17,914
	Accesos y salidas vehiculares	6
	Sitio de taxi	sí
	Cajones de estacionamiento	300
	Bici-estacionamientos	sí
	Número de bahías	2
	Número de andenes	4
	Longitud de bahía (m)	80
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	66,559
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	82.21
	Emisiones de BC (ton/día)	11.98
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	80
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	2,361,400.00





Fuente: elaboración propia

3.1.22 Viveros

Ubicado al sur de la Ciudad de México en los límites de la alcaldías Coyoacán y Álvaro Obregón. Por éste transbordan diariamente 65 000 pasajeros, su área de transferencia es de 1 357 m^2. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con una línea del STC (3), autobuses, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: del Carmen, Viveros de Coyacán, Pueblo Axotla, Florida, Agrícola, Barrio Santa Catarina, Xoco y Acacias. Cercano a este CETRAM se encuentran el Parque Nacional "Viveros Coyoacán", área donde se realiza la producción de plantas para reforestación de la Ciudad de México (Inventario Nacional de Vivienda 2015).

Áreas de oportunidad:
Al encontrarse muy cerca de los Viveros Coyoacán, razón por la que tiene ese nombre el CETRAM, puede sacar provecho para volverse un punto turístico en la Ciudad, ya que es uno de los parques más frecuentados, si llegase a remodelar e incorporar otros modos a este CETRAM podría dársele un toque ambiental por su cercanía con el mencionado parque. Así mismo, muy cerca se encuentra la Comisión Nacional de los Derechos Humanos, razón suficiente para que éste cuente con los servicios suficientes de transporte para cubrir las necesidades de movilidad de la población que acude a ella.

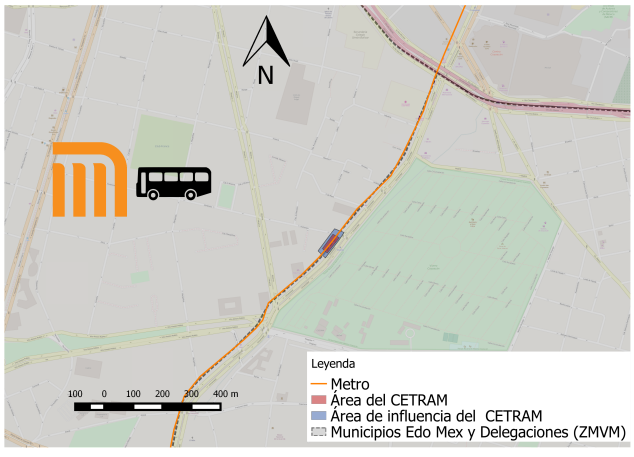
Desventajas:
Cuenta con un área de transferencia pequeña, por lo cual, limita el crecimiento de éste, haciendo que la incorporación de otros modos de transporte sea con la inclusión de niveles elevados o subterráneos. La intermodalidad con el automóvil particular, motocicletas y bicicletas es nula. El comercio ambulante reduce el flujo peatonal al encontrarse en las aceras, por supuesto afecta negativamente el aspecto urbano.

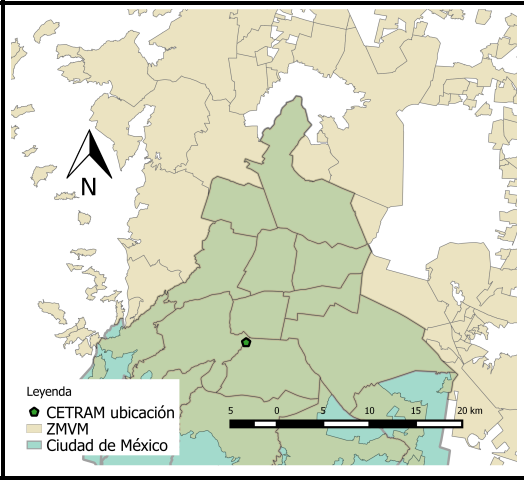
Ventajas:
Está conectado con la avenida principal Universidad, la cual se comunica con la UNAM y con muchos centros comerciales (Centro Coyoacán, Patio Universidad, Oasis, entre otros).

Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM fue de 501 075 pasajeros al día, sobrado para la demanda de servicios de transporte. El CETRAM está pobremente automatizado (20%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Tampoco cuenta cámaras de video-vigilancia ni con señalamiento físico.

Tabla 3-24. Ficha técnica de Viveros

Viveros		Número 22
Año de creación		1983
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Coyoacán
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	65,000
Operación	Número de trabajadores	6
	Automatización (%)	20
	Horas de operación (horas)	18
	Tiempo de transferencia promedio (min)	12:00
Oferta	Número de modos de transporte	2
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	501,075
Geometría	Superficie (m^2)	1,357
	Accesos y salidas vehiculares	2
	Sitio de taxi	no
	Cajones de estacionamiento	0
	Bici-estacionamientos	no
	Número de bahías	2
	Número de andenes	2
	Longitud de bahía (m)	100
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	14,081
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	18.79
	Emisiones de BC (ton/día)	2.24
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	20
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	44,400.00





Fuente: elaboración propia

3.1.23 Moctezuma

Ubicado al poniente de la Ciudad de México en la alcaldía Venustiano Carranza. Por éste transbordan diariamente 50 000 pasajeros, su área de transferencia es de 851 m^2, la segunda más pequeña de los casos de estudio. Los modos de transporte que aquí convergen son: Metro, con una línea del STC (1), Metrobús línea 4, autobuses RTP, autobuses, microbuses y vagonetas.

Alrededores:
Las colonias que rodean a este CETRAM en un radio de 1 km son: Moctezuma 1A sección, Moctezuma 2A sección, Unidad Habitacional Kennedy, Aeronática Militar, El Parque, 7 de Julio, Ampliación 7 de Julio, Morazán, 10 de Mayo, Penitenciaria, Madero, Miguel Hidalgo, Jardín Balbuena y en menor medida Centro (Inventario Nacional de Vivienda 2015).

Áreas de oportunidad:
Al igual que San Lázaro, éste se encuentra muy cerca de la TAPO, lo cual hace posible que en un futuro exista la posibilidad de incorporar en un solo cuerpo a las estaciones y la central camionera, esto con la construcción de puentes y accesos peatonales adecuados la transferencia modal. Con lo anterior, sacar provecho para la inclusión de plazas que ofrezcan diversos servicios y productos.

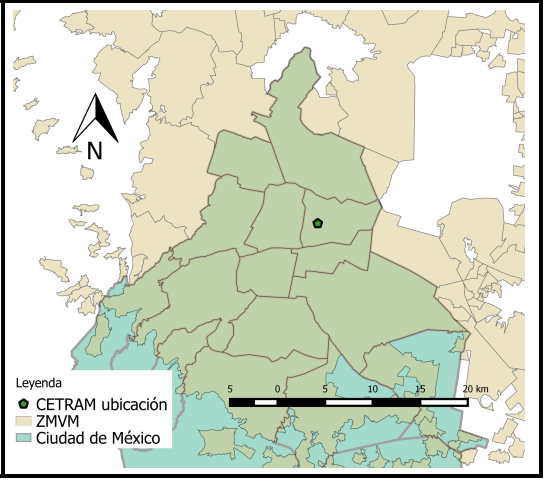
Desventajas:
Es un CETRAM con un área de transferencia bastante reducida, lo cual limita mucho su crecimiento para la incorporación de otros modos de transporte. Así mismo, los modos están separados y tiene que cruzarse avenidas transitadas por vehículos, lo cual hace que la transferencia no se haga en una estación como tal, sino en el exterior, poniendo en riesgo la seguridad del pasajero. El comercio ambulante como casi todos los casos estudio es un problema frecuente.

Ventajas:
Su cercanía con la TAPO hace posible que exista intermodalidad con automóviles particulares, motocicletas y bicicletas. Así mismo se encuentra conectado con la avenida principal Ignacio Zaragoza que comunica a la Ciudad de México con la ciudad de Puebla.

Operación:
La capacidad calculada para este CETRAM fue de 763 091 pasajeros al día, sobrado para la demanda de servicios de transporte. El CETRAM está medianamente automatizado (40%), no cuenta con señalamientos electrónicos, ni pantallas que indiquen el destino, horario de llegada y salida de los vehículos. Sin embargo, cuenta cámaras de video-vigilancia y con señalamiento físico.

Tabla 3-25. Ficha técnica de Moctezuma

Moctezuma		Número 23
Año de creación		1969
Tipo de gestión		Pública
Nombre del operador		Coordinación de los Centros de Transferencia Modal
Alcaldía		Venustiano Carranza
Demanda	Pasajeros atendidos por día (pax/día)	50,000
Operación	Número de trabajadores	1
	Automatización (%)	40
	Horas de operación (horas)	16
	Tiempo de transferencia promedio (min)	05:40
Oferta	Número de modos de transporte	4
	Capacidad del CETRAM (pax/día)	763,091
Geometría	Superficie (m^2)	851
	Accesos y salidas vehiculares	2
	Sitio de taxi	sí
	Cajones de estacionamiento	50
	Bici-estacionamientos	sí
	Número de bahías	2
	Número de andenes	2
	Longitud de bahía (m)	100
	Longitud de anden (m)	150
Parámetros ambientales	Energía consumida (MWH/día)	17,670
	Emisiones de CO_2 (ton/día)	38.75
	Emisiones de BC (ton/día)	3.74
Aspecto social	Satisfacción del servicio (%)	60
Aspecto financiero	Ingresos anuales ($)	437,500.00



Fuente: elaboración propia

4. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS CETRAM

En este capítulo se describe el proceso de generación de la base de datos utilizada en esta tesis. Posteriormente se explica el enfoque de las eficiencias (técnica, social y ambiental). Así mismo se hace un repaso de los inputs y outputs utilizados en estudios de transporte público utilizando el método DEA. Finalmente se definen las variables a utilizar y se explica la metodología propuesta.

4.1 Generación de base de datos

. La base de datos fue construida con información obtenida principalmente de dos fuentes:

- Gabinete:
  - Solicitudes de información a departamentos de transporte
  - Cálculos y modelos matemáticos

- Campo:
  - Aforos vehiculares
  - Encuestas a usuarios y operadores
  - Levantamiento de las estaciones

Esta base se obtuvo a partir de solicitudes de información a diferentes instituciones y dependencias de gobierno, a través de los portales web INFOMEXDF y SAIMEX. En cuanto a los cálculos y modelos matemáticos se tomó como referencia estudios para el cálculo de capacidades de intercambiadores modales, gases de efecto invernadero en diferentes modos de transporte y en la energía que estos consumen, en el siguiente apartado (explicación de las variables) se aclaran dichas referencias y en los anexos de esta tesis se muestran algunas hojas de cálculo. Así mismo, se hicieron 46 visitas de campo, es decir se visitaron 46 CETRAM para hacer el levantamiento de las estaciones y conocer el contexto técnico, social y ambiental de estos lugares. En campo se realizaron aforos vehiculares para conocer en que cantidad y que tipo de vehículos llegaban a cada CETRAM, se realizaron encuestas para conocer su contexto social y se obtuvieron datos del año y modelo de los vehículos, el tipo de combustible utilizado y así obtener las emisiones de gases de efecto invernadero y la energía consumida. En el apartado de anexos se muestran algunas fotografías, encuestas a usuarios y operadores para la recopilación de la información. Con base en lo anterior se generó la información resumida en la tabla 4-1.

Tabla 4-1. Base de datos generada

No.	CETRAM	Demanda	Oferta	Geometría				Operación			Parámetros ambientales		Social
		PA (pax/día)	CC (pax/día)	MT	AT (m^2)	AS	E	TT (min)	AU (%)	NT	EC (MWH/h)	ECO_2 (ton/día)	SS (%)
1	Pantitlán	1,100,000	1,864,240	4	88,949	5	1	08:45	60	6	55,217	150.80	60
2	I. Verdes	950,000	948,460	4	64,714	19	1	12:28	40	20	12,938	186.63	40
3	Tasqueña	750,000	721,704	5	38,006	7	300	06:00	60	13	62,148	62.51	60
4	Chapultepec	500,000	631,285	4	30,233	5	1	18:33	40	5	37,989	79.73	60
5	Cuatro Cam.	480,000	389,587	3	93,470	4	1	12:00	40	10	12,479	21.99	60
6	El Rosario	230,000	762,032	5	41,699	3	1	10:00	60	16	34,944	68.87	80
7	Universidad	200,000	599,030	3	22,587	5	7	08:30	20	6	33,567	77.57	60
8	Const. 1917	200,000	452,380	3	38,973	4	1	07:00	40	9	12,833	63.22	40
9	Zaragoza	185,000	576,937	3	19,443	4	1	06:30	40	6	18,132	88.69	20
10	C. Azteca	180,000	487,050	3	36,000	8	250	08:00	100	9	23,367	34.85	80
11	B. P. Aéreo	135,000	450,255	4	10,538	10	1	06:00	20	8	18,443	47.17	40
12	M. Carrera	135,000	805,080	5	19,312	2	1	10:00	40	2	54,907	84.21	40
13	Tacuba	130,000	790,100	3	11,400	18	1	04:30	20	6	27,789	23.59	20
14	Politécnico	120,000	573,095	3	14,930	2	20	09:00	40	16	28,125	28.18	60
15	Zapata	115,000	936,856	4	8,734	4	1	10:00	60	4	39,363	21.27	80
16	La Raza	115,000	1,206,544	4	20,296	15	2	06:50	20	3	83,933	32.89	40
17	Tacubaya	115,000	1,562,480	4	4,702	10	1	11:00	40	8	64,243	55.18	40
18	Observatorio	85,000	542,408	2	15,928	6	200	21:00	40	6	17,044	21.34	40
19	M. A. Q.	80,000	483,354	4	976	2	1	06:20	20	1	28,106	8.20	40
20	Santa Marta	80,000	645,636	3	23,769	3	1	07:30	40	3	16,189	29.51	20
21	San Lázaro	75,000	1,196,316	4	17,914	6	300	03:30	60	12	66,559	82.21	80
22	Viveros	65,000	501,075	2	1,357	2	1	12:00	20	6	14,081	18.79	20
23	Moctezuma	50,000	763,091	4	851	2	50	05:40	40	1	17,670	38.75	60
24	C. Abastos	45,000	28,340	2	16,058	2	100	07:50	40	6	884	36.31	40
25	Tepalcates	45,000	962,799	4	7,246	5	30	06:20	60	4	36,106	34.60	40
26	D. 18 Marzo	45,000	1,399,616	3	10,307	11	1	10:00	20	3	50,957	54.76	40
27	Potrero	30,000	800,596	3	7,053	6	1	08:20	20	2	41,328	46.10	60
28	Huipulco	20,000	261,312	3	16,182	7	1	08:30	40	5	32,013	46.16	40
29	Mixcoac	15,000	1,177,633	4	8,902	6	1	07:00	40	3	38,607	11.05	60
30	Dr. Gálvez	12,000	489,122	3	6,861	5	1	12:00	20	2	45,647	36.62	60
31	Ferroplaza	12,000	539,158	4	5,063	6	15	03:30	40	2	25,442	12.46	40
32	VillaCantera	12,000	167,605	3	1,852	2	1	04:00	40	2	25.817	10.45	40
33	Iztapalapa	10,000	358,584	3	4,818	3	1	05:30	40	1	11,709	3.76	80
34	Balbuena	8,000	544,640	3	588	2	5	03:10	40	1	17,019	6.81	20
35	B. Muerto	6,000	509,452	3	2,242	4	5	08:30	40	1	14,131	3.37	80
36	Xochimilco	3,000	236,490	3	4,566	4	1	04:00	40	5	38,005	3.85	60
37	Refinería	2,500	424,495	3	1,376	2	15	06:30	20	3	13,720	1.20	60
38	Coyuya	1,200	665,096	4	7,430	10	1	09:30	40	1	53,213	15.10	60
39	Santa Anita	1,000	592,782	2	6,799	3	30	07:00	40	1	19,968	1.67	80

Fuente: Román-de la Sancha et al. (2016). Modeling Urban Transfer Stations Efficiency

4.2 Explicación de las variables

Demanda:

- **Pasajeros atendidos por día (PA):** Se obtiene contando el número de pasajeros que atiende el Centro de Transferencia Modal en sus diferentes modalidades durante un día. Unidad: **(pax/día).**

Operación:

- **Número de trabajadores (NT):** un Centro de Transferencia Modal cuenta con tres diferentes tipos de trabajadores para que este opere (personal técnico operativo, personal de estructura y prestadores de servicio). Se contabiliza el total de estos para cada CETRAM. Unidad: **(n° de trabajadores).**

- **Automatización (AU):** esta variable se refiere a los sistemas de control implementados por el CETRAM para su operación. Es decir sistemas de comunicación que sirvan de enlace entra la estación, transportistas y los usuarios en los procesos de asignación de frecuencias, suministro de vehículos y sincronización de los cuerpos de operación. Estos procesos son controlados por sistemas de video-vigilancia y señalización. Para medir al grado de automatización se optó por usar porcentajes con base a criterios de observación en las visitas realizadas. Para ilustrar mejor lo anterior se muestra en la tabla 4-2 dichos porcentajes. Unidad: **(%).**

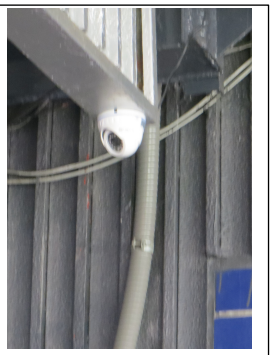
Tabla 4-2. Criterio de automatización

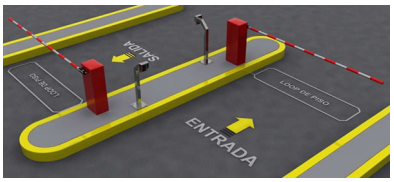
%	Criterio
20	No hay presencia de señalamiento físico ni electrónico. No cuenta con cámaras de video-vigilancia.
40	Existe un señalamiento físico en estado obsoleto. No hay cámaras de video-vigilancia.
60	Existe señalamiento físico y hay cámaras de video-vigilancia.
80	Existe señalamiento físico y electrónico. Cuenta con cámaras de video-vigilancia.
100	Existe señalamiento físico y electrónico, las operaciones de frecuencias y suministro de vehículos están sincronizadas. Cuenta con cámaras de video-vigilancia y control de accesos y salidas de los vehículos.

Fuente: Elaboración propia

Señalamiento electrónico

Señalamiento físico


Video-vigilancia



Control vehicular en accesos y salidas

Figura 4-1. Automatización en los CETRAM

- **Horas de operación (HO):** se refiere al número de horas que opera el CETRAM durante el día. La mayoría opera de un horario de las 6:00 a las 22:00 horas, es decir 16 horas. Unidad: **(horas).**

- **Tiempo de transferencia (TT):** se refiere al tiempo promedio que tarda un pasajero en realizar la transferencia modal dentro de un CETRAM. Para obtener el tiempo de transferencia tuvieron que realizarse varias transferencias a diferentes modos dentro de cada CETRAM, para después calcular un promedio de estos valores. Es evidente que este tiempo de transferencia depende de la hora, día e incluso mes en que se realice. Así mismo, depende de que tiempos se están tomando en cuenta para llegar al valor final. En las figuras 4-1 y 4-2 se explican los tiempos que se tomaron para obtener el tiempo de transferencia modal. Por último, se muestra una gráfica del tiempo de transferencia de un CETRAM en específico dependiendo la hora del día, con ello puede obtenerse un valor del tiempo de transferencia en una hora específica del día. Para obtener la mencionada gráfica se ajustaron los valores obtenidos en campo a la forma de gráficas de los niveles de demanda del transporte público, típicos de la ZMVM (INEGI, 2007). Unidad: **(min).**

  Para tomar el tiempo de transferencia se utilizó un cronómetro y se tomó el tiempo desde el modo de transporte más masivo presente en el CETRAM (e.g. Metro, Metrobús, Tren Ligero) hacia los demás modos de transporte. Se consideraron tres tiempos: tiempo de recorrido, tiempo de fila y tiempo de espera en el vehículo. Para ilustrar mejor lo anterior se muestra un ejemplo de la toma del tiempo de transferencia en el CETRAM Tasqueña.

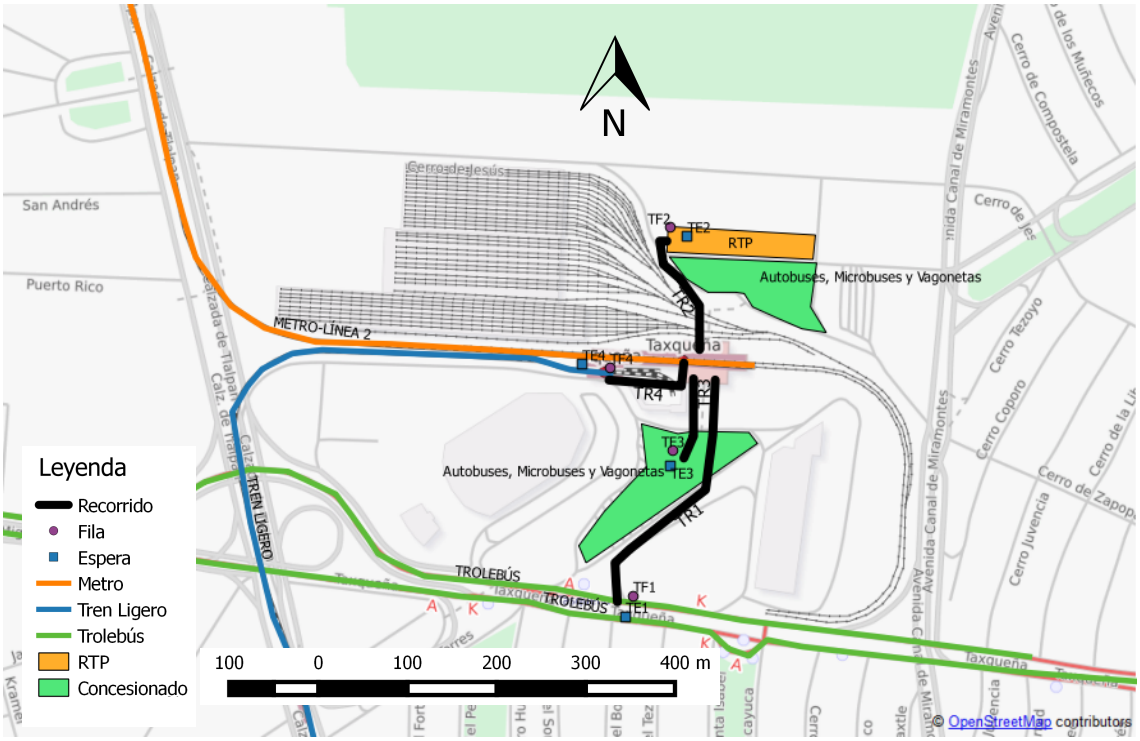


Figura 4-2. Toma del tiempo de transferencia en el CETRAM Tasqueña

Como se observa en la imagen, se tomaron cuatro tiempos de recorrido (TR1, TR2, TR3 y TR4), inmediatamente se tomó el tiempo de fila (TF1, TF2, TF3 y TF4). Finalmente se tomó el tiempo de espera en el vehículo hasta que este inicia su ruta (TE1, TE2, TE3 y TE4). Estos valores fueron reportados a mano en formatos, los cuales se muestran a continuación en la figura 4-3.

MARQUE CON UNA "X" EL TRANSPORTE MÁS MASIVO QUE EXISTA EN EL CETRAM

CETRAM: Tasqueña
Fecha: 06 de Junio de 2015
Aforador: Luis
Hora de inicio: 9:00 am
Hora de fin: 9:45 am

[min]	(X)						PROM. T. TRANS
TIEMPO DE RECORRIDO		1'30''	-	3'30''	1'	4'	
TIEMPO DE FILA		1'30''	-	0'	1'50''	0'40''	
TIEMPO DE ESPERA EN VEHÍCULO		6'	-	3'30''	0'10''	0'20''	
	TOTAL	9'	-	7'	3'	5'	6'00''

Figura 4-3. Formato utilizado para obtener el tiempo de transferencia

Es importante mencionar que los tiempos de transferencia registrados en la base de datos fueron tomados en las 46 visitas de campo realizadas a los CETRAM, en junio y septiembre de 2015 correspondiente a los días martes y miércoles en un horario de las 9:00 a 10:00 horas. A continuación, para justificar los resultados, se muestra una gráfica con los tiempos de transferencia de cinco CETRAM, se observa la variación de éste a lo largo del día y las diferencias de operación de los CETRAM.

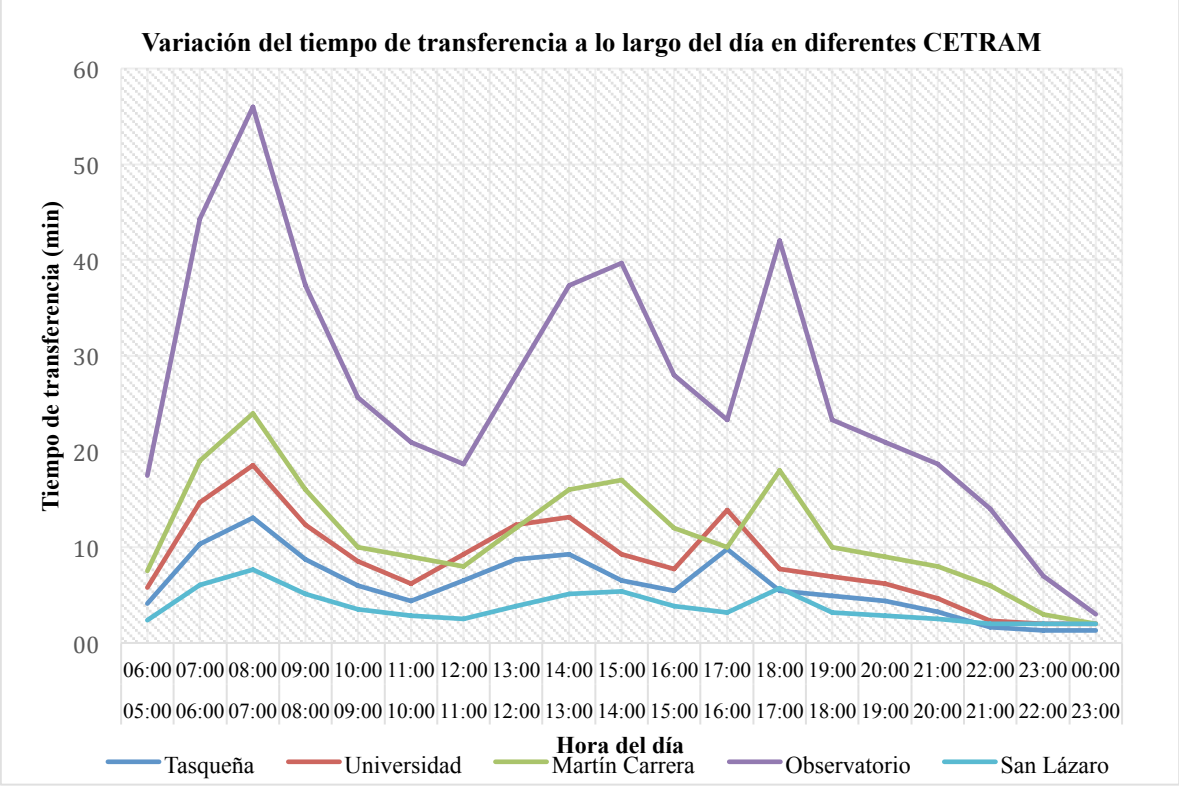


Figura 4-4. Variación del tiempo de transferencia

Oferta:

- **Modos de transporte (MT):** se contabiliza el número de modos de transporte que convergen e interactúan en el CETRAM. En esta tesis, los modos de transporte contemplados son seis: Metro, Metrobús y Mexibus, Tren Ligero, Trolebús, RTP y autobuses, microbuses y vagonetas. Unidad: **(n° de modos de transporte).**

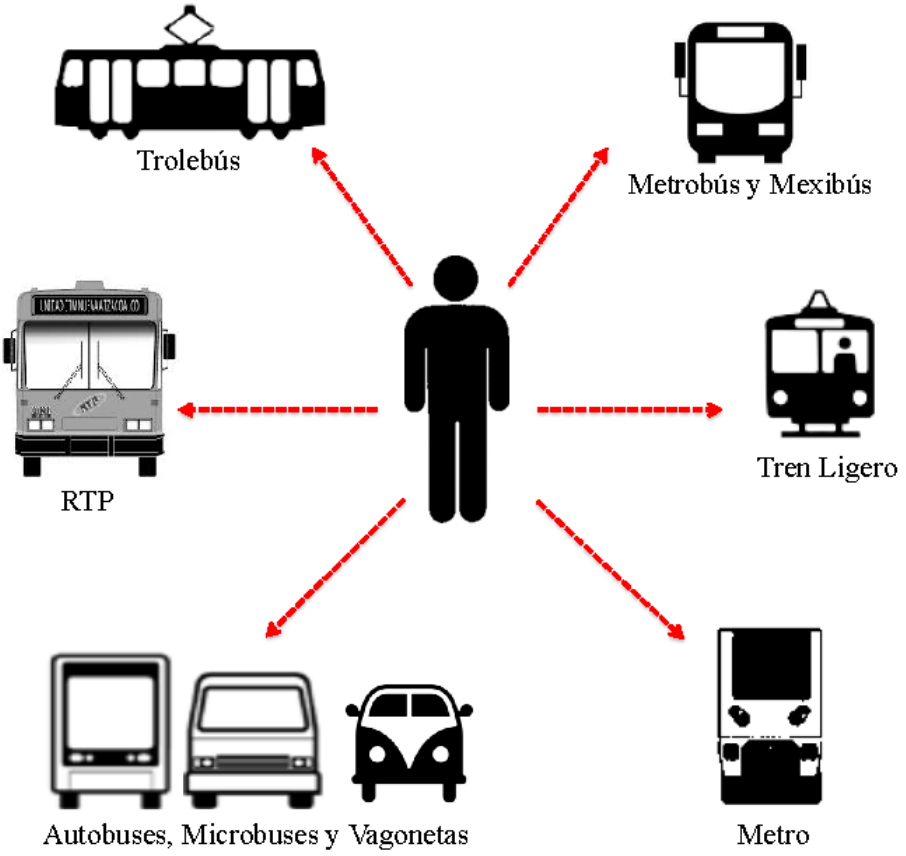


Figura 4-5. Modos de transporte considerados

En los modos de transporte no se toma en cuenta el Tren Suburbano ya que los CETRAM Buenavista y Tlalnepantla, que son con los que tiene conexión no se contemplan en los casos de estudio. Por otra parte, modos de transporte como el Pumabus, Cedabus u otros similares no están tomados en cuenta porque no tienen un alcance relevante en la ZMVM, sino que solo operan en circuitos establecidos controlados por otro tipo de organizaciones. El taxi se considera solo para saber si este modo llega al CETRAM, esto sucede cuando este cuenta con sitio de taxis establecido dentro de sus instalaciones , sin embargo, el taxi no se considera para el cálculo de la capacidad del CETRAM, tiempos de transferencia, emisiones de gases ni algún otro. La misma situación aplica para los automóviles particulares, motocicletas y bicicletas, no se consideran para los cálculos antes mencionados, sino para conocer si el CETRAM tiene la infraestructura necesaria para que estos modos puedan arribar.

- **Capacidad del vehículo (CV):** es la capacidad que tiene un determinado vehículo para transportar pasajeros. La capacidad de los seis modos de transporte considerados en esta tesis se muestran en la tabla 4-3. Unidad: **(pax/veh)**

Tabla 4-3. Capacidad de pasajeros de los modos de transporte

Vehículo	Capacidad (pax/veh)		
	Sentados	Parados	Total
Tren de Metro (con 9 carros)	342	1162	1458
Tren Ligero (doble cabina)	102	245	347
Metrobús biarticulado	58	142	200
Mexibus biarticulado	58	142	200
Trolebús	35	55	90
RTP	45	45	90
RTP Eco	45	45	90
Autobuses	18	27	55
Microbuses	15	18	35
Vagonetas	17	0	17

Fuente: SEMOVI, Coordinación de CETRAM y elaboración propia

- **Frecuencia de los vehículos (FV):** se refiere al número de vehículos que el CETRAM suministra cada hora, independientemente del modo de transporte. Las frecuencias varían de un modo de transporte a otro y de CETRAM a CETRAM. Como ejemplo, en la tabla 4-4 se muestran las frecuencias de los vehículos en los CETRAM Tasqueña, El Rosario, Tacuba, Tacubaya y Miguel Ángel de Quevedo. Unidad: **(veh/hora).**

Tabla 4-4. Frecuencia de vehículos en algunos CETRAM

CETRAM	Frecuencia (veh/hora)						Frecuencia (veh/día)
	Metro	Tren Ligero	Metrobús o Mexibús	Trolebús	RTP	RTP Eco	Colectivo (Autobuses, Microbuses y Vagonetas)
Tasqueña	16	16	-	83	4	-	1068
El Rosario	21	-	40	40	3	-	2080
Tacuba	34	-	-	-	3	-	600
Tacubaya	62	-	35	-	4	-	1165
M.A. Quevedo	19	-	-	30	-	3	249

Fuente: elaboración propia

- **Capacidad del CETRAM (CC):** se refiere la capacidad que tiene el CETRAM de atender a un cierto número de pasajeros en un día. Esta variable se calcula a partir de otras tres variables: frecuencia de los vehículos (e.g. carros de Metro, metrobuses, colectivos, otros) que llegan al CETRAM, la capacidad de pasajeros que estos tienen y las horas que opera el CETRAM. Con lo anterior puede obtenerse la capacidad que tiene el Centro de Transferencia Modal para atender a un cierto número de pasajeros al día. Unidad: **(pax/día).**

Geometría:

- **Área de transferencia (AT):** también llamada superficie, es el área física disponible donde convergen los diversos modos de transportes, se ofrecen servicios de diversas índoles y donde están las instalaciones necesarias para realizar la transferencia modal. Unidad: **(m^2).**

- **Accesos y salidas vehiculares (AS):** es el número de accesos y salidas para vehículos con lo que cuenta el CETRAM. Estos accesos son para los modos RTP y transporte colectivo (autobuses, microbuses y vagonetas); las estaciones de Metro, Metrobus, Mexibus, Tren Ligero y paradas de Trolebús no cuentan como accesos o salidas. Por otra parte, se decidió sumar el número de accesos y salidas para tener una sola variable y no dos, pues hace referencia al mismo concepto, a las instalaciones que permiten el flujo dentro del CETRAM. Unidad: **(n° de accesos y salidas).**

- **Cajones de estacionamiento (E):** es el número cajones para automóviles particulares y motocicletas con los que cuenta el CETRAM. Se toman en cuenta estacionamientos de Centrales Camioneras como parte del CETRAM. Unidad: **(n° de cajones de estacionamiento).**

- **Sitios de taxis (T):** se refiere a las instalaciones necesarias para que el taxi forme parte de un modo de transporte más dentro del CETRAM.

- **Bici-estacionamiento (BE):** se refiere a las instalaciones necesarias para que la bicicleta forme parte de un modo de transporte más dentro del CETRAM. Al igual que los sitios de taxis, solo se indica si estas instalaciones existen o no dentro del CETRAM.

- **Número de bahías (NB):** es el número de bahías disponible para el ascenso y descenso de pasajeros en el CETRAM. Las bahías son utilizadas por RTP, autobuses, microbuses y vagonetas. Unidad: **(n° de bahías).**

- **Número de andenes (NA):** es el número de andenes disponible para el ascenso y descenso de pasajeros en el CETRAM. Los andenes son utilizadas por Metro y Tren Ligero. Unidad: **(n° de andenes).**

- **Longitud de bahías (LB):** es la longitud promedio de las bahías de cada CETRAM. Unidad: **(m).**

- **Longitud de andén (LA):** es la longitud promedio de los andenes de cada CETRAM. Unidad: **(m).**

Parámetros ambientales:

- **Energía consumida (EC):** se refiere a la energía consumida en un día por los modos de transporte que convergen en el CETRAM. No hace referencia a la energía eléctrica o de otra índole consumida por las instalaciones o negocios dentro del CETRAM. Es exclusivamente la energía consumida por los sistemas de transporte. Unidad: **(MWH/hora).**

- **Emisiones de CO_2 (ECO_2):** es la cantidad de emisiones de dióxido de carbono que generan los sistemas de transporte que convergen en cada CETRAM en un día. Los

modos de transporte que menos emisiones generan son Metro, Tren Ligero y Trolebús, al funcionar con energía eléctrica. Por otra parte, los que más emisiones generan son Metrobús, RTP, Microbuses, Vagonetas y Autobuses. Se tomó en cuenta los estudios de Sheinbaum-Pardo (2014) para el cálculo de las emisiones de este gas. Es bien conocido el efecto invernadero que causa en el mundo el bióxido de carbono, sobre todo en zonas densamente pobladas, afectando a la salud humana. En los anexos se explica los cálculos para la obtención de esta variable. Unidad: **(ton/día).**

- **Emisiones de BC (EBC):** es la cantidad de emisiones de carbono negro que generan los sistemas de transporte que convergen en cada CETRAM en un día. Este gas es exclusivo de transportes viejos y sin mantenimiento, generado solamente por Microbuses, Autobuses y Vagonetas. Este gas de acuerdo con Otazo-Sánchez (2015) es nocivo para la salud humana, provocando enfermedades como el cáncer y dañando seriamente las vías respiratorias. En los anexos se explica los cálculos para la obtención de esta variable. Unidad: **(ton/día).**

Aspecto social:

- **Satisfacción del servicio (SS):** se refiere al nivel de aceptación de los pasajeros del servicio ofrecido por el CETRAM. Para ello se utilizaron porcentajes, donde 100% es muy bueno y 20% inaceptable. Para obtener dichos porcentajes se realizaron de 20 a 30 encuestas a pasajeros de cada uno de los CETRAM. El cuestionario empleado se muestra en los anexos. Es claro que por probabilidad, entre más grande sea la muestra, menor porcentaje de error se tendrá. Sin embargo, por limitaciones tecnológicas y de tiempo sólo fue posible recaudar información de la satisfacción del servicio de este reducido número de pasajeros. En la tabla 4-5 se expone lo anterior. Unidad: **(%).**

Tabla 4-5. Criterio de satisfacción del servicio

%	Satisfacción del servicio
20	Inaceptable
40	Mal servicio
60	Servicio regular y tolerable
80	Buen servicio, con algunos cambios potenciales para mejorarlo
100	Muy buen servicio

Fuente: elaboración propia

Aspecto financiero:

- **Ingresos anuales (IA):** es la cantidad de dinero que ingresa a los CETRAM en un año, por cobro de sus servicios a transportistas, locales comerciales, entre otros. En muy pocos casos este dato no fue posible de obtener.
  Unidad: **($ MXN, pesos mexicanos).**

4.3 Definición de la eficiencia técnica, servicio al pasajero y calidad ambiental

Como se mencionó en el Capítulo 1 (Introducción), el objetivo es evaluar la eficiencia en la asignación de recursos de los CETRAM, desde un marco sustentable, es decir, considerando el aspecto económico, social y ambiental. Por ello, estas tres dimensiones que se evalúan simultáneamente se definirán, dejando en claro que se busca evaluar en cada una de ellas.

Eficiencia técnica: se refiere al esfuerzo que hace el operador del CETRAM por usar la mínima cantidad de recursos para satisfacer la demanda de pasajeros. Cuando se incluyen los costos, el operador tratará de hacer una combinación de inputs que suponga el mínimo costo sin disminuir la producción. Entiéndase como recursos: área de transferencia o superficie, longitud y número de bahías, longitud y número de andenes, dosificación de vehículos, capacidad de los vehículos, número de trabajadores, tecnología disponible.

Andén y arribo del Metro

Bahías y zonas de espera en Tasqueña

Trabajador reparando vías de Tren Ligero en Tasqueña

Accesos y salidas de un cuerpo de Universidad. Se observa la capacidad de los vehículos

Figura 4-6. Recursos implementados para la eficiencia técnica

Servicio al pasajero: se refiere a los objetivos sociales de los CETRAM. La forma más directa de estimarlo es a través del nivel de satisfacción de los usuarios y de la cantidad de usuarios que utilizan la estación. Es claro que entre mejores sean los servicios que se proporcionen, como buenos accesos y salidas peatonales, poco congestionamiento de peatones y vehículos se presentarán, viéndose reflejado en una rápida transferencia de modos. Los señalamientos claros, seguridad, limpieza influyen de igual forma. También puede llamarse eficiencia social.

Figura 4-7. Recursos implementados para el servicio al pasajero

Calidad ambiental: se refiere a la disminución máxima de gases de efecto invernadero y dañinos a la salud, CO_2 y BC respectivamente, usando cierta cantidad de energía y tiempo de transferencia. Lo que se busca es utilizar la mínima cantidad de tiempo de transferencia y energía para producir cierta cantidad de gases. Lamentablemente, el programa utilizado no permite una disminución de gases y al mismo tiempo una disminución de recursos, pues esa función requiere de un programa más avanzado MaxDEA Ultra 6.4. Aquí solo se buscará disminuir los recursos consumidos para obtener la misma cantidad de gases. Así mismo el análisis de esta dimensión permitirá observar cuales CETRAM están utilizando vehículos con tecnologías de bajo consumo de energéticos y cuáles no. Chang et al. (2013) menciona que los outputs indeseables, en este caso los gases mencionados, tienen que

tratarse como una variable más y por lo tanto considerarse, pues son parte del proceso de producción. También puede llamarse eficiencia ambiental.

Generación de gases de efecto invernadero

Generación de carbono negro en Indios Verdes

El uso de vehículos viejos con poca capacidad genera mayor contaminación, congestionamiento de pasajeros y congestionamiento vehicular

Figura 4-8. Calidad ambiental en los CETRAM

Por otra parte, es importante mencionar que estas tres dimensiones pueden contraponerse en sus objetivos. Por ejemplo, en la dimensión técnica, mientras en ésta se trate de utilizar una menor cantidad de recursos, es posible que afecte a la dimensión social (servicio al pasajero), quitando recursos que para ésta era importante. Sin embargo, algo contrario podría pasar con la dimensión ambiental, podría darse el caso de incrementar su eficiencia en el caso de una disminución de vehículos o en la introducción de nuevos modos de transporte con bajas emisiones. Lo anterior no quiere decir que la eficiencia en las tres dimensiones sea imposible, por ejemplo, podría hacerce un proyecto estratégico de expansión y remodelación de un CETRAM, como principal prioridad la intermodalidad de los pasajeros, creando accesos y salidas peatonales adecuadas, señalamiento electrónico y físico y espacios adecuados para el ascenso y descenso de pasajeros, beneficiando así la dimensión social; igualmente, otra prioridad sería la introducción de modos de transporte masivos eléctricos y/o con baja generación de emisiones, lo cual beneficiaría la dimensión ambiental. Por supuesto, lo anterior requiere de una inversión inicial, costos de mantenimiento y operación, la idea es que el proyecto incluya un plan de retorno de inversión a cierto plazo y posteriormente generar sus propios ingresos, con ello se cubriría el beneficio de la dimensión técnica-económica. Sin embargo, es importante comprender que dada las condiciones actuales de los CETRAM será complicado que alguno de ellos alcance la eficiencia en las tres dimensiones.

4.4 Estudio de inputs y outputs usados en otros estudios

En este apartado se comentará los inputs y outputs utilizados en otros estudios de transporte público. Estos abarcan compañías de autobús urbano, aeropuertos, aerolíneas y en un caso estaciones intermodales. La tabla 4-6 muestra los modelos, todos utilizan el modelo DEA.

Tabla 4-6. Estudio de inputs y outputs usados con modelos DEA

Autor	Modelos	Descripción	Inputs	Outputs
Lai et al. (2015)	DEA AHP/DEA AR	Compara la eficiencia técnica entre 24 importantes aeropuertos internacionales usando un método de decisión multi-criterio.	Número de trabajadores Número de puertas Número de pistas Tamaño de la terminal Longitud de las pistas Gastos de operación	Número de pasajeros Cantidad de carga Movimientos aéreos Ingresos totales
Jahangoshai Rezaee et al. (2015)	DEA y juego de probabilidad de Nash	Evalúa la eficiencia técnica de 24 líneas de autobuses mediante varias mediciones.	Distancia del viaje Número de paradas Vehículos/hora al año Población de 65 años o más Trabajadores con más de 16 años Población con movilidad reducida	Total de viajes al año
Sreekanth Mallikarjun (2014)	DEA radial orientación general en REV	Mide la eficiencia de 14 grandes aerolíneas de Estados Unidos y de 14 aerolíneas nacionales, separándolas en dos grupos e identificando las causas de su ineficiencia.	Gastos de operación	Ingresos
Caulfield (2013)	DEA	Identifica la más eficiente solución para la ruta al aeropuerto central de Dublín, establece las razones de su ineficiencia.	Costo de operación	Tiempo de viaje ahorrado Preferencia Número de carros reducidos
Li (2013)	DEA	Analiza la eficiencia de las líneas de autobús en Beijing	Índice virtual Tarifa/pasajero	Nivel de seguridad Tiempo de fila Velocidad promedio
Yu-Chun Chang and Ming-Miin Yu (2012)	DEA-SBM, orientación al input y al output.	Mide la eficiencia de 16 aerolíneas internacionales.	Número de trabajadores Flota de aviones Combustible consumido Asientos disponibles/km Destino	Asientos disponibles/km Destino Pasajeros/Millas Factor ambiental Huella de carbono
Young-Tae Chang et al. (2012)	DEA-SBM, orientación al input, REV	Evalúa la eficiencia de 27 aerolíneas globales en aspectos económicos y ambientales.	Disponibilidad de combustible Consumo de combustible Número de trabajadores	Ingresos kilómetros Emisiones de carbono
Jordá et al. (2012)	DEA-SBM, orientación al input, REV	Analiza la eficiencia técnica de las compañías de bus urbano de España.	Longitud de la rutas Número de vehículos Costos de operación	Vehículo/km

Tabla 4-6. Estudio de inputs y outputs usados con modelos DEA (continuación)

Autor	Modelos	Descripción	Inputs	Outputs
Von Hirschhausen y Cullmann (2010)	DEA	Analiza la eficiencia de 179 compañías de autobús en Alemania.	Labor (número de horas trabajadas) Número de autobuses	Asiento disponibles/km
Sun et al. (2010)	DEA radial, orientación al input, CRS	Mide la eficiencia técnica de 10 terminales de transferencia en Beijín, tratando de mejorarlas.	Área de transferencia Costos de operación Número de trabajadores Capacidad de los autobuses	Seguridad Tiempo de transferencia Total de pasajeros al día
Pestana y Peypoch (2010)	DEA-Índice Malmquist	Evalúa la eficiencia de las compañías de autobuses en Portugal a través del tiempo	Capacidad de vehículos Coste del combustible Trabajadores Activos líquidos	Pasajeros totales Ventas
Lao and Liu (2009)	DEA radial, orientación al output	Evalúa la eficiencia de líneas de autobús de manera individual desde dos perspectivas, la operacional y la espacial, comparando los resultados de ambas.	Distancia del viaje Número de paradas Vehículos/hora al año Población de 65 años o más Trabajadores con más de 16 años Población con movilidad reducida	Total de viajes al año
Odeck (2006)	DEA radial, orientación al input	Analiza la eficiencia del autobús urbano en Noruega	Consumo de combustible Trabajo Capital	Plazas-km
Karlaftis (2004)	DEA orientación al output	Evalúa la eficiencia de los autobuses en Estados Unidos	Número de trabajadores Consumo de combustible Capital	Vehículos/millas anuales

Fuente: Román-de la Sancha et al. (2016) y Jordá (2012)

Como se mencionó antes, los inputs y outputs dependen del sector que se esté analizando, en la tabla 4-6 se observa que algunos de estos se repiten independientemente del sector. **Los CETRAM son intercambiadores modales**, y el estudio más semejante es el de las terminales de transferencia en Beijín (Sun et al., 2010), aquí toman en cuenta el área de transferencia, número de trabajadores, costos y capacidades, su producción se ve reflejada en el número de pasajeros, tiempo de transferencia y seguridad. Otro muy importante es el estudio de los aeropuertos de Lai et al. (2015), pues toman en cuenta la geometría (tamaño del aeropuerto, número de pistas y número de bandas) y flota disponible para obtener un cierto número de pasajeros e ingresos. Ahora bien, las aerolíneas son compañías meramente lucrativas, por lo que la producción siempre incluye las utilidades, sin embargo, algo importante de éstas es su preocupación por la producción de gases de efecto invernadero de sus aviones, luego entonces, consideran a estos gases como outputs indeseables dentro de su producción. Las aerolíneas también consideran al número de trabajadores como un recurso indispensable. En el caso de las compañías de autobús, sus inputs suelen ser el suministro de vehículos, número de trabajadores y longitud de la línea, aquí las utilidades no son el objetivo principal de las compañías, pues muchas de estas están subsidiadas por los gobiernos, por lo tanto, su producción se ve reflejada en los asientos ofertados y en la demanda que éstas tienen (Jordá, 2012). Las líneas de autobús al igual que las aerolíneas también consideran el consumo de combustible.

Por lo tanto, pueden destacarse ciertos inputs y outputs, que son indispensables para el análisis de la eficiencia del transporte público. Estos son:

❖ Inputs:

- Área de transferencia (geometría)
- Capacidad de los vehículos (número de pasajeros que es capaz de mover)
- Número de trabajadores (fuerza laboral utilizada)
- Oferta de los servicios (que puede ser el tamaño de la flota, modos de transporte y/o su frecuencia)

❖ Outputs:

- Demanda (cantidad de pasajeros que usan el servicio)
- Viajes realizados (para líneas de autobús y aerolíneas)
- Generación de gases de efecto invernadero (tomado en cuenta como producción no deseada)

Cuando se quiere estudiar los costos y las utilidades, los outputs también son:

- Ingresos
- Tiempo de traslado o de espera

4.5 Elección y justificación de las variables utilizadas

En el apartado anterior se habló de los inputs y outputs utilizados en estudios del transporte público urbano, esto se complementará con análisis estadísticos realizados también en estudios como el de Johnson (2010) o el de Jordá (2012), en los cuales hacen uso de coeficientes de correlación para comprender si hay alguna relación entre las variables. Cuando esta relación se da, la linealidad que existe entre las variables se ve reflejada en la frontera de eficiencia y por supuesto en los resultados obtenidos. Por otra parte, cuando se tienen muchas variables disponibles para el análisis, puede que algunas de éstas estén sumamente relacionadas, haciendo que su doble inclusión sea innecesaria y sólo complique el modelo. Por ello, es necesario hacer estudios estadísticos y corridas para encontrar variables que simplifiquen al modelo.

Por lo tanto, la selección se hace de acuerdo a dos criterios: según las variables utilizadas en otros estudios y en una serie de cálculos. Mencionado anteriormente, para llegar a esta selección tuvo que realizarse una serie de corridas con el programa y así observar si los resultados mostraban valores coherentes. En el proceso, estas corridas fueron numerosas y sirvieron para descartar e incluir variables, con el fin de reflejar de mejor manera los casos observados.

Otro importante aspecto del proceso de selección fue lidiar con variables en las que pudieran tener valores de cero. El método DEA no admite valores de cero, por lo tanto, en la variable referente a los cajones de estacionamientos, tuvo que darse valores muy cercanos a cero, por ejemplo, uno.

En la tabla 4-7 se muestra los valores de la correlación entre las variables disponibles, estos valores corresponden a los 39 casos de estudio mencionados en el Capítulo 3.

Tabla 4-7. Correlación entre variables (valor de R^2)

Variables	PA	AT	CC	NT	AS	MT	E	AU	TT	SS	EC	ECO_2	EBC	IA
Pasajeros atendidos	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Área de transferencia	0,723	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Capacidad del CETRAM	0,425	0,253	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Número de trabajadores	0,517	0,537	0,106	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Accesos y salidas	0,317	0,179	0,384	0,306	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Modos de transporte	0,212	0,047	0,436	0,249	0,263	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Estacionamiento	0,160	0,125	0,090	0,272	-0,032	0,125	1	-	-	-	-	-	-	-
Automatización	0,275	0,336	0,154	0,397	-0,167	0,042	0,241	1	-	-	-	-	-	-
Tiempo de transferencia	0,439	0,291	0,086	0,185	0,057	-0,023	0,000	-0,051	1	-	-	-	-	-
Satisfacción del servicio	0,030	0,089	0,095	0,091	-0,222	0,324	0,186	0,297	0,046	1	-	-	-	-
Energía consumida	0,310	0,123	0,712	0,113	0,315	0,655	0,265	0,032	0,013	0,191	1	-	-	-
Emisiones CO_2	0,829	0,652	0,495	0,561	0,401	0,240	0,098	0,262	0,254	-0,044	0,300	1	-	-
Emisiones BC	0,817	0,664	0,420	0,558	0,284	0,166	0,158	0,336	0,276	-0,052	0,234	0,969	1	-
Ingresos anuales	0,805	0,909	0,314	0,673	0,267	0,141	0,041	0,427	0,268	-0,002	0,113	0,857	0,893	1

Fuente: elaboración propia

En la tabla 4-7 se observa que el número de variables se redujo de acuerdo a las explicadas en el apartado *explicación de variables*, esto debido a que hay variables que están "dentro" de otras, es decir, su doble inclusión es innecesaria y solo complicaría el modelo. Por ejemplo, el número y longitud de bahías, y el número y longitud de andenes se encuentran dentro del área de transferencia, de hecho es mejor tener como referencia a esta variable, pues podrían incluirse otros modos de transporte masivos que no necesitan bahías, siendo estos modos más eficientes. De igual forma, las horas de operación, frecuencia y capacidad de los vehículos se encuentran incluidos en la variable capacidad del CETRAM, referente a la capacidad que éste tiene para atender pasajeros, en los anexos se muestra la fórmula de cómo estas tres variables son necesarias para obtener la capacidad de éste. Por otra parte, los bici-estacionamientos y sitios de taxis son variables condicionantes, es decir, sin unidades ni valores, por lo que su inclusión en el modelo DEA no es posible.

Observando los resultados de la correlación entre variables de la tabla 4-7, se analizan las variables a incluirse, en las tres dimensiones se tienen las siguientes conclusiones:

Dimensión técnica: el **área de transferencia** está fuertemente relacionada con los **pasajeros atendidos**, número de trabajadores, emisiones de CO_2 y BC, por lo que su inclusión en las dimensiones técnica y ambiental es justificada, complementándose con los estudios previos que la utilizan de igual forma. Los **accesos y salidas** son igualmente importantes al tener una mediana relación con los pasajeros atendidos, la capacidad y el número de trabajadores, además esta variable representa las instalaciones que permiten el

flujo en el CETRAM. De igual forma, la **capacidad (CC)** influye medianamente en la cantidad de pasajeros atendidos, esta variable es sumamente importante, pues aquí se observa, el tipo de vehículos que arriban y la frecuencia con que lo hacen. También el **número de trabajadores (NT)** influirá de manera importante al tener una fuerte relación con los pasajeros atendidos y con el área de transferencia. Finalmente la variable **ingresos anuales (IA)** tiene una fuerte relación con los pasajeros atendidos, área de transferencia, número de trabajadores, emisiones de CO_2 y BC, medianamente con la automatización, con lo cual podría considerarse para actuar como output. Sin embargo, lo que realmente reflejaría la situación financiera de los CETRAM sería la inclusión de la variable **egresos anuales** como input; lamentablemente este dato no pudo obtenerse para cada uno de los CETRAM, sino del gasto que hace la Coordinación en conjunto. Por lo anterior la variable IA queda descartada para el análisis.

Dimensión social: la **satisfacción del servicio (SS)** está medianamente relacionada con la **automatización (AU)** y los **modos de transporte (MT)**, por lo que la inclusión de estas tres variables en ésta dimensión es admitida. Algo insólito que se observa en le tabla 4-7 es que la SS, además de las dos variables mencionadas, no tiene relación alguna con otras variables, en menor medida tiene relación con los cajones de **estacionamiento,** sin embargo, no da muestra de que es lo que realmente influye en la SS. Para corroborar si los estacionamientos realmente influían en el resultado la eficiencia social se realizaron corridas con y sin dicha variable, comprobándose que los que contaban con suficientes cajones de estacionamiento mejoraban su eficiencia, pues tenían recursos suficientes para que una combinación de estos mejorara su estado actual (en los anexos se muestra la justificación). Ahora bien, otro importante aspecto social además de la SS son los **pasajeros atendidos (PA)**, pues son la forma de medir si realmente los CETRAM están cumpliendo con la función de conectores en la ciudad, los PA muestran una mediana relación con el **tiempo de transferencia (TT),** lo cual quiere decir que los pasajeros acuden a los CETRAM dependiendo del tiempo que les toma hacer la transferencia de modos.

Dimensión ambiental: aquí lo que interesa es ver que variables se relacionan con las emisiones de **CO_2 y BC,** mostrando la **energía consumida (EC)** una mediana relación, por lo que se toma en cuenta esta variable. Igualmente, las emisiones de **CO_2 y BC**, muestran una fuerte relación entre ellas, de hecho los resultados de relación con las otras variables es muy parecida entre ellas, esto quiere decir que no es necesario incluir ambas variables, pues los resultados serán los mismos al presentar la misma relación y sólo se complicaría el modelo (en los anexos se muestran los cálculos con uno y los dos gases). Por ejemplo, ambas emisiones muestran una fuerte relación con los **pasajeros atendidos (PA)**, área de transferencia, incluso con los trabajadores, capacidad y accesos y salidas. De las variables mencionadas solo se seleccionará una variable de la ya comentada dimensión técnica, es decir, la variable **área de transferencia (AT)** será suficiente para tomar en cuenta a los trabajadores, capacidad, accesos y salidas, pues éstas están relacionadas con el **AT**, con ello se simplifica el modelo. Ahora bien, una variable que no precisamente tiene relación directa con las emisiones es el **tiempo de transferencia**. La justificación de elegir esta variable es que entre menor sea el valor de ésta significa que la operación del CETRAM está siendo con modos de transporte masivo o con operaciones altamente sincronizadas, con lo cual se incrementará el número de pasajeros, es decir, hay tres

variables susceptibles de ser reducidas (tiempo de transferencia, área de transferencia y consumo energético) y una que deseamos esté estable o incremente (pasajeros atendidos).

Una vez hecho el análisis estadístico y con los estudios preliminares del transporte público urbano, las variables que se utilizarán son las presentadas en la tabla 4-8.

Tabla 4-8. Variables para el análisis de la eficiencia

Dimensión	Inputs	Outputs
Técnica	Área de transferencia (m^2) Accesos y salidas (número) Capacidad (pax/día) Trabajadores (número)	Pasajeros atendidos (pax/día)
Servicio al pasajero (Social)	Modos de transporte (número) Estacionamiento (número de cajones) Automatización (%) Tiempo de transferencia (min)	Pasajeros atendidos (pax/día) Satisfacción del servicio (%)
Ambiental	Área de transferencia (m^2) Tiempo de transferencia (min) Consumo energético (MWH/hora) Pasajeros atendidos (pax/día)	Emisiones de CO_2 (ton/día)

Fuente: elaboración propia

Por lo anterior, una vez definidas las variables con las cuales será analizada la eficiencia de los CETRAM, en la tabla 4-9 se muestran los valores que serán utilizados para el análisis, obtenida de las fichas técnicas del Capítulo 3 (Casos de Estudio).

Tabla 4-9. Base de datos utilizada para el análisis

No.	CETRAM	Demanda	Oferta	Geometría				Operación			Parámetros ambientales		Social
		PA (pax/día)	CC (pax/día)	MT	AT (m^2)	AS	E	TT (min)	AU (%)	NT	EC (MWH/h)	ECO_2 (ton/día)	SS (%)
1	Pantitlán	1,100,000	1,864,240	4	88,949	5	1	08:45	60	6	55,217	150.80	60
2	I. Verdes	950,000	948,460	4	64,714	19	1	12:28	40	20	12,938	186.63	40
3	Tasqueña	750,000	721,704	5	38,006	7	300	06:00	60	13	62,148	62.51	60
4	Chapultepec	500,000	631,285	4	30,233	5	1	18:33	40	5	37,989	79.73	60
5	Cuatro Cam.	480,000	389,587	3	93,470	4	1	12:00	40	10	12,479	21.99	60
6	El Rosario	230,000	762,032	5	41,699	3	1	10:00	60	16	34,944	68.87	80
7	Universidad	200,000	599,030	3	22,587	5	7	08:30	20	6	33,567	77.57	60
8	Const. 1917	200,000	452,380	3	38,973	4	1	07:00	40	9	12,833	63.22	40
9	Zaragoza	185,000	576,937	3	19,443	4	1	06:30	40	6	18,132	88.69	20
10	C. Azteca	180,000	487,050	3	36,000	8	250	08:00	100	9	23,367	34.85	80
11	B. P. Aéreo	135,000	450,255	4	10,538	10	1	06:00	20	8	18,443	47.17	40
12	M. Carrera	135,000	805,080	5	19,312	2	1	10:00	40	2	54,907	84.21	40
13	Tacuba	130,000	790,100	3	11,400	18	1	04:30	20	6	27,789	23.59	20
14	Politécnico	120,000	573,095	3	14,930	2	20	09:00	40	16	28,125	28.18	60
15	Zapata	115,000	936,856	4	8,734	4	1	10:00	60	4	39,363	21.27	80
16	La Raza	115,000	1,206,544	4	20,296	15	2	06:50	20	3	83,933	32.89	40
17	Tacubaya	115,000	1,562,480	4	4,702	10	1	11:00	40	8	64,243	55.18	40
18	Observatorio	85,000	542,408	2	15,928	6	200	21:00	40	6	17,044	21.34	40
19	M. A. Q.	80,000	483,354	4	976	2	1	06:20	20	1	28,106	8.20	40
20	Santa Marta	80,000	645,636	3	23,769	3	1	07:30	40	3	16,189	29.51	20
21	San Lázaro	75,000	1,196,316	4	17,914	6	300	03:30	60	12	66,559	82.21	80
22	Viveros	65,000	501,075	2	1,357	2	1	12:00	20	6	14,081	18.79	20
23	Moctezuma	50,000	763,091	4	851	2	50	05:40	40	1	17,670	38.75	60
24	C. Abastos	45,000	28,340	2	16,058	2	100	07:50	40	6	884	36.31	40
25	Tepalcates	45,000	962,799	4	7,246	5	30	06:20	60	4	36,106	34.60	40
26	D. 18 Marzo	45,000	1,399,616	3	10,307	11	1	10:00	20	3	50,957	54.76	40
27	Potrero	30,000	800,596	3	7,053	6	1	08:20	20	2	41,328	46.10	60
28	Huipulco	20,000	261,312	3	16,182	7	1	08:30	40	5	32,013	46.16	40
29	Mixcoac	15,000	1,177,633	4	8,902	6	1	07:00	40	3	38,607	11.05	60
30	Dr. Gálvez	12,000	489,122	3	6,861	5	1	12:00	20	2	45,647	36.62	60
31	Ferroplaza	12,000	539,158	4	5,063	6	15	03:30	40	2	25,442	12.46	40
32	VillaCantera	12,000	167,605	3	1,852	2	1	04:00	40	2	25.817	10.45	40
33	Iztapalapa	10,000	358,584	3	4,818	3	1	05:30	40	1	11,709	3.76	80
34	Balbuena	8,000	544,640	3	588	2	5	03:10	40	1	17,019	6.81	20
35	B. Muerto	6,000	509,452	3	2,242	4	5	08:30	40	1	14,131	3.37	80
36	Xochimilco	3,000	236,490	3	4,566	4	1	04:00	40	5	38,005	3.85	60
37	Refinería	2,500	424,495	3	1,376	2	15	06:30	20	3	13,720	1.20	60
38	Coyuya	1,200	665,096	4	7,430	10	1	09:30	40	1	53,213	15.10	60
39	Santa Anita	1,000	592,782	2	6,799	3	30	07:00	40	1	19,968	1.67	80

Fuente: Román-de la Sancha et al. (2016). Modeling urban transfer stations efficiency

Quedando finalmente las fórmulas para obtener la eficiencia de cada dimensión de la siguiente forma:

Eficiencia técnica:

$$\theta = \frac{f(uPA)}{f(v_1 AT, v_2 AS, v_3 CC, v_4 NT)}$$

Donde:

θ : es el valor de eficiencia técnica del DMU
PA : es el total de pasajeros atendidos, variable utilizada como output
AT : es el área de transferencia, variable utilizada como input
AS : es el número de accesos y salidas, variable utilizada como input
CC : es la capacidad del CETRAM, variable utilizada como input
NT : es el número de trabajadores, variable utilizada como input
u, v_1, v_2, v_3, v_4: son parámetros calculados por el modelo de manera automática

Servicio al pasajero:

$$\phi = \frac{f(u_1 PA, u_2 SS)}{f(v_1 MT, v_2 E, v_3 AU, v_4 TT)}$$

Donde:

ϕ : es el valor de eficiencia social del DMU
PA : es el total de pasajeros, variable utilizada como output
SS : es la satisfacción del servicio, variable utilizada como output
MT : es el número de modos de transporte, variable utilizada como input
E : es el número de cajones del estacionamiento, variable utilizada como input
AU : es el porcentaje de automatización, variable utilizada como input
TT : es el tiempo de transferencia, variable utilizada como input
$u_1, u_2, v_1, v_2, v_3, v_4$: son parámetros calculados por el modelo de manera automática

Ambiental:

$$\theta = \frac{f(uECO_2)}{f(v_1 AT, v_2 TT, v_3 CE, v_4 PA)}$$

Donde:

θ : es el valor de eficiencia ambiental del DMU
ECO_2 : es la producción de gases de efecto invernadero, variable utilizada como output
AT : es el área de transferencia, variable utilizada como input
TT : es el tiempo de transferencia, variable utilizada como input
CE : es el consumo energético, variable utilizada como input
PA : es el total de pasajeros atendidos, variable utilizada como input
u, v_1, v_2, v_3, v_4: son parámetros calculados por el modelo de manera automática

4.6 Metodología propuesta

Una vez definidas las variables a utilizar y la base de datos, se puede entonces definir la metodología. Ésta recoge experiencias y aportaciones de los estudios mencionados en el estado de arte de la eficiencia técnica, sin embargo, su originalidad es un esfuerzo de pruebas, intentos, cálculos y mediciones, para obtener una herramienta innovadora útil para las compañías operadoras de intercambiadores modales.

Como se mencionó en el estado del arte, no es recomendable hacer el análisis de la eficiencia con modelos radiales, siendo los modelos SBM más rigurosos y precisos. Así mismo, las orientaciones que se dan dependen del objetivo que se quiera alcanzar. Por último, los rendimientos de escala variables permiten obtener resultados coherentes, pues solo compara los DMUs de tamaños similares, evitando así considerar DMUs ineficientes sólo por la diferencia de tamaño.

Con lo anterior, la metodología hará uso de un modelo SBM para el análisis de la eficiencia. Las orientaciones serán dos: orientación al input para la dimensión técnica y ambiental, y orientación al output para servicio al pasajero, en la tabla 4-10 se muestran los objetivos que buscan las orientaciones. Finalmente, en las tres dimensiones se opta por rendimientos de escala variables, pues todos los CETRAM analizados tienen diversos tamaños. En la tabla 4-11 se muestran las variables finales del modelo.

Tabla 4-10. Modelos usados de acuerdo a la dimensión evaluada

Dimensión	Modelo	Orientación	Rendimiento de escala	Objetivo
Técnica	SBM	Al input	Variable	Disminuir el consumo de recursos y mover a la mayor cantidad pasajeros
Servicio al pasajero	SBM	Al output	Variable	Aumentar el nivel de satisfacción de los pasajeros manteniendo los mismo recursos
Ambiental	SBM	Al input	Variable	Identificar los CETRAM que menos emisiones generan de acuerdo al consumo energético de sus vehículos

Fuente: elaboración propia

Tabla 4-11. Variables del modelo

Dimensión	Inputs	Outputs
Técnica (Económico)	Área de transferencia (m^2) Accesos y salidas (número) Capacidad (pax/día) Trabajadores (número)	Total de pasajeros (pax/día)
Servicio al pasajero (Social)	Modos de transporte (número) Estacionamiento (número de cajones) Automatización (%) Tiempo de transferencia (min)	Total de pasajeros (pax/día) Satisfacción del servicio (%)
Ambiental	Área de transferencia (m^2) Tiempo de transferencia (min) Consumo energético (MWH/hora) Total de pasajeros (pax/día)	Emisiones de CO_2 (ton/día)

Fuente: elaboración propia

El objetivo de la metodología es brindar indicadores de eficiencia a los operadores de los CETRAM de acuerdo a los recursos que se están destinado para cubrir la demanda de pasajeros, a los servicios brindados y a la calidad ambiental de acuerdo a las tecnologías, tipo de flota y capacidades con que cuentan. Por supuesto, para que un CETRAM sea eficiente en los tres aspectos tiene que existir un equilibro entre las tres dimensiones, pues como se mencionó anteriormente, puede llegar a darse una contraposición de objetivos. A manera de resumen se muestra un esquema de la metodología propuesta en las figura 4-9 y figura 4-10.

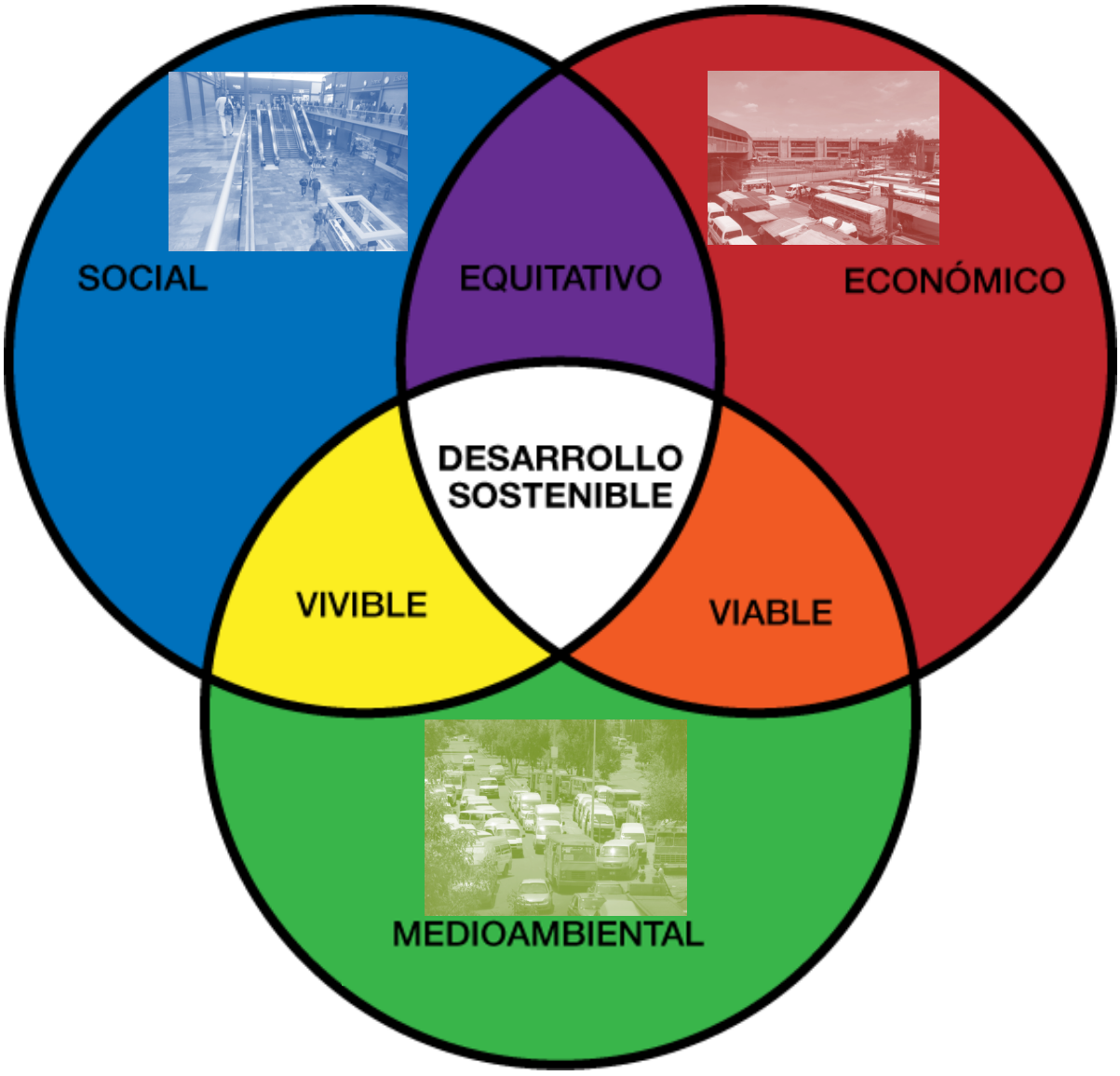


Figura 4-9. Concepto de sostenibilidad y sus tres dimensiones

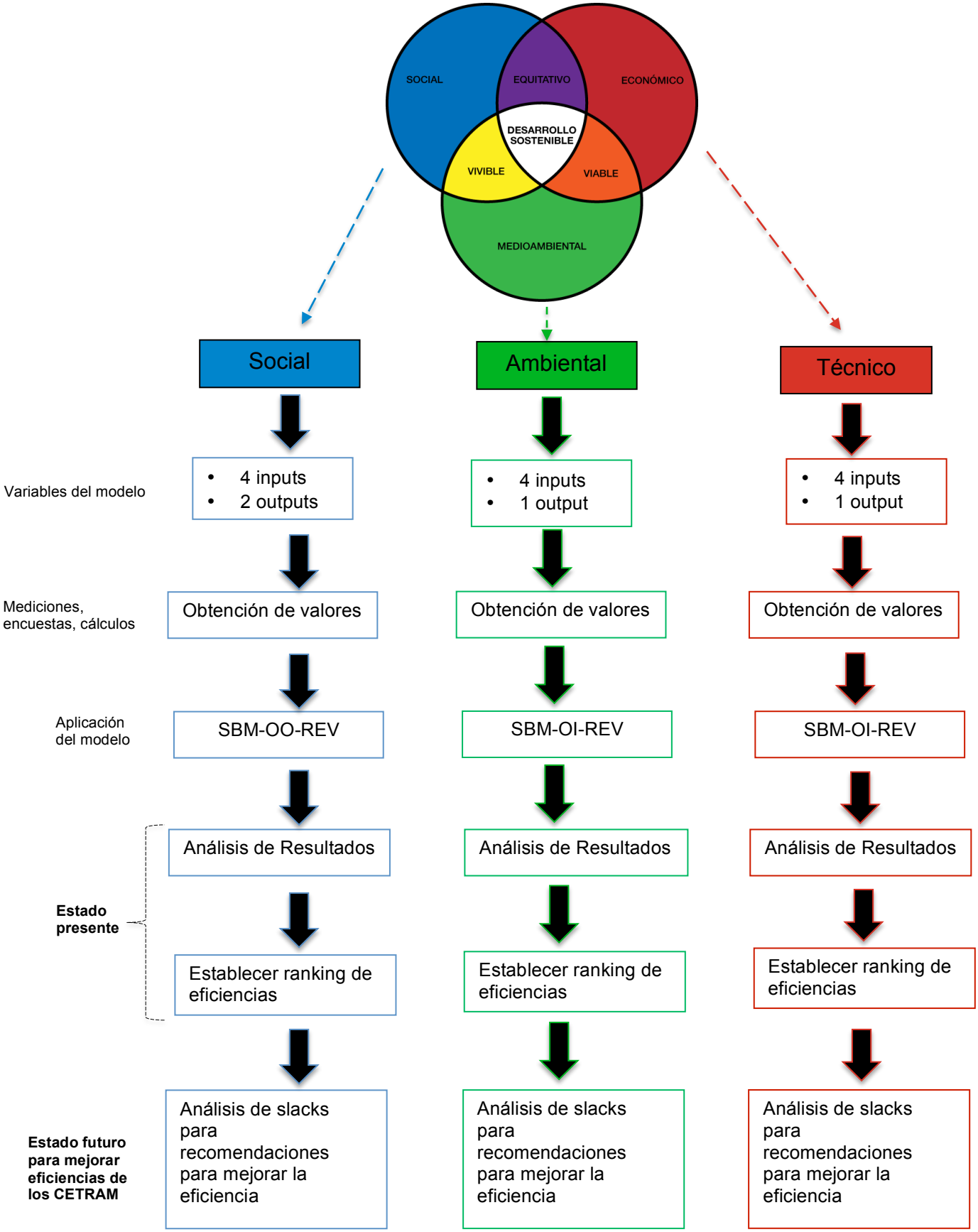


Figura 4-10. Metodología propuesta

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se examinan los resultados obtenidos del modelo propuesto, se comparan los resultados de cada CETRAM, se identifica que variables influyen en la eficiencia de estos y se hacen recomendaciones de mejora según el valor de los slacks.

5.1 Aplicación del modelo

En este apartado se explica la aplicación del modelo para el análisis de la eficiencia de los CETRAM. Como se mencionó antes, los cálculos se hacen por medio del software MaxDEA Basic 6.4 desarrollado por Cheng Gang y Qian Zhenhua en Beijing (2015), figura 5-1. Se expone el análisis para cada una de las dimensiones.

El rango de eficiencias del DEA va desde 0 (peor) hasta 1(mejor) en cada dimensión estudiada. Los datos utilizados para el análisis son los mostrados anteriormente en la tabla 4-9, ahora bien el separar los datos de acuerdo al tamaño de las compañías es algo común en el análisis de eficiencia del transporte público. Sreekanth Mallikarjun (2015) separa los DMUs en "clusters" o "grupos" para lidiar con la disparidad de estos, con ello se logran mejores resultados de la eficiencia. Por ende, se consideró apropiado el conservar los datos lo más homogéneo posible, considerando la gran variación existente en los CETRAM. Dos grupos fueron definidos con base en el número de pasajeros atendidos. El primer grupo (Grupo A) contiene CETRAM con una cantidad mayor o igual a 80 000 pasajeros por día. El segundo grupo (Grupo B) contiene CETRAM con menor cantidad a 80 000 pasajeros por día. Ahora bien, como se mencionó en el Capítulo 2 (Antecedentes), se utiliza la fórmula propuesta por Brockett y Golany (1996) para saber si el tamaño de la muestra (número de CETRAM) es consistente con el número de variables.

Tabla 5-1. Grupo A

No.	CETRAM
1	Pantitlán
2	Indios Verdes
3	Tasqueña
4	Chapultepec
5	Cuatro Caminos
6	El Rosario
7	Universidad
8	Constitución de 1917
9	Zaragoza
10	Ciudad Azteca
11	Boulevard P. Aéreo
12	Martín Carrera
13	Tacuba
14	Politécnico
15	Zapata
16	La Raza
17	Tacubaya
18	Observatorio
19	M. A. Quevedo
20	Santa Marta

Tabla 5-2. Grupo B

No.	CETRAM
21	San Lázaro
22	Viveros
23	Moctezuma
24	Central de Abastos
25	Tepalcates
26	Deportivo 18 de Marzo
27	Potrero
28	Huipulco
29	Mixcoac
30	Dr. Gálvez
31	Ferroplaza
32	Villa Cantera
33	Iztapalapa
34	Balbuena
35	Barranca del Muerto
36	Xochimilco
37	Refinería
38	Coyuya
39	Santa Anita

Fórmula Brockett y Golany:

$$n^{\circ}\text{DMUs} \geq 3 * (\ n^{\circ}\ \text{Outputs} + \ n^{\circ}\ \text{Inputs}\ )$$

Eficiencia técnica:

$Grupo\ A$:

$$20 \geq 3 * (\ 4 + \ 1\ )$$
$$20 \geq 15$$
$$\therefore cumple$$

$Grupo\ B$:

$$19 \geq 3 * (\ 4 + \ 1)$$
$$19 \geq 15$$
$$\therefore cumple$$

Servicio al pasajero:

$Grupo\ A$:

$$20 \geq 3 * (\ 4 + \ 2\ )$$
$$20 \geq 18$$
$$\therefore cumple$$

$Grupo\ B$:

$$19 \geq 3 * (\ 4 + \ 2)$$
$$19 \geq 18$$
$$\therefore cumple$$

Ambiental:

$Grupo\ A$:

$$20 \geq 3 * (\ 4 + \ 1\ )$$
$$20 \geq 15$$
$$\therefore cumple$$

$Grupo\ B$:

$$19 \geq 3 * (\ 4 + \ 1)$$
$$19 \geq 15$$
$$\therefore cumple$$

Ahora bien, en la tabla 5-3 se muestra la aplicación del modelo para la dimensión técnica, para el Grupo A y Grupo B.

Tabla 5-3. Variables y base de datos para el análisis de la eficiencia técnica

NO	DMU	DIMENSIÓN TÉCNICA					Grupos
		INPUTS				OUTPUT	
		A. Transferencia	Capacidad	N. Trabajadores	Accesos/Salidas	Pax. Atendidos	
1	Pantitlán	88,949	1,864,240	6	5	1,100,000	Grupo A
2	I. Verdes	64,714	948,460	20	19	950,000	
3	Tasqueña	38,006	721,704	13	7	750,000	
4	Chapultepec	30,233	631,285	5	5	500,000	
5	Cuatro Cam.	93,470	389,587	10	4	480,000	
6	El Rosario	41,699	762,032	16	3	230,000	
7	Universidad	22,587	599,030	6	5	200,000	
8	Const. 1917	38,973	452,380	9	4	200,000	
9	Zaragoza	19,443	576,937	6	4	185,000	
10	C. Azteca	36,000	487,050	9	8	180,000	
11	B. P. Aéreo	10,538	450,255	8	10	135,000	
12	M. Carrera	19,312	805,080	2	2	135,000	
13	Tacuba	11,400	790,100	6	18	130,000	
14	Politécnico	14,930	573,095	16	2	120,000	
15	Zapata	8,734	936,856	4	4	115,000	
16	La Raza	20,296	1,206,544	3	15	115,000	
17	Tacubaya	4,702	1,562,480	8	10	115,000	
18	Observatorio	15,928	542,408	6	6	85,000	
19	M. A. Q.	976	483,354	1	2	80,000	
20	Santa Marta	23,769	645,636	3	3	80,000	
21	San Lázaro	17,914	1,196,316	12	6	75,000	Grupo B
22	Viveros	1,357	501,075	6	2	65,000	
23	Moctezuma	851	763,091	1	2	50,000	
24	C. Abastos	16,058	28,340	6	2	45,000	
25	Tepalcates	7,246	962,799	4	5	45,000	
26	D. 18 Marzo	10,307	1,399,616	3	11	45,000	
27	Potrero	7,053	800,596	2	6	30,000	
28	Huipulco	16,182	261,312	5	7	20,000	
29	Mixcoac	8,902	1,177,633	3	6	15,000	
30	Dr. Gálvez	6,861	489,122	2	5	12,000	
31	Ferroplaza	5,063	539,158	2	6	12,000	
32	VillaCantera	1,852	167,605	2	2	12,000	
33	Iztapalapa	4,818	358,584	1	3	10,000	
34	Balbuena	588	544,640	1	2	8,000	
35	B. Muerto	2,242	509,452	1	4	6,000	
36	Xochimilco	4,566	236,490	5	4	3,000	
37	Refinería	1,376	424,495	3	2	2,500	
38	Coyuya	7,430	665,096	1	10	1,200	
39	Santa Anita	6,799	592,782	1	3	1,000	

Fuente: elaboración propia

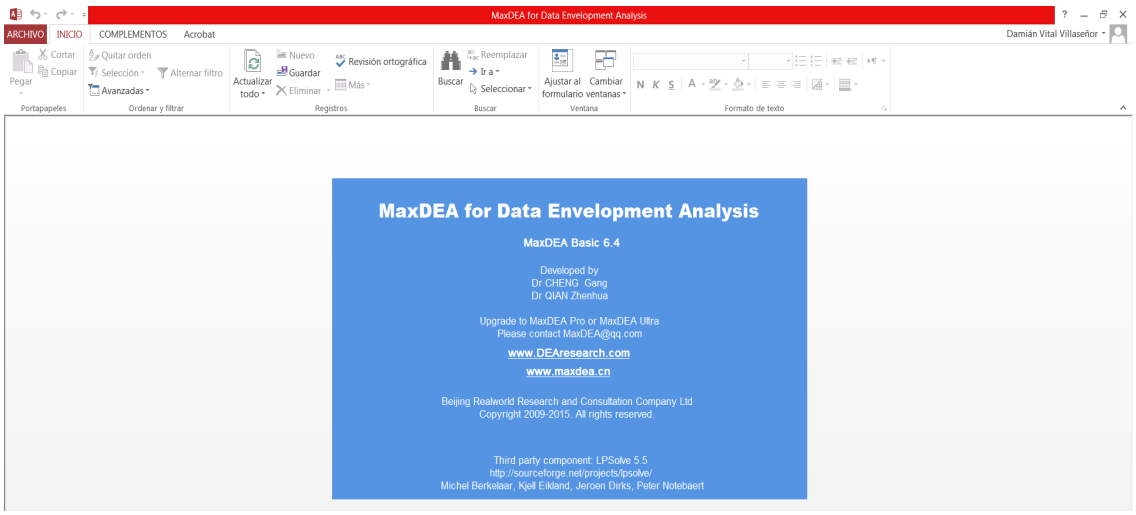


Figura 5-1. Software MaxDEA Basic 6.4

Como ejemplo se muestra la aplicación del software a esta dimensión en las siguientes figuras:

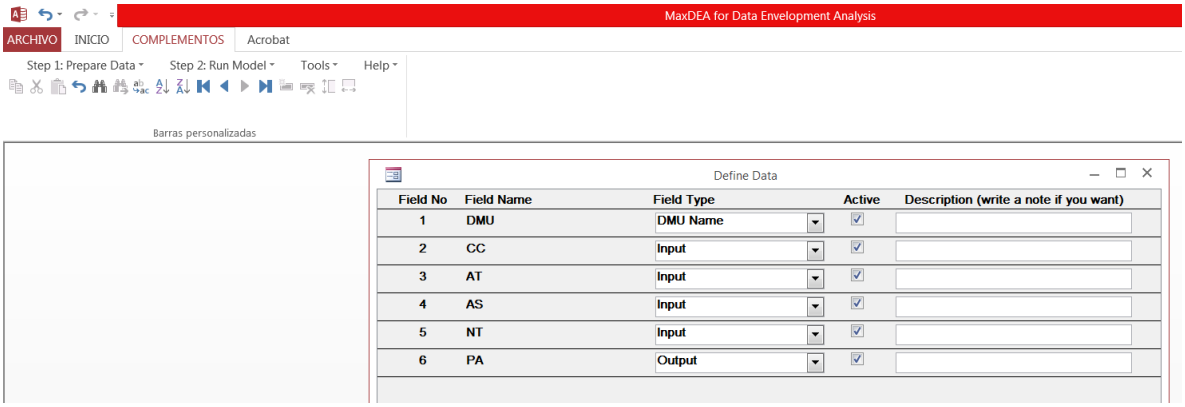


Figura 5-2. Elección de variables en el software MaxDEA 6.4

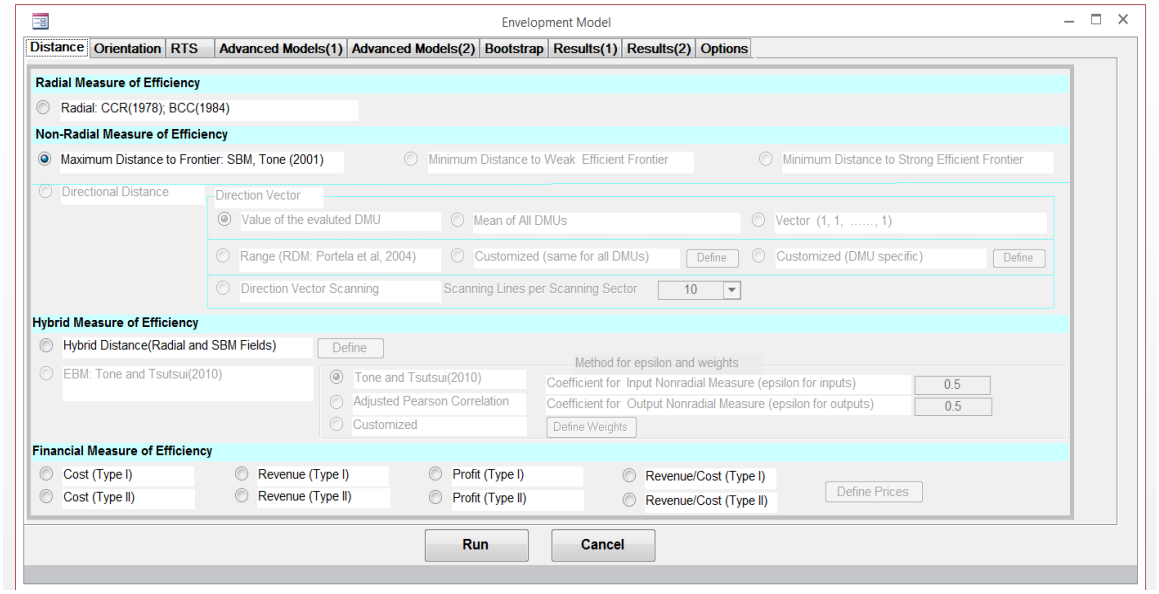


Figura 5-3. Elección del modelo SBM

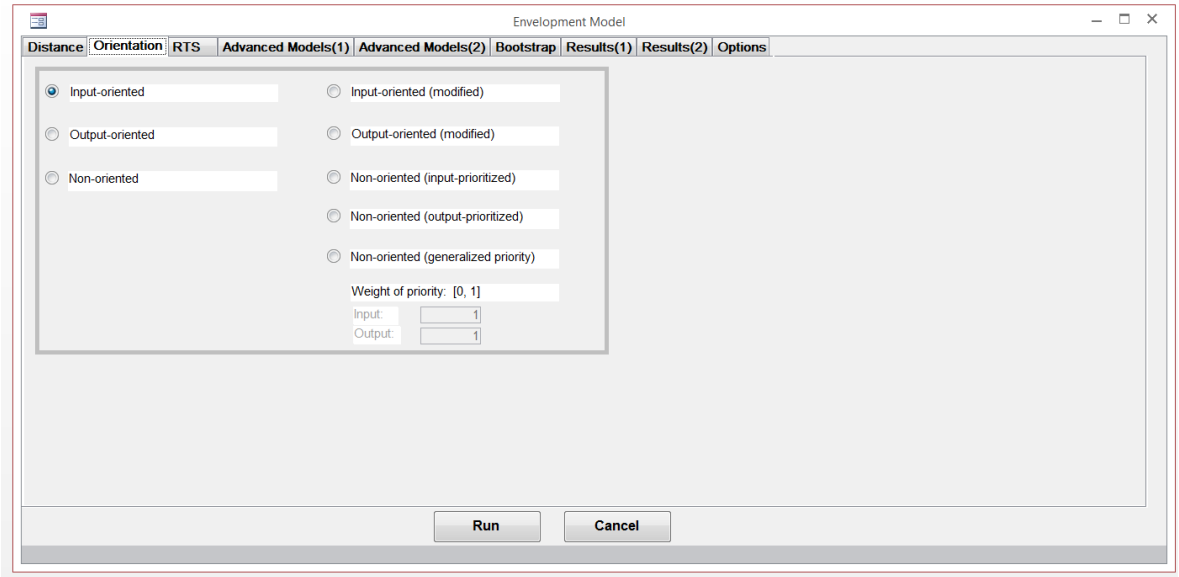


Figura 5-4. Orientación al input

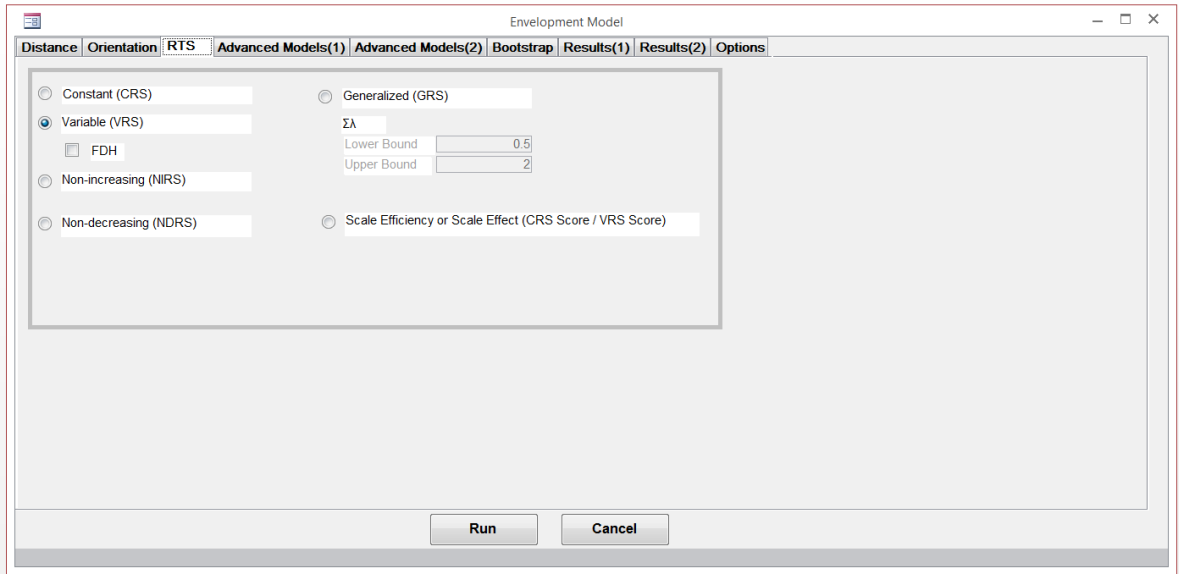


Figura 5-5. Escala de rendimiento variable

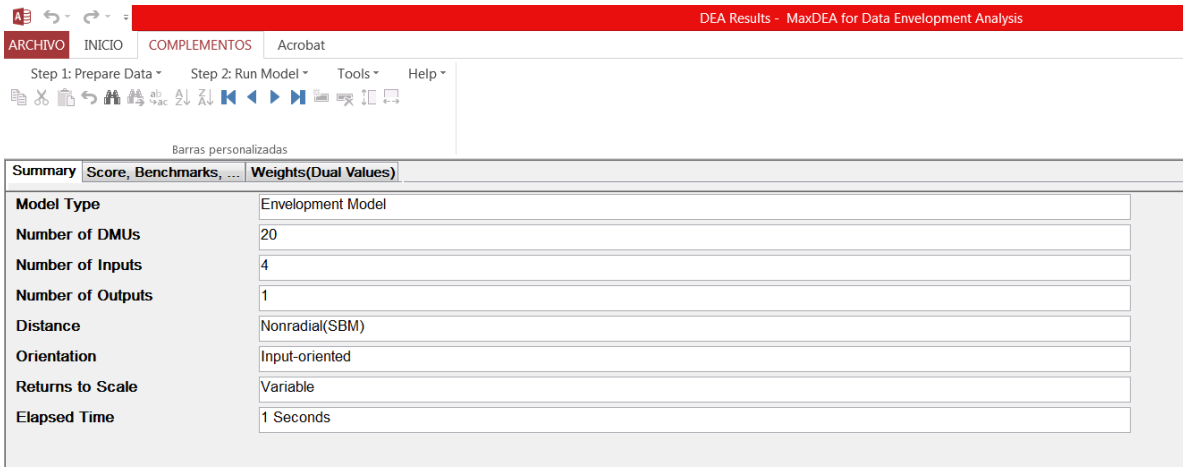
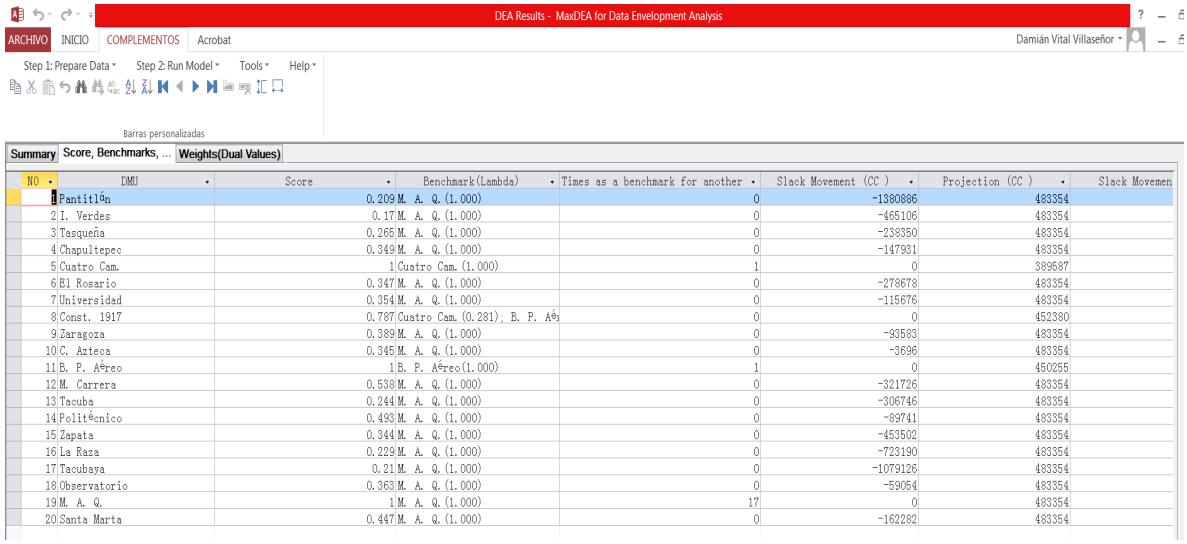


Figura 5-6. Resumen de la corrida



NO	DMU	Score	Benchmark(Lambda)	Times as a benchmark for another	Slack Movement (CC)	Projection (CC)	Slack Movemen
1	Pantitlán	0.209	M. A. Q.(1.000)	0	-1380886	483354	
2	I. Verdes	0.17	M. A. Q.(1.000)	0	-465106	483354	
3	Tasqueña	0.265	M. A. Q.(1.000)	0	-238350	483354	
4	Chapultepec	0.349	M. A. Q.(1.000)	0	-147931	483354	
5	Cuatro Cam.	1	Cuatro Cam.(1.000)	1	0	389587	
6	El Rosario	0.347	M. A. Q.(1.000)	0	-278678	483354	
7	Universidad	0.354	M. A. Q.(1.000)	0	-115676	483354	
8	Const. 1917	0.787	Cuatro Cam.(0.281); B. P. Aé	0	0	452380	
9	Zaragoza	0.389	M. A. Q.(1.000)	0	-93583	483354	
10	C. Azteca	0.345	M. A. Q.(1.000)	0	-3696	483354	
11	B. P. Aéreo	1	B. P. Aéreo(1.000)	1	0	450255	
12	M. Carrera	0.538	M. A. Q.(1.000)	0	-321726	483354	
13	Tacuba	0.244	M. A. Q.(1.000)	0	-306746	483354	
14	Politécnico	0.493	M. A. Q.(1.000)	0	-89741	483354	
15	Zapata	0.344	M. A. Q.(1.000)	0	-453502	483354	
16	La Raza	0.229	M. A. Q.(1.000)	0	-723190	483354	
17	Tacubaya	0.21	M. A. Q.(1.000)	0	-1079126	483354	
18	Observatorio	0.363	M. A. Q.(1.000)	0	-59054	483354	
19	M. A. Q.	1	M. A. Q.(1.000)	17	0	483354	
20	Santa Marta	0.447	M. A. Q.(1.000)	0	-162282	483354	

Figura 5-7. Resultados de la corrida

En esta última figura se aprecia el Score, Benchmark y Slack (para cada varible) de cada DMU, de estos tres factores se obtienen los principales objetivos y recomendaciones para mejorar los CETRAM. El Score es el valor de la eficiencia de cada DMU, el Benchmark es el DMU virtual que sirvió de referencia para un DMU no eficiente, en "time as a benchmark for another DMU", quiere decir las veces que un DMU sirvió de referencia para otros no eficientes. Finalmente los Slack de cada varible (e.g. área de transferencia, número de trabajadores, capacidad, accesos y salidas) es la cantidad que debe ser reducido el valor de la variable para que el DMU analizado sea eficiente, por lo tanto, con dicho factor se observa que sobra y que falta de cada DMU.

5.2 Eficiencia técnica, social y ambiental de los CETRAM

A continuación se presentan los resultados de las tres dimensiones estudiadas, se presentan nuevamente los valores de los inputs y outputs para observar directamente el porqué de las eficiencias obtenidas y hacer un análisis profundo de los resultados. Así mismo, se muestran las veces que los DMUs eficientes fueron referencia para otros no eficientes.

Tabla 5-4. Resultados de la eficiencia técnica

NO	DMU	SBM-OI-REV	DIMENSIÓN TÉCNICA					Grupos
			INPUTS				OUTPUT	
		Score (Eficiencia)	A. Transferencia	Capacidad	NT	AS	Pax. Atendidos	
1	Pantitlán	0,209	88,949	1,864,240	6	5	1,100,000	Grupo A
2	I. Verdes	0,17	64,714	948,460	20	19	950,000	
3	Tasqueña	0,265	38,006	721,704	13	7	750,000	
4	Chapultepec	0,349	30,233	631,285	5	5	500,000	
5	Cuatro Cam.	1	93,470	389,587	10	4	480,000	
6	El Rosario	0,347	41,699	762,032	16	3	230,000	
7	Universidad	0,354	22,587	599,030	6	5	200,000	
8	Const. 1917	0,787	38,973	452,380	9	4	200,000	
9	Zaragoza	0,389	19,443	576,937	6	4	185,000	
10	C. Azteca	0,345	36,000	487,050	9	8	180,000	
11	B. P. Aéreo	1	10,538	450,255	8	10	135,000	
12	M. Carrera	0,538	19,312	805,080	2	2	135,000	
13	Tacuba	0,244	11,400	790,100	6	18	130,000	
14	Politécnico	0,493	14,930	573,095	16	2	120,000	
15	Zapata	0,344	8,734	936,856	4	4	115,000	
16	La Raza	0,229	20,296	1,206,544	3	15	115,000	
17	Tacubaya	0,21	4,702	1,562,480	8	10	115,000	
18	Observatorio	0,363	15,928	542,408	6	6	85,000	
19	M. A. Q.	1	976	483,354	1	2	80,000	
20	Santa Marta	0,447	23,769	645,636	3	3	80,000	
21	San Lázaro	0,186	17,914	1,196,316	12	6	75,000	Grupo B
22	Viveros	0,682	1,357	501,075	6	2	65,000	
23	Moctezuma	0,851	851	763,091	1	2	50,000	
24	C. Abastos	1	16,058	28,340	6	2	45,000	
25	Tepalcates	0,324	7,246	962,799	4	5	45,000	
26	D. 18 Marzo	0,24	10,307	1,399,616	3	11	45,000	
27	Potrero	0,399	7,053	800,596	2	6	30,000	
28	Huipulco	0,36	16,182	261,312	5	7	20,000	
29	Mixcoac	0,299	8,902	1,177,633	3	6	15,000	
30	Dr. Gálvez	0,503	6,861	489,122	2	5	12,000	
31	Ferroplaza	0,49	5,063	539,158	2	6	12,000	
32	VillaCantera	1	1,852	167,605	2	2	12,000	
33	Iztapalapa	1	4,818	358,584	1	3	10,000	
34	Balbuena	1	588	544,640	1	2	8,000	
35	B. Muerto	1	2,242	509,452	1	4	6,000	
36	Xochimilco	1	4,566	236,490	5	4	3,000	
37	Refinería	1	1,376	424,495	3	2	2,500	
38	Coyuya	0,769	7,430	665,096	1	10	1,200	
39	Santa Anita	1	6,799	592,782	1	3	1,000	

Fuente: elaboración propia

Tabla 5-5. Resultados de la eficiencia social (servicio al pasajero)

NO	DMU	SBM-OO-REV	DIMENSIÓN SOCIAL						Grupos
			INPUTS				OUTPUTS		
		Score (Eficiencia)	M. Transpor.	Est.	TT	AU	SS	Pax. Atendidos	
1	Pantitlán	1	4	1	8,75	60	60	1,100,000	Grupo A
2	I. Verdes	1	4	1	12,5	40	40	950,000	
3	Tasqueña	1	5	300	6	60	60	750,000	
4	Chapultepec	1	4	1	18,5	40	60	500,000	
5	Cuatro Cam.	0,695	3	1	12	40	60	480,000	
6	El Rosario	1	5	1	10	60	80	230,000	
7	Universidad	0,309	3	7	8.5	20	60	200,000	
8	Const. 1917	0,286	3	1	7	40	40	200,000	
9	Zaragoza	0,224	3	1	6.5	40	20	185,000	
10	C. Azteca	1	3	250	8	100	80	180,000	
11	B. P. Aéreo	0,207	4	1	6	20	40	135,000	
12	M. Carrera	0,54	5	1	10	40	40	135,000	
13	Tacuba	0,174	3	1	4.5	20	20	130,000	
14	Politécnico	0,204	3	20	9	40	60	120,000	
15	Zapata	0,667	4	1	10	60	80	115,000	
16	La Raza	0,181	4	2	6.5	20	40	115,000	
17	Tacubaya	0,2	4	1	11	40	40	115,000	
18	Observatorio	1	2	200	20,8	40	40	85,000	
19	M. A. Q.	0,131	4	1	6,2	20	40	80,000	
20	Santa Marta	0,119	3	1	7,5	40	20	80,000	
21	San Lázaro	1	4	300	3,5	60	80	75,000	Grupo B
22	Viveros	1	2	1	12	20	20	65,000	
23	Moctezuma	1	4	50	5,8	40	60	50,000	
24	C. Abastos	0,7	2	100	7,5	40	40	45,000	
25	Tepalcates	1	4	30	6,2	60	40	45,000	
26	D. 18 Marzo	1	3	1	10	20	40	45,000	
27	Potrero	0,732	3	1	8,2	20	60	30,000	
28	Huipulco	0,499	3	1	8,5	40	40	20,000	
29	Mixcoac	0,61	4	1	7	40	60	15,000	
30	Dr. Gálvez	1	3	1	12	20	60	12,000	
31	Ferroplaza	0,242	4	15	3,5	40	40	12,000	
32	VillaCantera	0,26	3	1	5,5	40	40	12,000	
33	Iztapalapa	0,311	3	1	5	40	80	10,000	
34	Balbuena	0,15	3	5	3,1	40	20	8,000	
35	B. Muerto	1	3	5	8,5	40	80	6,000	
36	Xochimilco	0,077	3	1	4	40	60	3,000	
37	Refinería	0,069	3	15	6,5	20	60	2,500	
38	Coyuya	1	4	1	9,5	40	60	1,200	
39	Santa Anita	0,072	2	30	7	40	80	1,000	

Fuente: elaboración propia

Tabla 5-6. Resultados de la eficiencia ambiental

NO	DMU	SBM-OI-REV	DIMENSIÓN AMBIENTAL					Grupos
			INPUTS				OUTPUT	
		Score (Eficiencia)	**A. Transferencia**	**PA**	**TT**	**EC**	**ECO_2**	
1	Pantitlán	0,315	88,949	1,100,000	8,75	55,217	150,80	Grupo A
2	I. Verdes	0,59	64,714	950,000	12,5	12,938	186,63	
3	Tasqueña	0,406	38,006	750,000	6	62,148	62,51	
4	Chapultepec	0,317	30,233	500,000	18,5	37,989	79,73	
5	Cuatro Cam.	1	93,470	480,000	12	12,479	21,99	
6	El Rosario	0,449	41,699	230,000	10	34,944	68,87	
7	Universidad	0,502	22,587	200,000	8,5	33,567	77,57	
8	Const. 1917	1	38,973	200,000	7	12,833	63,22	
9	Zaragoza	0,82	19,443	185,000	6,5	18,132	88,69	
10	C. Azteca	0,629	36,000	180,000	8	23,367	34,85	
11	B. P. Aéreo	1	10,538	135,000	6	18,443	47,17	
12	M. Carrera	0,444	19,312	135,000	10	54,907	84,21	
13	Tacuba	1	11,400	130,000	4,5	27,789	23,59	
14	Politécnico	0,605	14,930	120,000	9	28,125	28,18	
15	Zapata	0,535	8,734	115,000	10	39,363	21,27	
16	La Raza	0,508	20,296	115,000	6,5	83,933	32,89	
17	Tacubaya	0,476	4,702	115,000	11	64,243	55,18	
18	Observatorio	1	15,928	85,000	20,8	17,044	21,34	
19	M. A. Q.	1	976	80,000	6,2	28,106	8,20	
20	Santa Marta	1	23,769	80,000	7,5	16,189	29,51	
21	San Lázaro	0,32	17,914	75,000	3,5	66,559	82,21	Grupo B
22	Viveros	0,627	1,357	65,000	12	14,081	18,79	
23	Moctezuma	0,587	851	50,000	5,8	17,670	38,75	
24	C. Abastos	1	16,058	45,000	7,5	884	36,31	
25	Tepalcates	0,308	7,246	45,000	6,2	36,106	34,60	
26	D. 18 Marzo	0,22	10,307	45,000	10	50,957	54,76	
27	Potrero	0,285	7,053	30,000	8,2	41,328	46,10	
28	Huipulco	0,333	16,182	20,000	8,5	32,013	46,16	
29	Mixcoac	0,371	8,902	15,000	7	38,607	11,05	
30	Dr. Gálvez	0,313	6,861	12,000	12	45,647	36,62	
31	Ferroplaza	0,584	5,063	12,000	3,5	25,442	12,46	
32	VillaCantera	0,552	1,852	12,000	5,5	25,817	10,45	
33	Iztapalapa	1	4,818	10,000	5	11,709	3,76	
34	Balbuena	1	588	8,000	3,1	17,019	6,81	
35	B. Muerto	0,692	2,242	6,000	8,5	14,131	3,37	
36	Xochimilco	1	4,566	3,000	4	38,005	3,85	
37	Refinería	1	1,376	2,500	6,5	13,720	1,20	
38	Coyuya	0,715	7,430	1,200	9,5	53,213	15,10	
39	Santa Anita	1	6,799	1,000	7	19,968	1,67	

Fuente: elaboración propia

Tabla 5-7. Resultados de la eficiencia de las tres dimensiones y benchmarking de DMUs

No.	CETRAM	Eficiencia técnica	Servicio al pasajero	Eficiencia ambiental	Veces como referencia para otro DMU			
					Técnica	Servicio al pasajero	Ambiental	
1	Pantitlán	0,209	1	0,315	0	11	0	GRUPO A
2	I. Verdes	0,170	1	0,590	0	1	0	
3	Tasqueña	0,265	1	0,406	0	3	0	
4	Chapultepec	0,349	1	0,317	0	2	0	
5	Cuatro Cam.	1	0,695	1	1	0	0	
6	El Rosario	0,347	1	0,449	0	2	0	
7	Universidad	0,354	0,309	0,502	0	0	0	
8	Const. 1917	0,787	0,286	1	0	0	1	
9	Zaragoza	0,389	0,224	0,820	0	0	0	
10	C. Azteca	0,345	1	0,629	0	0	0	
11	B. P. Aéreo	1	0,207	1	1	0	4	
12	M. Carrera	0,538	0,540	0,444	0	0	0	
13	Tacuba	0,244	0,174	1	0	0	1	
14	Politécnico	0,493	0,204	0,605	0	0	0	
15	Zapata	0,344	0,667	0,535	0	0	0	
16	La Raza	0,229	0,181	0,508	0	0	0	
17	Tacubaya	0,210	0,200	0,476	0	0	0	
18	Observatorio	0,363	1	1	0	0	0	
19	M. A. Q.	1	0,131	1	17	0	10	
20	Santa Marta	0,447	0,119	1	0	0	1	
21	San Lázaro	0,186	1	0,320	0	10	0	GRUPO B
22	Viveros	0,682	1	0,627	0	6	0	
23	Moctezuma	0,851	1	0,587	0	1	0	
24	C. Abastos	1	0,7	1	0	0	0	
25	Tepalcates	0,324	1	0,308	0	1	0	
26	D. 18 Marzo	0,240	1	0,220	0	0	0	
27	Potrero	0,399	0,732	0,285	0	0	0	
28	Huipulco	0,360	0,499	0,333	0	0	0	
29	Mixcoac	0,299	0,610	0,371	0	0	0	
30	Dr. Gálvez	0,503	1	0,313	0	3	0	
31	Ferroplaza	0,490	0,242	0,584	0	0	0	
32	VillaCantera	1	0,260	0,552	5	0	0	
33	Iztapalapa	1	0,311	1	0	0	0	
34	Balbuena	1	0,150	1	8	0	10	
35	B. Muerto	1	1	0,692	0	2	0	
36	Xochimilco	1	0,077	1	0	0	0	
37	Refinería	1	0,069	1	0	0	3	
38	Coyuya	0,769	1	0,715	0	1	0	
39	Santa Anita	1	0,072	1	1	0	1	

Fuente: elaboración propia

La tabla 5-7 muestra las eficiencias de cada CETRAM en las tres dimensiones. Se observa que ningún CETRAM es eficiente en estas tres simultáneamente, pues como se mencionó antes, es difícil lograr el punto de equilibro al contraponerse los objetivos de cada una. Los casos de mayor éxito es cuando se alcanza la eficiencia en dos dimensiones, en otros casos se alcanza una dimensión y en los peores casos cuando un DMU no alcanza la eficiencia en ninguna de las tres. La misma tabla presenta las veces que un DMU eficiente (se encuentra en la frontera) fue referencia para otros DMUs. Mencionado en el Capítulo 2 (Antecedentes) y comprobado en los resultados, pueden existir DMUs eficientes y que no

sean referencia para otro DMU. Sin embargo, si un DMU es referencia para otro, forzosamente tiene éste que ser eficiente.

Analizando la tabla 5-7, en el Grupo A, muestra que sólo tres CETRAM son eficientes (15%) en la dimensión técnica, mientras que en el aspecto social y ambiental siete alcanzan la eficiencia, representando el 35% en cada una. Continuando el análisis, M.A.Q. fue el más eficiente en las dimensiones técnica y ambiental, siendo referencia 17 veces en el aspecto técnico para otros CETRAM y 10 veces en lo ambiental; esto es reflejado por el gran número de pasajeros que mueve en una reducida área de transferencia, poco personal (número de trabajadores) usado para la operación y las bajas emisiones de gases de efecto invernadero. En el aspecto técnico, los otros dos CETRAM eficientes fueron Cuatro Caminos y Boulevard Puerto Aéreo, el primero debido a que atiende a un mayor número de pasajeros respecto a su capacidad, eso por supuesto se ve reflejado en su baja eficiencia en el aspecto social, mientras que el segundo (B.P. Aéreo) atienda al igual que M.A.Q., a un importante número de pasajeros en un área de transferencia reducida.

Ahora bien, en el dimensión social del Grupo A se observa que los CETRAM más grandes, que son los que más pasajeros atienden, se muestran eficientes, (cinco que representan el 25%) siendo Pantitlán el más eficiente de todos, pues fue 11 veces referencia para otros CETRAM. Esto debido a que atiende a un enorme número de pasajeros con una satisfacción tolerable. Lo mismo sucede con Indios Verdes, Tasqueña, Chapultepec y El Rosario, todos ellos mueven a una importante cantidad de pasajeros y los recursos con los que cuentan cumplen con esa función. Sin embargo, el hecho de que sean CETRAM grandes y con una alta demanda no quiere decir que alcanzarán la eficiencia social, por ejemplo, en el caso de Cuatro Caminos, que atiende a más pasajeros que El Rosario y que incluso cuentan con el mismo grado de satisfacción del servicio, éste no cuenta con la gran flexibilidad en el manejo de recursos como El Rosario, es decir, Cuatro Caminos cuenta con un número limitado de modos de transporte para atender a su demanda, y con una baja automatización, por lo que no hay una combinación de recursos que posibilite la mejora de eficiencia de este CETRAM. Los casos, Ciudad Azteca y Observatorio, son interesantes, pues ambos cuentan con recursos importantes que hacen que una combinación de ellos alcance la eficiencia, es decir, aunque Ciudad Azteca cuenta con número limitado de transportes para su demanda cuenta con un gran número de cajones de estacionamiento y una alta automatización; de igual forma Observatorio que tiene sólo dos modos de transporte y una satisfacción baja del servicio, su amplio estacionamiento lo dota de recursos suficientes para alcanzar la eficiencia.

En la dimensión ambiental del Grupo A siete CETRAM logran la eficiencia, es decir el 35%. Aquí el más eficiente fue M.A.Q., siendo 10 veces referencia para otros, esto debido a que el consumo energético es bajo y los modos de transportes que arriban son transportes masivos eléctricos o de bajas emisiones, de ahí su baja generación de gases. Éste también presenta una baja producción de gases por pasajero y todo ello lo hace en un área de trasferencia pequeña. El segundo CETRAM que más veces fue referencia en el aspecto ambiental fue B.P. Aéreo, esto debido a que la producción de gases lo hace un área de trasferencia mediana y el tiempo de transferencia de los pasajeros es baja, por lo que hace que sea una estación fluida, así mismo su consumo energético es bajo. La misma situación de B.P. Aéreo se presenta para Constitución de 1917, Tacuba y Santa Marta.

Por otra parte, en el Grupo B se presentan algunas similitudes con el Grupo A. Por ejemplo, el grupo B presenta ocho CETRAM eficientes en la dimensión social, y al igual que el grupo B corresponden en su mayoría a aquellos que atienden a la mayor cantidad de pasajeros. Luego, comenzando por analizar la dimensión técnica se observa que el más eficiente fue Balbuena, esto debido a que utiliza muy pocos recursos para mover a sus pasajeros; cuenta con el área de transferencia más pequeña de todos, pocos accesos y salidas y sólo un trabajador para su operación, siendo ochos veces referencia para otros. El mismo fenómeno se presenta en Villa Cantera y Santa Anita, sus pocos recursos les es suficiente para cubrir la demanda de pasajeros, siendo cinco y una vez respectivamente, referencia para otros DMUs.

En el servicio al pasajero (dimensión social) se presenta un panorama similar al Grupo A. San Lázaro que fue el más eficiente (10 veces de referencia para otros DMUs) de todos, presenta un alto grado de satisfacción del servicio y una alta demanda de pasajeros. Este CETRAM cuenta con un amplio estacionamiento, mediana automatización y bajo tiempo de transferencia que se ve reflejada en la satisfacción del pasajero. Por lo anterior, su producción es adecuada de acuerdo a los recursos con los que cuenta y se alcanza la eficiencia. En la dimensión social son ocho DMUs los que alcanzan la eficiencia, representando el 42%. Viveros, otro CETRAM que fue referencia seis veces, es un caso especial, pues a pesar de que tenga poca flexibilidad en los modos de transportes, pobre automatización, sin estacionamiento disponible y alto tiempo de transferencia, atiende a una importante cantidad de pasajeros, por lo que su rol como conector de la red de transporte de la ciudad se cumple. Por último en esta dimensión Dr. Gálvez y Barranca del muerto son referencia tres y dos veces respectivamente, el primero porque se de una combinación de recursos que hace atender a un importante número de pasajeros con una satisfacción del servicio tolerable. El segundo debido a que sus recursos posibilitan un buen servicio, reflejado en un alto grado de satisfacción de los pasajeros.

Finalmente, en la dimensión ambiental se presentan seis CETRAM eficientes (31%), de los cuales sólo tres son referencia para otros. El más eficiente del Grupo B fue nuevamente Balbuena, esto debido a la baja cantidad de vehículos que generan altas emisiones de gases de efecto invernadero y la mayor presencia de transportes eléctricos, de igual forma su bajo tiempo de transferencia y consumo energético hacen que sea 10 veces referencia para otros CETRAM. Así mismo, Refinería y Santa Anita presentan bajos niveles de consumo energético y tiempo de transferencia, siendo su producción de gases baja. La generación de gases de efecto invernadero por pasajero es de las más bajas en ambos.

Los anteriores análisis se complementan con la gráfica de la figura 5-10, que ayuda a visualizar de mejor manera el valor de las eficiencias de los CETRAM en las dimensiones estudiadas. Así mismo, se presentan gráficas de la figura 5-8 a la 5-14 de la frontera de eficiencia de cada dimensión y grupo evaluado. Es importante mencionar que estás gráficas no son exactas y solo pretenden dar una idea del concepto de frontera de eficiencia. Las gráficas exactas se obtienen por medio del software MaxDEA Ultra 6.4, las cuales son semejantes a las mostradas aquí.

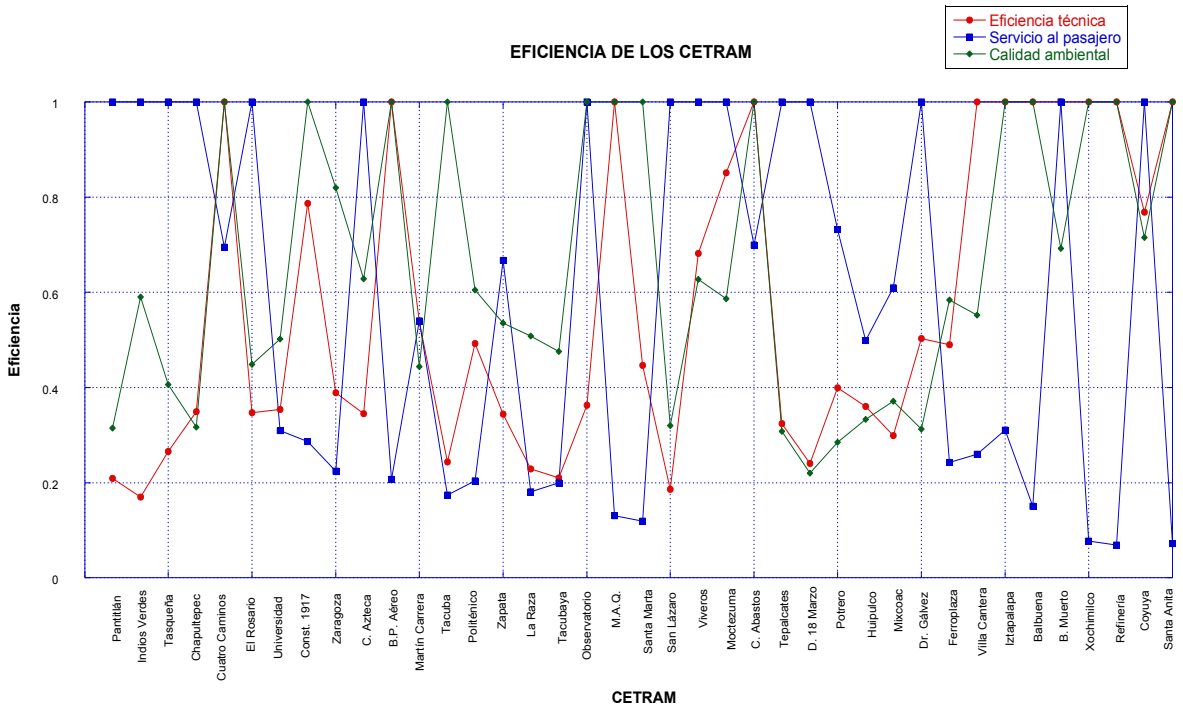


Figura 5-8. Eficiencia de los CETRAM

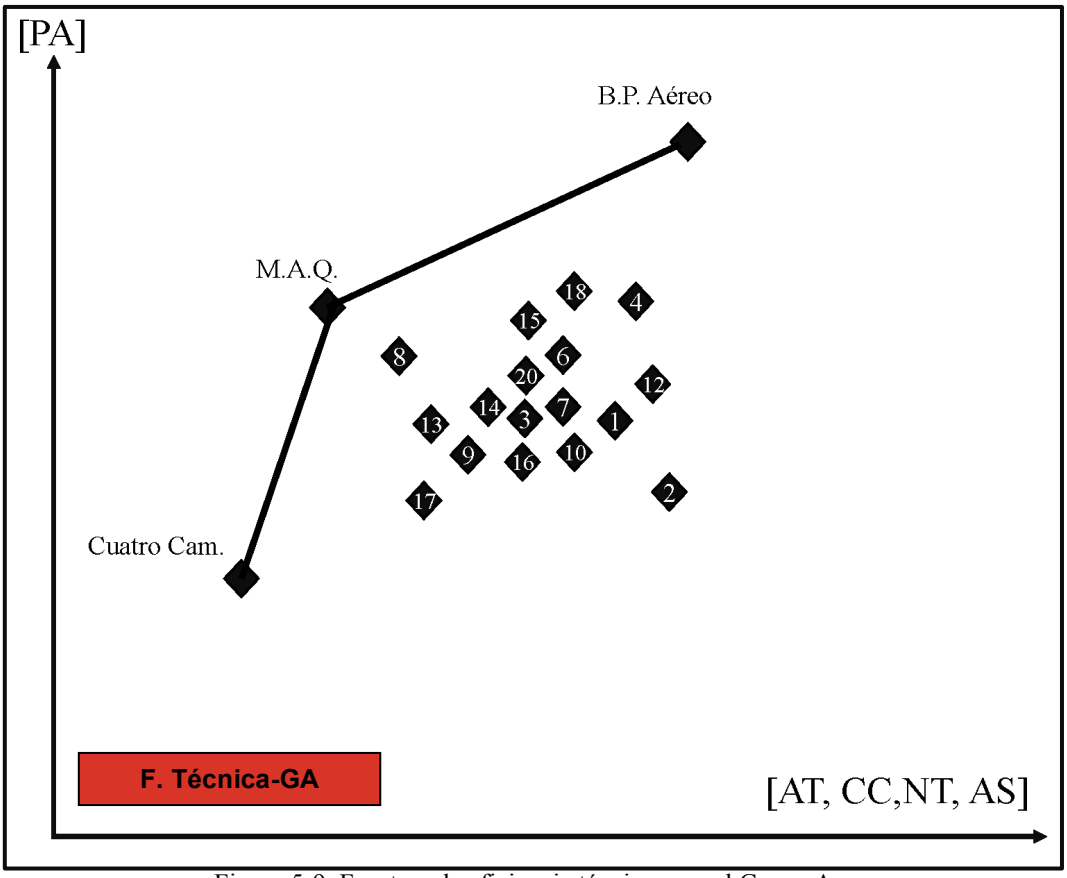


Figura 5-9. Frontera de eficiencia técnica para el Grupo A

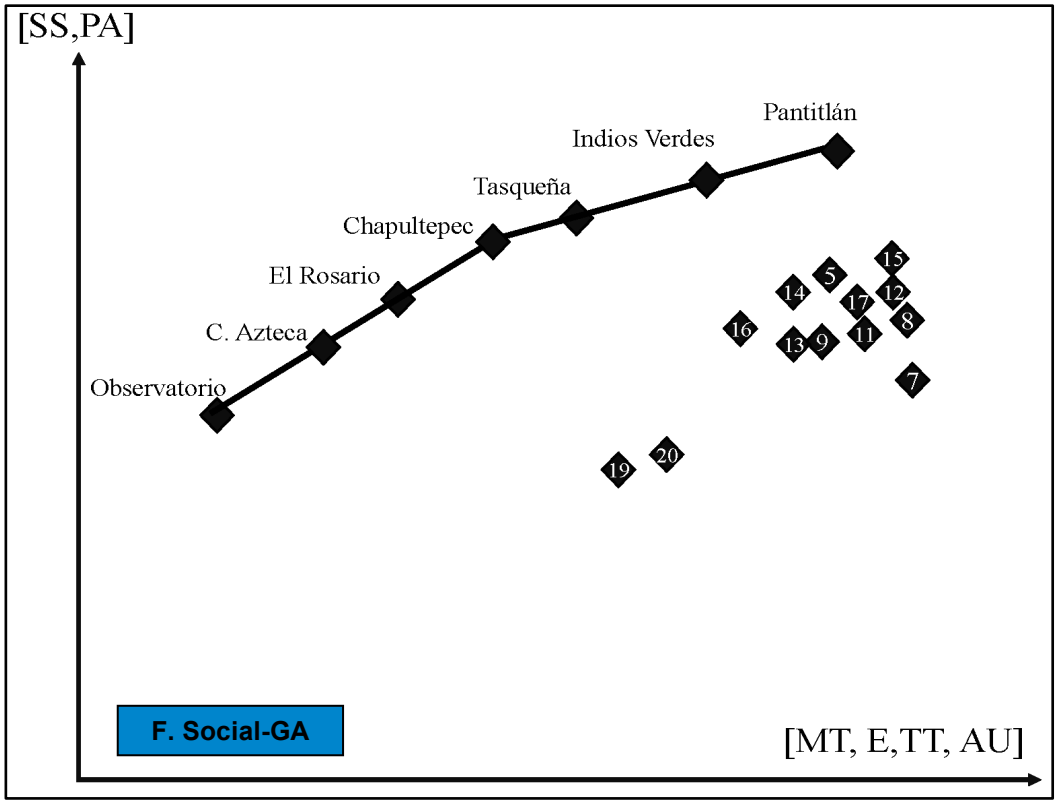


Figura 5-10. Frontera de eficiencia social para el Grupo A

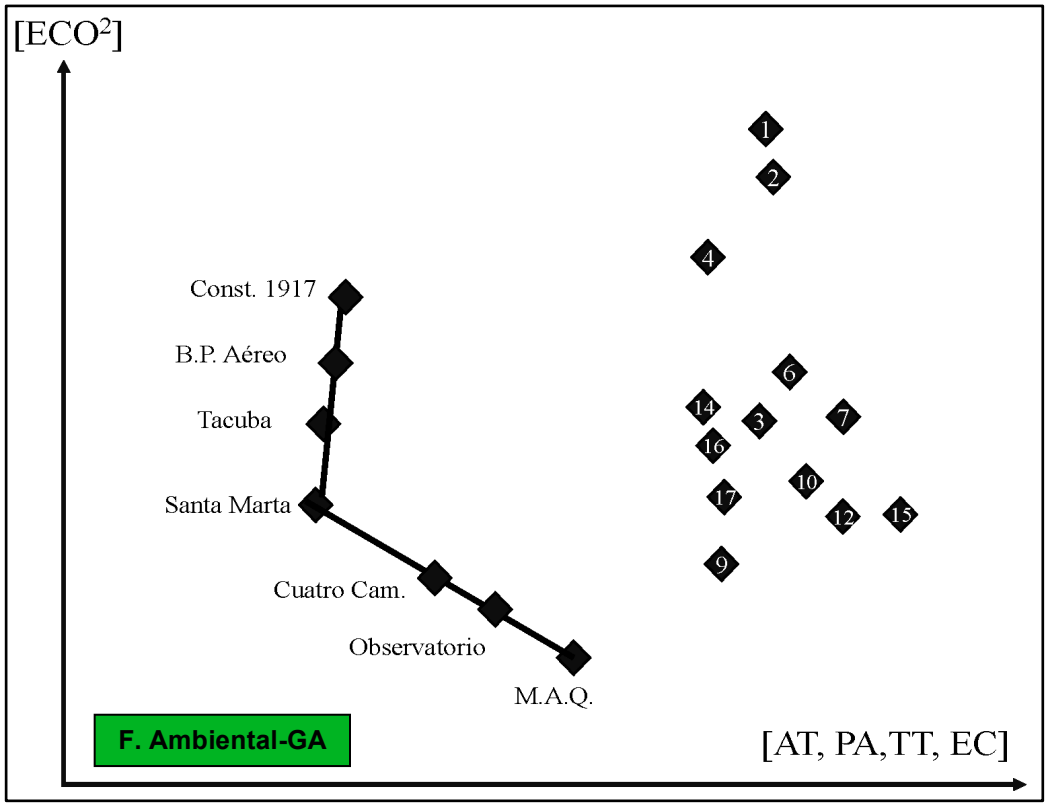


Figura 5-11. Frontera de eficiencia ambiental para el Grupo A

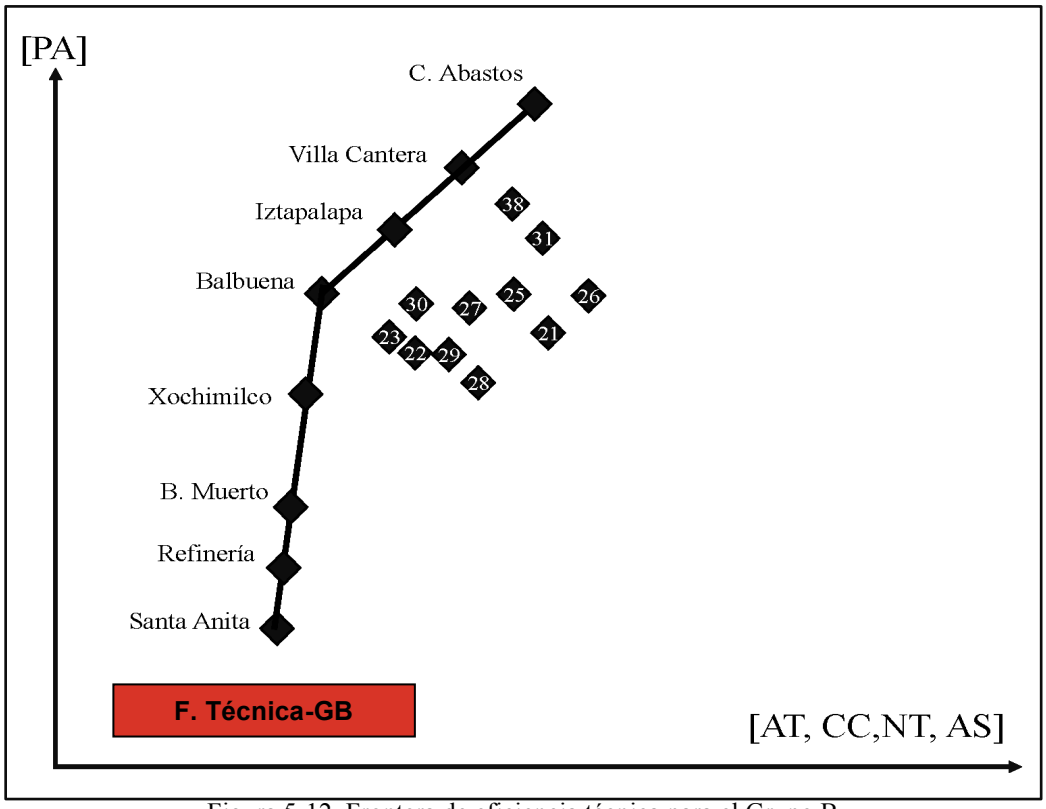


Figura 5-12. Frontera de eficiencia técnica para el Grupo B

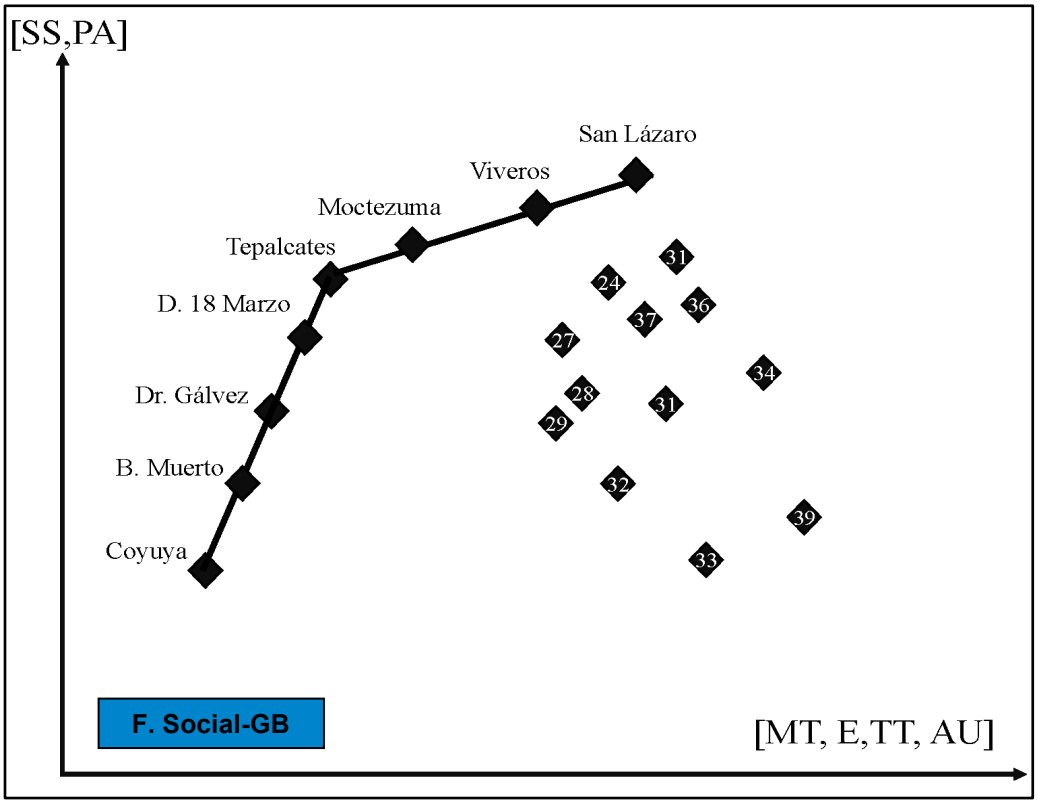


Figura 5-13. Frontera de eficiencia social para el Grupo B

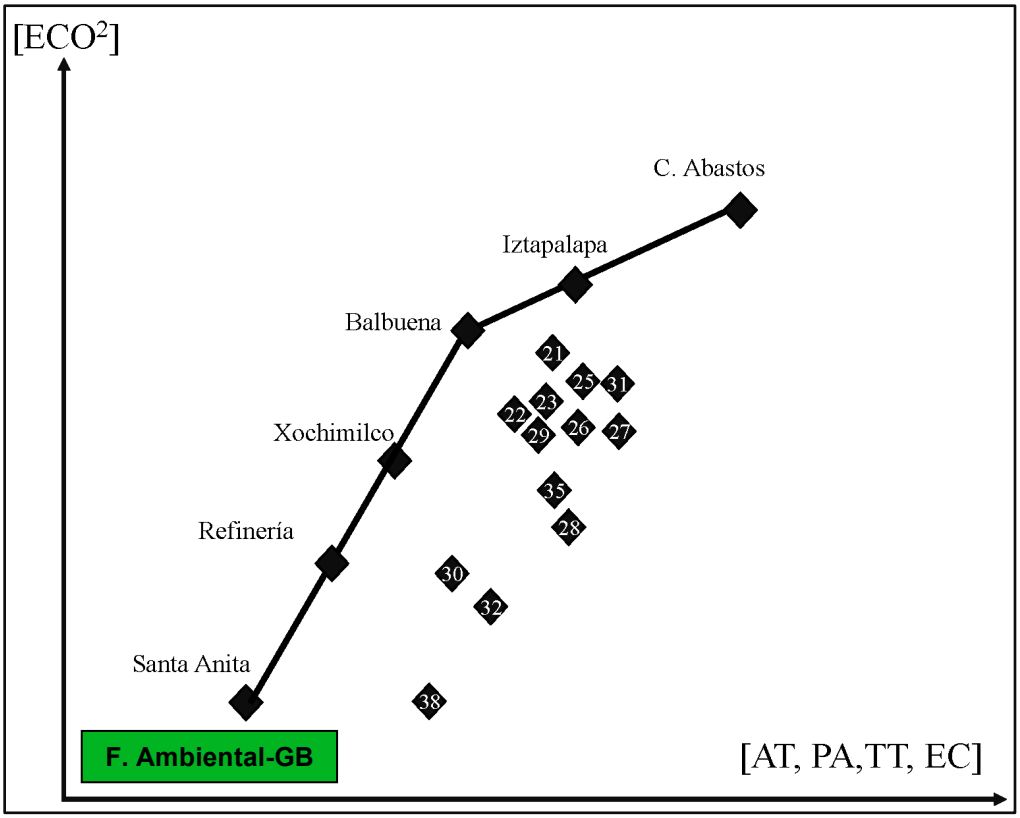


Figura 5-14. Frontera de eficiencia ambiental para el Grupo B

5.3 Valor de los slacks de los inputs y outputs (ineficiencias)

Los slacks son la parte que falta para lograr la eficiencia, en algunos casos puede significar un exceso de recursos para cierta producción que sólo hacen ineficiente el sistema; o también puede indicar baja producción según los recursos con los que se cuenta. En esta tesis, los slacks se discutirán en las tres dimensiones, se interpretará la proyección de estos (lo ideal para obtener la eficiencia) y se darán recomendaciones con base en estos para mejorar a los CETRAM.

Los slacks y las proyecciones son factores muy importantes del modelo SBM del DEA, pues estos dejan ver las virtudes y defectos de cada DMU, lo que permite al operador tener suficiente criterio para saber que puede hacerse para mejorar el rendimiento del intercambiador modal.

Para analizar los slacks y proyecciones se comienza por presentar los resultados de la eficiencia de los CETRAM en las tres dimensiones. Primeramente se analizará la eficiencia técnica, luego la social y finalmente la ambiental. En la tabla 5-8 se muestran los resultados de slacks y proyecciones para la dimensión técnica.

Tabla 5-8. Slacks y proyecciones en la dimensión técnica

No	DMU	Slack (CC)	Projection (CC)	Slack (AT)	Projection (AT)	Slack (AS)	Projection (AS)	Slack (NT)	Projection (NT)	Slack (PA)	Projection (PA)
1	Pantitlán	-1380886	483354	-87973	976	-3	2	-5	1	1020000	2120000
2	I. Verdes	-465106	483354	-63738	976	-17	2	-19	1	870000	1820000
3	Tasqueña	-238350	483354	-37030	976	-5	2	-12	1	670000	1420000
4	Chapultepec	-147931	483354	-29257	976	-3	2	-4	1	420000	920000
5	Cuatro Cam.	-0	389587	-0	93470	-0	4	-0	10	0	480000
6	El Rosario	-278678	483354	-40723	976	-1	2	-15	1	150000	380000
7	Universidad	-115676	483354	-21611	976	-3	2	-5	1	120000	320000
8	Const. 1917	-0	452380	-10692,981	28280,019	-0,313	3,687	-4,489	4,511	0	200000
9	Zaragoza	-93583	483354	-18467	976	-2	2	-5	1	105000	290000
10	C. Azteca	-3696	483354	-35024	976	-6	2	-8	1	100000	280000
11	B. P. Aéreo	-0	450255	-0	10538	-0	10	-0	8	0	135000
12	M. Carrera	-321726	483354	-18336	976	-0	2	-1	1	55000	190000
13	Tacuba	-306746	483354	-10424	976	-16	2	-5	1	50000	180000
14	Politécnico	-89741	483354	-13954	976	-0	2	-15	1	40000	160000
15	Zapata	-453502	483354	-7758	976	-2	2	-3	1	35000	150000
16	La Raza	-723190	483354	-19320	976	-13	2	-2	1	35000	150000
17	Tacubaya	-1079126	483354	-3726	976	-8	2	-7	1	35000	150000
18	Observatorio	-59054	483354	-14952	976	-4	2	-5	1	5000	90000
19	M. A. Q.	-0	483354	-0	976	-0	2	-0	1	0	80000
20	Santa Marta	-162282	483354	-22793	976	-1	2	-2	1	0	80000
21	San Lázaro	-1028711	167605	-16062	1852	-4	2	-10	2	63000	138000
22	Viveros	-0	501075	-622,949	734,051	-0	2	-4,884	1,116	56537,815	121537,815
23	Moctezuma	-218451	544640	-263	588	-0	2	-0	1	42000	92000
24	C. Abastos	-0	28340	-0	16058	-0	2	-0	6	0	45000
25	Tepalcates	-418159	544640	-6658	588	-3	2	-3	1	37000	82000
26	D. 18 Marzo	-854976	544640	-9719	588	-9	2	-2	1	37000	82000
27	Potrero	-255956	544640	-6465	588	-4	2	-1	1	22000	52000
28	Huipulco	-93707	167605	-14330	1852	-5	2	-3	2	8000	28000
29	Mixcoac	-632993	544640	-8314	588	-4	2	-2	1	7000	22000
30	Dr. Gálvez	-321517	167605	-5009	1852	-3	2	-0	2	0	12000
31	Ferroplaza	-0	539158	-4456,622	606,378	-4	2	-0,985	1,015	3941,841	15941,841
32	VillaCantera	-0	167605	-0	1852	-0	2	-0	2	0	12000
33	Iztapalapa	-0	358584	-0	4818	-0	3	-0	1	0	10000
34	Balbuena	-0	544640	-0	588	-0	2	-0	1	0	8000
35	B. Muerto	-0	509452	-0	2242	-0	4	-0	1	0	6000
36	Xochimilco	-0	236490	-0	4566	-0	4	-0	5	0	3000
37	Refinería	-0	424495	-0	1376	-0	2	-0	3	0	2500
38	Coyuya	-73689,486	591406,514	-808,457	6621,543	-7,029	2,971	-0	1	0	1200
39	Santa Anita	-0	592782	-0	6799	-0	3	-0	1	0	1000

Fuente: elaboración propia

Se observa, como era de esperarse, los DMUs eficientes presentan slacks con valores iguales a cero, estos son los casos de Cuatro Caminos, B.P. Aéreo y M.A.Q. para el Grupo A. Para el Grupo B son C. Abastos, Villa Cantera, Iztapalapa, Balbuena, B. Muerto, Xochimilco, Refinería y Santa Anita. Sus inputs y output permanecen igual.

Ahora bien, todos los demás casos presentan cambios importantes, sobre todo aquellos con eficiencias bajas. Al tratarse de un modelo SBM con orientación al input, todos los inputs de los DMUs ineficientes muestran reducción para mejorar su eficiencia. Por ejemplo, el slack de la variable (CC) muestra una reducción importante en Pantitlán, el slack dice que hay 1 380 886 espacios sobrados, también menciona que hay 87 973 m^2 de área de exceso, tres trabajadores innecesarios y 5 salidas de más. Lo anterior no quiere decir que deban hacerse acciones para alcanzar esos valores, sería algo irracional y sin criterio, pues

significaría mover a 1 100 000 pasajeros que recibe Pantitlán en la misma área de M.A.Q. (976 m^2) es decir 1 127 personas en un metro cuadrado, sin duda, algo muy difícil de imaginar y aún más de realizar. Los slacks más bien son factores que permiten valorar los aciertos que otros DMUs eficientes tienen y tratar de copiar ese comportamiento, mas no los valores, para la situación particular de cada uno. Por ejemplo, los slacks también muestran cual sería la producción ideal de acuerdo los recursos con los que se cuentan. En el caso de Pantitlán, de acuerdo a su capacidad (CC), área de transferencia (AT), número de trabajadores (NT), accesos y salidas (AS) debería estar atendiendo a 2 120 000 pasajeros. El aumento o disminución de afluencia de pasajeros es algo no controlable por el CETRAM, a menos que se mejoren los servicios (dimensión social), mientras dependerá de las colonias y servicios rodean a cada intercambiador modal. Sin embargo, este dato permite visualizar los alcances que puede tener Pantitlán de acuerdo a sus recursos mencionados y será útil para el operador optimizar las tareas para alcanzar un rendimiento similar a los DMUs eficientes.

Tabla 5-9. Slacks y proyecciones en la dimensión social (servicio al pasajero)

No	DMU	Slack (MT)	Projection (MT)	Slack (E)	Projection (E)	Slack (TT)	Projection (TT)	Slack(AU)	Projection (AU)	Slack (PA)	Projection (PA)	Slack(SS)	Projection (SS)
1	Pantitlán	-0	4	-0	1	-0	8,8	-0	60	0	1100000	0	60
2	I. Verdes	-0	4	-0	1	-0	12,5	-0	40	0	950000	0	40
3	Tasqueña	-0	5	-0	300	-0	6	-0	60	0	750000	0	60
4	Chapultepec	-0	4	-0	1	-0	18,5	-0	40	0	500000	0	60
5	Cuatro Cam.	-1	2	-0	1	-0	12	-13,402	26,598	422061,856	902061,856	0	60
6	El Rosario	-0	5	-0	1	-0	10	-0	60	0	230000	0	80
7	Universidad	-1,02	1,98	-0	7	-0,244	8,256	-40	-20	892976,589	1092976,589	0	60
8	Const. 1917	-1	2	-0	1	-1,8	5,2	-20	20	900000	1100000	20	60
9	Zaragoza	-1	2	-0	1	-2,3	4,2	-20	20	915000	1100000	40	60
10	C. Azteca	-0	3	-0	250	-0	8	-0	100	0	180000	0	80
11	B. P. Aéreo	-0	4	-0	1	-2,8	3,2	-40	-20	965000	1100000	20	60
12	M. Carrera	-0	5	-0	1	-0	10	-20	20	95000	230000	40	80
13	Tacuba	-1	2	-0	1	-4,3	0,2	-40	-20	970000	1100000	40	60
14	Politécnico	-1,064	1,936	-0	20	-0	9	-19,221	20,779	934382,305	1054382,305	0	60
15	Zapata	-1	3	-0	1	-0	10	-0	60	115000	230000	0	80
16	La Raza	-0,003	3,997	-0	2	-2,291	4,209	-40	-20	983829,431	1098829,431	20	60
17	Tacubaya	-0	4	-0	1	-0	11	-8,108	31,892	895810,811	1010810,811	8,108	48,108
18	Observatorio	-0	2	-0	200	-0	20,8	-0	40	0	85000	0	40
19	M. A. Q.	-0	4	-0	1	-2,6	3,6	-40	-20	1020000	1100000	20	60
20	Santa Marta	-1	2	-0	1	-1,3	6,2	-20	20	1020000	1100000	40	60
21	San Lázaro	-0	4	-0	300	-0	3,5	-0	60	0	75000	0	80
22	Viveros	-0	2	-0	1	-0	12	-0	20	0	65000	0	20
23	Moctezuma	-0	4	-0	50	-0	5,8	-0	40	0	50000	0	60
24	C. Abastos	-1,059	0,941	-59,294	40,706	-0	7,5	-1,176	38,824	25294,118	70294,118	11,765	51,765
25	Tepalcates	-0	4	-0	30	-0	6,2	-0	60	0	45000	0	40
26	D. 18 Marzo	-0	3	-0	1	-0	10	-0	20	0	45000	0	40
27	Potrero	-0,224	2,776	-133,671	-132,671	-0	8,2	-17,882	2,118	22011,765	52011,765	0	60
28	Huipulco	-0,028	2,972	-74,5	-73,5	-0	8,5	-0	40	40194,444	60194,444	0	40
29	Mixcoac	-0	4	-33,108	-32,108	-0	7	-0	40	19172,973	34172,973	0	60
30	Dr. Gálvez	-0	3	-0	1	-0	12	-0	20	0	12000	0	60
31	Ferroplaza	-0	4	-285	-270	-0	3,5	-20	20	63000	75000	40	80
32	VillaCantera	-0,529	2,471	-228,647	-227,647	-0	5,5	-10,588	29,412	60647,059	72647,059	25,882	65,882
33	Iztapalapa	-0,7	2,3	-210,5	-209,5	-0	5	-14	26	44300	54300	0	80
34	Balbuena	-1	2	-295	-290	-0,4	2,7	-20	20	67000	75000	60	80
35	B. Muerto	-0	3	-0	5	-0	8,5	-0	40	0	6000	0	80
36	Xochimilco	-0,882	2,118	-281,412	-280,412	-0	4	-17,647	22,353	71411,765	74411,765	16,471	76,471
37	Refinería	-0,324	2,676	-179,471	-164,471	-0	6,5	-25,882	-5,882	67411,765	69911,765	0	60
38	Coyuya	-0	4	-0	1	-0	9,5	-0	40	0	1200	0	60
39	Santa Anita	-1,3	0,7	-63,5	-33,5	-0	7	-6	34	25700	26700	0	80

Fuente: elaboración propia

La tabla 5-9 permite visualizar que combinación de recursos es posible efectuar para mejorar la eficiencia de los CETRAM que así lo requieran. Al igual que en la dimensión técnica, los slacks son cero para los DMUs eficientes. Sin embargo, la diferencia radica en que aquí se busca incrementar la producción, es decir, los outputs. Los slacks y proyecciones suponen una combinación que busca con los mismos recursos incrementar la satisfacción del servicio y el número de pasajeros. Se observa como muchos tienen como referencia a Pantitlán, y es que aquí no se trata de reducir los inputs, sino de hacer notar que recursos se están desaprovechando para alcanzar una mayor producción. Por ejemplo, en el caso de Zaragoza, de acuerdo con los resultados sería deseable hacer una reducción de su tiempo de transferencia, pues no está ayudando a aumentar la producción. Sin embargo, la automatización no es deseable que se reduzca, sino aumentarla, por lo tanto el resultado quiere decir que se está mal aprovechando el 20% de la automatización, pues con lo que se tiene actualmente debería funcionar para atender a cerca de 1 100 000 pasajeros con una satisfacción del servicio del 60%.

Tabla 5-10. Slacks y proyecciones en la dimensión ambiental

No	DMU	Slack(AT)	Projection (AT)	Slack(CE)	Projection (CE)	Slack(TT)	Projection (TT)	Slack(PA)	Projection (PA)	Slack(CO2)	Projection (CO2)
1	Pantitlán	-78411	10538	-36774	18443	-2,75	6	-965000	135000	103,63	254,43
2	I. Verdes	-26273,21	38440,794	-0	12938	-5,519	6,981	-751216,58	198783,422	123,71	310,34
3	Tasqueña	-35803,65	2202,353	-34079,29	28068,706	-0	6	-664117,65	85882,353	52,499	115,009
4	Chapultepec	-29257	976	-9883	28106	-12,3	6,2	-420000	80000	71,53	151,26
5	Cuatro Cam.	-0	93470	-0	12479	-0	12	-0	480000	0	21,99
6	El Rosario	-40723	976	-6838	28106	-3,8	6,2	-150000	80000	60,67	129,54
7	Universidad	-21611	976	-5461	28106	-2,3	6,2	-120000	80000	69,37	146,94
8	Const. 1917	-0	38973	-0	12833	-0	7	-0	200000	0	63,22
9	Zaragoza	-7079,427	12363,573	-0	18132	-0,293	6,207	-57588,731	127411,269	43,957	132,647
10	C. Azteca	-30334,53	5665,467	-0	23367	-1,898	6,102	-73026,493	106973,507	7,538	42,388
11	B. P. Aéreo	-0	10538	-0	18443	-0	6	-0	135000	0	47,17
12	M. Carrera	-18336	976	-26801	28106	-3,8	6,2	-55000	80000	76,01	160,22
13	Tacuba	-0	11400	-0	27789	-0	4,5	-0	130000	0	23,59
14	Politécnico	-13954	976	-19	28106	-2,8	6,2	-40000	80000	19,98	48,16
15	Zapata	-7758	976	-11257	28106	-3,8	6,2	-35000	80000	13,07	34,34
16	La Raza	-19320	976	-55827	28106	-0,3	6,2	-35000	80000	24,69	57,58
17	Tacubaya	-3726	976	-36137	28106	-4,8	6,2	-35000	80000	46,98	102,16
18	Observatorio	-0	15928	-0	17044	-0	20,8	-0	85000	0	21,34
19	M. A. Q.	-0	976	-0	28106	-0	6,2	-0	80000	0	8,2
20	Santa Marta	-0	23769	-0	16189	-0	7,5	-0	80000	0	29,51
21	San Lázaro	-17326	588	-49540	17019	-0,4	3,1	-67000	8000	75,4	157,61
22	Viveros	-67,229	1289,771	-0	14081	-5,872	6,128	-61898,151	3101,849	16,976	35,766
23	Moctezuma	-263	588	-651	17019	-2,7	3,1	-42000	8000	31,94	70,69
24	C. Abastos	-0	16058	-0	884	-0	7,5	-0	45000	0	36,31
25	Tepalcates	-6658	588	-19087	17019	-3,1	3,1	-37000	8000	27,79	62,39
26	D. 18 Marzo	-9719	588	-33938	17019	-6,9	3,1	-37000	8000	47,95	102,71
27	Potrero	-6465	588	-24309	17019	-5,1	3,1	-22000	8000	39,29	85,39
28	Huipulco	-15594	588	-14994	17019	-5,4	3,1	-12000	8000	39,35	85,51
29	Mixcoac	-8314	588	-21588	17019	-3,9	3,1	-7000	8000	4,24	15,29
30	Dr. Gálvez	-5485	1376	-31927	13720	-5,5	6,5	-9500	2500	35,42	72,04
31	Ferroplaza	-4475	588	-8423	17019	-0,4	3,1	-4000	8000	5,65	18,11
32	VillaCantera	-1264	588	-8798	17019	-2,4	3,1	-4000	8000	3,64	14,09
33	Iztapalapa	-0	4818	-0	11709	-0	5	-0	10000	0	3,76
34	Balbuena	-0	588	-0	17019	-0	3,1	-0	8000	0	6,81
35	B. Muerto	-866	1376	-411	13720	-2	6,5	-3500	2500	2,17	5,54
36	Xochimilco	-0	4566	-0	38005	-0	4	-0	3000	0	3,85
37	Refinería	-0	1376	-0	13720	-0	6,5	-0	2500	0	1,2
38	Coyuya	-631	6799	-33245	19968	-2,5	7	-200	1000	13,43	28,53
39	Santa Anita	-0	6799	-0	19968	-0	7	-0	1000	0	1,67

Fuente: elaboración propia

Por último en la dimensión ambiental se tienen slacks y proyecciones como era de esperarse, una reducción en el tiempo de transferencia, área de transferencia y tener un consumo energético moderado harán que las emisiones de CO_2 se mantengan o disminuyan. Por ejemplo, la inclusión de modos de transporte masivos hace que se tenga un consumo energético moderado y sobre todo que el tiempo de transferencia sea menor, pues la sincronización es automática y no depende de la destreza de un operador para coordinar a muchos vehículos de baja capacidad. Un fenómeno que se observa tanto en la dimensión ambiental como en la técnica es la reducción del área de transferencia, lo cual en algunos casos puede funcionar, pero en otros no será lo más adecuado. Esto es, el hecho de que reduzcas el área de transferencia en el modelo, aumentará la eficiencia, pero en la vida real tal vez esa reducción debe interpretarse como la introducción de modos de transporte masivos para reducir el área que ocupan las bahías y vehículos de baja capacidad, entonces se estaría hablando de una reducción real de área mal aprovechada.

5.4 Recomendaciones para mejorar la eficiencia de los CETRAM

Con los resultados de los slacks y proyecciones, pueden darse recomendaciones para mejorar la eficiencia de los CETRAM. Si bien la eficiencia es el factor que nos indica el rendimiento actual de estos, los slacks y proyecciones hacen ver las fortalezas y debilidades de cada uno. Por supuesto, este análisis tiene que hacerse junto con los valores de los inputs y outputs utilizados. De la figura 5-15 a la 5-18 se muestra la situación actual de los CETRAM en sus tres dimensiones, es decir, el diagnóstico para poder hacer valoraciones de propuestas para mejorar su rendimiento.

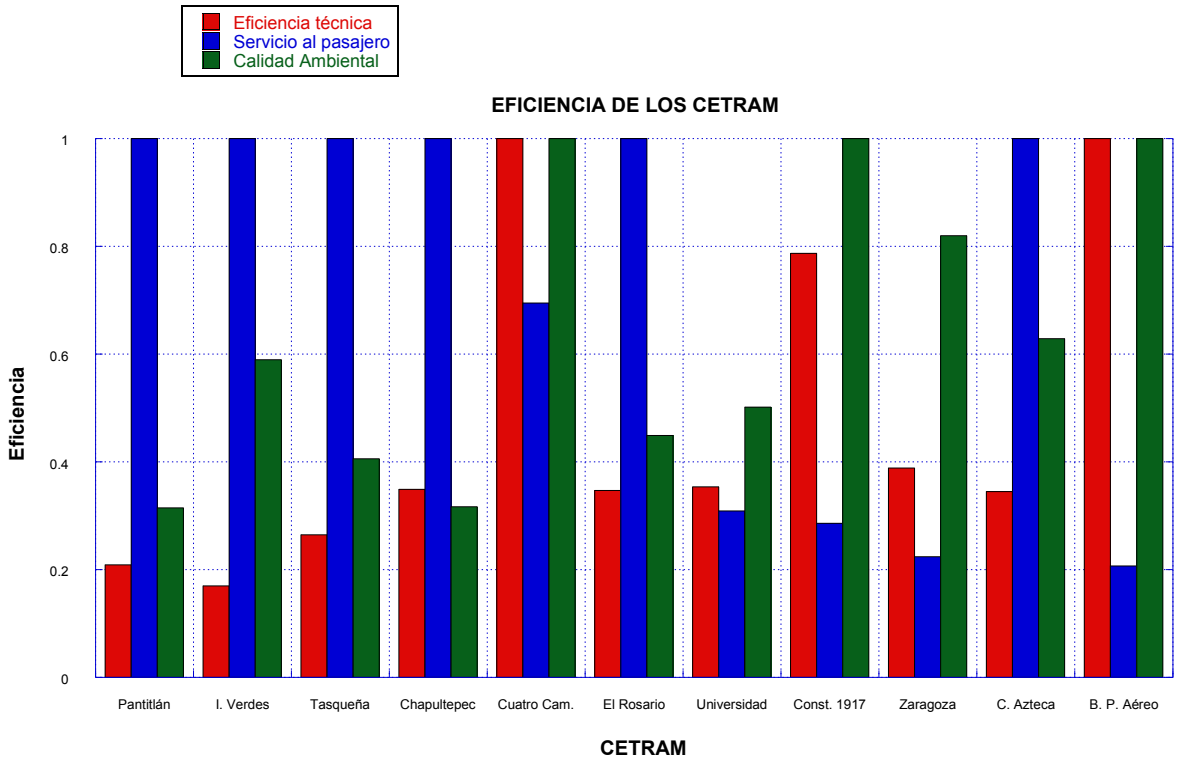


Figura 5-15. Rendimiento (eficiencia) actual de los CETRAM

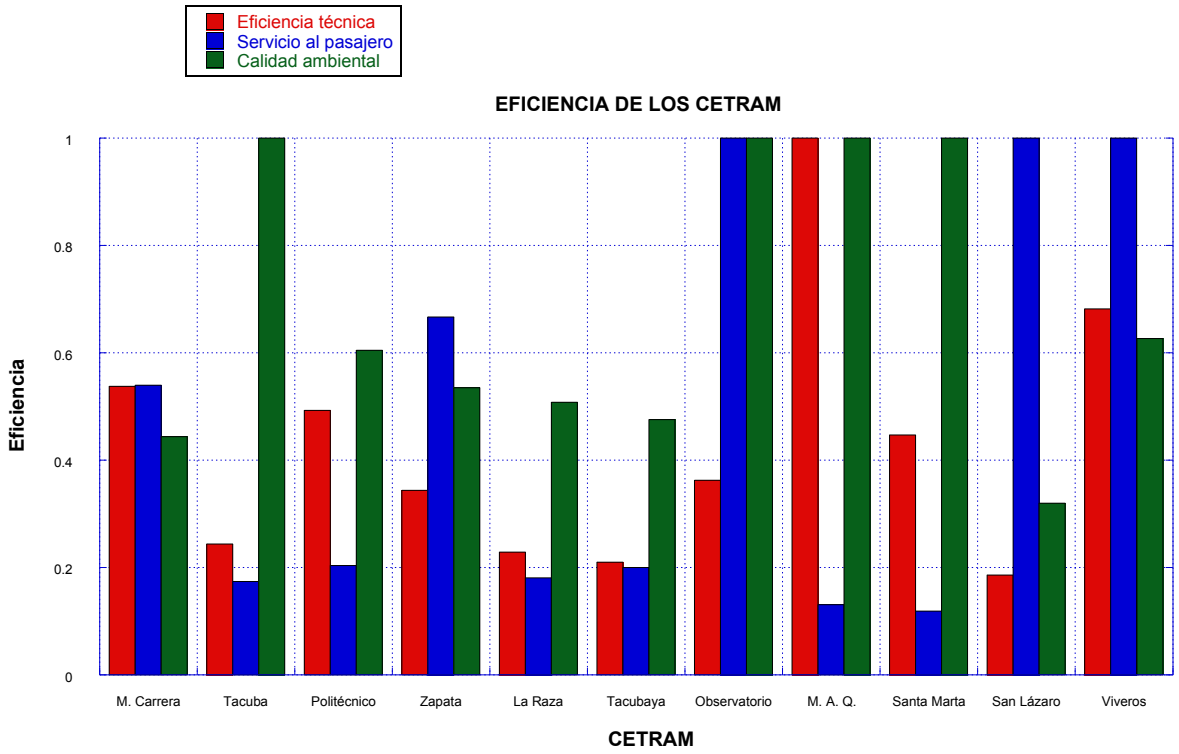


Figura 5-16. Rendimiento (eficiencia) actual de los CETRAM

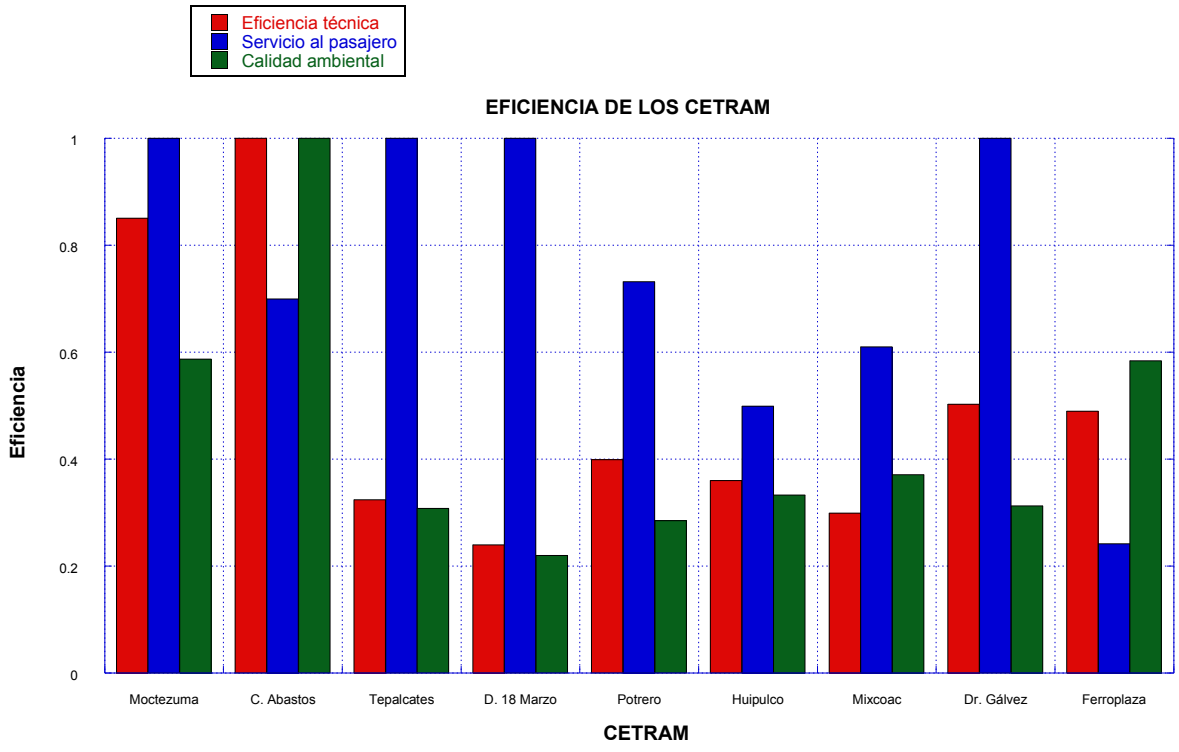


Figura 5-17. Rendimiento (eficiencia) actual de los CETRAM

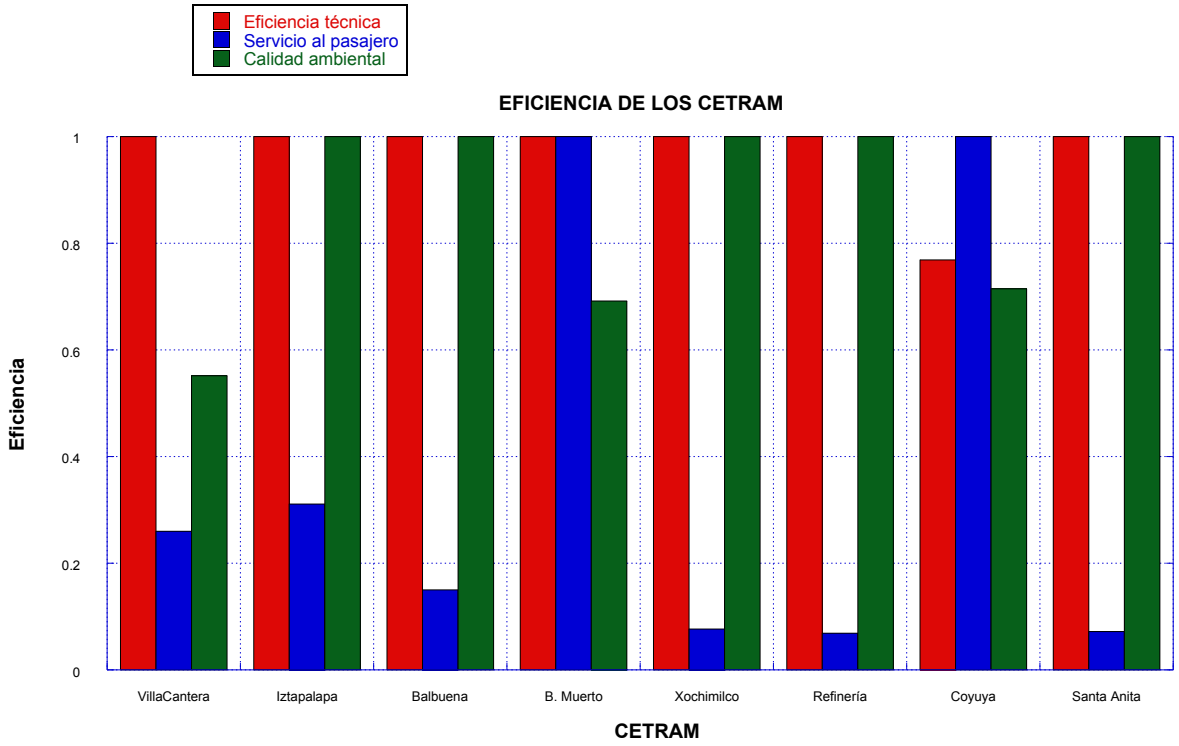


Figura 5-18. Rendimiento (eficiencia) actual de los CETRAM

Por lo tanto, para dar recomendaciones de mejora de eficiencias, primeramente tiene que identificarse los casos ineficientes, después, de cada uno de ellos analizar sus slacks y compararlos con los casos eficientes. Es aquí cuando entra el criterio, como se mencionó antes, no quiere decir que todos tengan que ser iguales a la magnitud de las variables de los casos de éxito. Para ilustrar mejor lo anterior, se expondrá un ejemplo de mejora de rendimiento de los CETRAM Universidad y Pantitlán en las tres dimensiones estudiadas.

En la tabla 5-11 se muestran los resultados de la eficiencia del Grupo A utilizando los inputs y output originales, es decir, los resultados que se han venido analizando. Ahora bien, para mejorar la eficiencia tiene que hacerse un cambio "racional" de estos, es decir minimizar en la medida de lo posible los inputs en exceso con un conocimiento real del problema, para así tener un criterio de en qué magnitud serán reducidos dichos inputs y mantener la misma producción. En la tabla 5-12 se marca en negritas y color verde los inputs modificados para mejorar la eficiencia de los CETRAM Pantitlán y Universidad.

Tabla 5-11. Resultados de la eficiencia técnica (inputs y output originales)

No	DMU	SBM-OI-REV	DIMENSIÓN TÉCNICA					Grupos
			INPUTS				OUTPUT	
		Score (Eficiencia)	A. Transferencia	Capacidad	NT	AS	Pax. Atendidos	
1	**Pantitlán**	**0,209**	**88,949**	**1,864,240**	**6**	**5**	**1,100,000**	Grupo A
2	I. Verdes	0,17	64,714	948,460	20	19	950,000	
3	Tasqueña	0,265	38,006	721,704	13	7	750,000	
4	Chapultepec	0,349	30,233	631,285	5	5	500,000	
5	Cuatro Cam.	1	93,470	389,587	10	4	480,000	
6	El Rosario	0,347	41,699	762,032	16	3	230,000	
7	**Universidad**	**0,354**	**22,587**	**599,030**	**6**	**5**	**200,000**	
8	Const. 1917	0,787	38,973	452,380	9	4	200,000	
9	Zaragoza	0,389	19,443	576,937	6	4	185,000	
10	C. Azteca	0,345	36,000	487,050	9	8	180,000	
11	B. P. Aéreo	1	10,538	450,255	8	10	135,000	
12	M. Carrera	0,538	19,312	805,080	2	2	135,000	
13	Tacuba	0,244	11,400	790,100	6	18	130,000	
14	Politécnico	0,493	14,930	573,095	16	2	120,000	
15	Zapata	0,344	8,734	936,856	4	4	115,000	
16	La Raza	0,229	20,296	1,206,544	3	15	115,000	
17	Tacubaya	0,21	4,702	1,562,480	8	10	115,000	
18	Observatorio	0,363	15,928	542,408	6	6	85,000	
19	M. A. Q.	1	976	483,354	1	2	80,000	
20	Santa Marta	0,447	23,769	645,636	3	3	80,000	

Fuente: elaboración propia

Tabla 5-12. Resultados de la eficiencia técnica (inputs modificados)

No	DMU	SBM-OI-REV	DIMENSIÓN TÉCNICA					Grupos
			INPUTS				OUTPUT	
		Score (Eficiencia)	A. Transferencia	Capacidad	NT	AS	Pax. Atendidos	
1	**Pantitlán**	**0,272**	**60,000**	**1,500,000**	**4**	**4**	**1,100,000**	Grupo A
2	I. Verdes	0,17	64,714	948,460	20	19	950,000	
3	Tasqueña	0,265	38,006	721,704	13	7	750,000	
4	Chapultepec	0,349	30,233	631,285	5	5	500,000	
5	Cuatro Cam.	1	93,470	389,587	10	4	480,000	
6	El Rosario	0,347	41,699	762,032	16	3	230,000	
7	**Universidad**	**1**	**18,000**	**450,000**	**2**	**3**	**200,000**	
8	Const. 1917	0,562	38,973	452,380	9	4	200,000	
9	Zaragoza	0,389	19,443	576,937	6	4	185,000	
10	C. Azteca	0,345	36,000	487,050	9	8	180,000	
11	B. P. Aéreo	1	10,538	450,255	8	10	135,000	
12	M. Carrera	0,538	19,312	805,080	2	2	135,000	
13	Tacuba	0,244	11,400	790,100	6	18	130,000	
14	Politécnico	0,493	14,930	573,095	16	2	120,000	
15	Zapata	0,344	8,734	936,856	4	4	115,000	
16	La Raza	0,229	20,296	1,206,544	3	15	115,000	
17	Tacubaya	0,21	4,702	1,562,480	8	10	115,000	
18	Observatorio	0,363	15,928	542,408	6	6	85,000	
19	M. A. Q.	1	976	483,354	1	2	80,000	
20	Santa Marta	0,447	23,769	645,636	3	3	80,000	

Fuente: elaboración propia

Comparando las tablas 5-11 y 5-12 se observa que mientras en Pantitlán la mejora de la eficiencia no fue tan notoria, en Universidad hubo un cambio radical, pues mejoró su rendimiento en 0,646 puntos, alcanzado así la eficiencia. Se observa que no fue necesario reducir el área a 976 m^2 (área de M.A.Q) como lo indican los slacks para que Universidad alcanzará una eficiencia de 1. Por lo que, se comprueba que el criterio es muy importante para reducir inputs, o en otros casos aumentarlos. Luego entonces, mejorar la eficiencia de un CETRAM no depende únicamente del valor de los slacks y sus proyecciones, sin embargo, si son de gran ayuda para entender cuáles son los puntos débiles y áreas de oportunidad.

El que se haya reducido la capacidad en ambos CETRAM no es algo negativo, por el contrario. En muchas ocasiones hay un exceso de vehículos (sobretodo microbuses y vagonetas) parados y con largas filas de espera, prácticamente en todos los CETRAM, que sólo generan un atasco de producción y exceso de recursos innecesarios. Es decir, esta reducción de vehículos se ve reflejada en una reducción de la capacidad, mejorando así los rendimientos. Por supuesto tendrían que hacerse estudios de que vehículos retirar, sobre todo aquellos con competencias de ruta, tema que está fuera del alcance de esta tesis.

Siguiendo el ejemplo de mejorar los CETRAM Pantitlán y Universidad se aborda la dimensión social. Al igual que la dimensión anterior, se presentan dos tablas, una con los inputs y outputs originales y otra con la modificación de estos con el fin de mejorar el rendimiento. En las tablas 5-13 y 5-14 se presenta lo anterior.

Tabla 5-13. Resultados de la eficiencia social (inputs y outputs originales)

NO	DMU	SBM-OO-REV	DIMENSIÓN SOCIAL						Grupos
			INPUTS				OUTPUTS		
		Score (Eficiencia)	M. Transpor.	Est.	TT	AU	SS	Pax. Atendidos	
1	**Pantitlán**	**1**	**4**	**1**	**8,75**	**60**	**60**	**1,100,000**	Grupo A
2	I. Verdes	1	4	1	12,5	40	40	950,000	
3	Tasqueña	1	5	300	6	60	60	750,000	
4	Chapultepec	1	4	1	18,5	40	60	500,000	
5	Cuatro Cam.	0,695	3	1	12	40	60	480,000	
6	El Rosario	1	5	1	10	60	80	230,000	
7	**Universidad**	**0,309**	**3**	**7**	**8.5**	**20**	**60**	**200,000**	
8	Const. 1917	0,286	3	1	7	40	40	200,000	
9	Zaragoza	0,224	3	1	6.5	40	20	185,000	
10	C. Azteca	1	3	250	8	100	80	180,000	
11	B. P. Aéreo	0,207	4	1	6	20	40	135,000	
12	M. Carrera	0,54	5	1	10	40	40	135,000	
13	Tacuba	0,174	3	1	4.5	20	20	130,000	
14	Politécnico	0,204	3	1	9	40	60	120,000	
15	Zapata	0,667	4	1	10	60	80	115,000	
16	La Raza	0,181	4	2	6.5	20	40	115,000	
17	Tacubaya	0,2	4	1	11	40	40	115,000	
18	Observatorio	1	2	200	20,8	40	40	85,000	
19	M. A. Q.	0,131	4	1	6,2	20	40	80,000	
20	Santa Marta	0,119	3	1	7,5	40	20	80,000	

Fuente: elaboración propia

Tabla 5-14. Resultados de la eficiencia social (inputs y outputs modificados)

NO	DMU	SBM-OO-REV	DIMENSIÓN SOCIAL						Grupos
			INPUTS				OUTPUTS		
		Score (Eficiencia)	M. Transpor.	Est.	TT	AU	SS	Pax. Atendidos	
1	**Pantitlán**	**1**	**4**	**1**	**6,0**	**80**	**80**	**1,100,000**	Grupo A
2	I. Verdes	1	4	1	12,5	40	40	950,000	
3	Tasqueña	1	5	300	6	60	60	750,000	
4	Chapultepec	1	4	1	18,5	40	60	500,000	
5	Cuatro Cam.	0,698	3	1	12	40	60	480,000	
6	El Rosario	1	5	1	10	60	80	230,000	
7	**Universidad**	**0,646**	**3**	**100**	**4,0**	**80**	**80**	**350,000**	
8	Const. 1917	0,277	3	1	7	40	40	200,000	
9	Zaragoza	0,205	3	1	6.5	40	20	185,000	
10	C. Azteca	1	3	250	8	100	80	180,000	
11	B. P. Aéreo	0,197	4	1	6	20	40	135,000	
12	M. Carrera	0,54	5	1	10	40	40	135,000	
13	Tacuba	0,16	3	1	4.5	20	20	130,000	
14	Politécnico	0,213	3	1	9	40	60	120,000	
15	Zapata	0,667	4	1	10	60	80	115,000	
16	La Raza	0,176	4	2	6.5	20	40	115,000	
17	Tacubaya	0,204	4	1	11	40	40	115,000	
18	Observatorio	1	2	200	20,8	40	40	85,000	
19	M. A. Q.	0,128	4	1	6,2	20	40	80,000	
20	Santa Marta	0,119	3	1	7,5	40	20	80,000	

Fuente: elaboración propia

La mejora que se hizo fue de ampliar el estacionamiento de Universidad a 100 lugares, automatizar las operaciones en un 80% y así reducir el tiempo de transferencia a cuatro minutos. Con los anteriores resultados se tienen proyecciones positivas en los pasajeros atendidos, sin embargo, dado que el número arrojado por éstas es muy grande y poco realista (un aumento de pasajeros en 892 976, lo que sería atender ahora a 1 092 976), se propone un aumento racional de 150 000 pasajeros, lo que sería ahora atender a 350,000 pax/día. Para compensar lo anterior, se supone que este aumento se debe a una mejora en los servicios ofrecidos, por lo que se considera un aumento en la satisfacción del servicio a un 80%. Con ello el CETRAM Universidad incrementa 0,337 puntos su rendimiento, por lo que su ahora se encuentra con un valor de 0,646, si bien, más cerca de la eficiencia. Por otra parte, en Pantitlán se decidió automatizar en 80% sus operaciones con lo que se reduce a seis minutos el tiempo de transferencia. Se observa como éste CETRAM sigue siendo eficiente, como era de esperarse, pues la modificación de estas variables se vio reflejada en un aumento en la satisfacción del servicio a 80%. Es de imaginarse todos los intentos y ajustes que deben hacerse en las variables para incrementar la producción con un uso balanceado de recursos que supongan una mejora. Igualmente, otro importante reto serían las proyecciones a futuro con una tasa de crecimiento en el uso del transporte público, para así tener datos más exactos y confiables en los modelos.

Finalmente se hace la mejora de la eficiencia para la dimensión ambiental de los dos casos, Universidad y Pantitlán, siguiendo por supuesto el valor de los slacks y las proyecciones. En las tablas 5-15 y 5-16 se representa lo mencionado.

Tabla 5-15. Resultados de la eficiencia ambiental (inputs y output originales)

NO	DMU	SBM-OI-REV	DIMENSIÓN AMBIENTAL					Grupos
			INPUTS				OUTPUT	
		Score (Eficiencia)	A. Transferencia	PA	TT	EC	ECO_2	
1	**Pantitlán**	**0,315**	**88,949**	**1,100,000**	**8,75**	**55,217**	**150,80**	Grupo A
2	I. Verdes	0,59	64,714	950,000	12,5	12,938	186,63	
3	Tasqueña	0,406	38,006	750,000	6	62,148	62,51	
4	Chapultepec	0,317	30,233	500,000	18,5	37,989	79,73	
5	Cuatro Cam.	1	93,470	480,000	12	12,479	21,99	
6	El Rosario	0,449	41,699	230,000	10	34,944	68,87	
7	**Universidad**	**0,502**	**22,587**	**200,000**	**8,5**	**33,567**	**77,57**	
8	Const. 1917	1	38,973	200,000	7	12,833	63,22	
9	Zaragoza	0,82	19,443	185,000	6,5	18,132	88,69	
10	C. Azteca	0,629	36,000	180,000	8	23,367	34,85	
11	B. P. Aéreo	1	10,538	135,000	6	18,443	47,17	
12	M. Carrera	0,444	19,312	135,000	10	54,907	84,21	
13	Tacuba	1	11,400	130,000	4,5	27,789	23,59	
14	Politécnico	0,605	14,930	120,000	9	28,125	28,18	
15	Zapata	0,535	8,734	115,000	10	39,363	21,27	
16	La Raza	0,508	20,296	115,000	6,5	83,933	32,89	
17	Tacubaya	0,476	4,702	115,000	11	64,243	55,18	
18	Observatorio	1	15,928	85,000	20,8	17,044	21,34	
19	M. A. Q.	1	976	80,000	6,2	28,106	8,20	
20	Santa Marta	1	23,769	80,000	7,5	16,189	29,51	

Fuente: elaboración propia

Tabla 5-16. Resultados de la eficiencia ambiental (inputs y output modificados)

NO	DMU	SBM-OI-REV	DIMENSIÓN AMBIENTAL					Grupos
			INPUTS				OUTPUT	
		Score (Eficiencia)	A. Transferencia	PA	TT	EC	ECO_2	
1	**Pantitlán**	**0,438**	**60,000**	**1,100,000**	**6**	**40,000**	**103,00**	Grupo A
2	I. Verdes	0,59	64,714	950,000	12,5	12,938	186,63	
3	Tasqueña	0,406	38,006	750,000	6	62,148	62,51	
4	Chapultepec	0,317	30,233	500,000	18,5	37,989	79,73	
5	Cuatro Cam.	1	93,470	480,000	12	12,479	21,99	
6	El Rosario	0,449	41,699	230,000	10	34,944	68,87	
7	**Universidad**	**0,638**	**18,000**	**200,000**	**6**	**28,106**	**63,00**	
8	Const. 1917	1	38,973	200,000	7	12,833	63,22	
9	Zaragoza	0,82	19,443	185,000	6,5	18,132	88,69	
10	C. Azteca	0,629	36,000	180,000	8	23,367	34,85	
11	B. P. Aéreo	1	10,538	135,000	6	18,443	47,17	
12	M. Carrera	0,444	19,312	135,000	10	54,907	84,21	
13	Tacuba	1	11,400	130,000	4,5	27,789	23,59	
14	Politécnico	0,605	14,930	120,000	9	28,125	28,18	
15	Zapata	0,535	8,734	115,000	10	39,363	21,27	
16	La Raza	0,508	20,296	115,000	6,5	83,933	32,89	
17	Tacubaya	0,476	4,702	115,000	11	64,243	55,18	
18	Observatorio	1	15,928	85,000	20,8	17,044	21,34	
19	M. A. Q.	1	976	80,000	6,2	28,106	8,20	
20	Santa Marta	1	23,769	80,000	7,5	16,189	29,51	

Fuente: elaboración propia

Observando ambas tablas 5-15 y 5-16, se aprecia la mejora de la eficiencia en ambos CETRAM, si bien no muy alta, ésta se da. Siguiendo los análisis previos de las dimensiones técnica y social se respetaron los valores asignados previamente, haciendo más coherente el proceso de mejora. En el área de transferencia se dio el valor de 18 000 m^2 para Universidad y 60 000 m^2 para Pantitlán. En el tiempo de transferencia para Universidad esta se redujo únicamente a seis minutos y en Pantitlán a seis minutos como en la dimensión social. Como la capacidad de vehículos se redujo en la dimensión técnica esto lleva a que el consumo energético y las emisiones de CO_2 lo hagan de igual forma, como se aprecia al comparar las tablas 5-15 y 5-16. Por supuesto, no es deseable reducir el número de pasajeros, por lo que el valor de esta variable permanece constante. Luego entonces, con estas modificaciones en Universidad se obtiene un valor de la eficiencia de 0,638 y en Pantitlán de 0,438. La mejora se logró, pero como se mencionó anteriormente, para obtener mejores valores de la eficiencia deben hacerse ajustes racionales con criterio que reflejen esta mejora en la realidad y en el modelo. Es de imaginar que estos ajustes y pruebas requieren tiempo y dedicación para analizar como la modificación de una variable incide en la producción y cómo afecta a las otras dimensiones.

Para apreciar de mejorar manera los resultados obtenidos con las modificaciones realizadas, en la figura 5-19 se muestra el escenario actual y el mejorado de los CETRAM Pantitlán y Universidad.

Dimensión	Pantitlán		Universidad	
	Actual	Mejorado	Actual	Mejorado
Técnica	0,21	0,27	0,35	1,00
Social	1,00	1,00	0,31	0,65
Ambiental	0,32	0,40	0,50	0,64

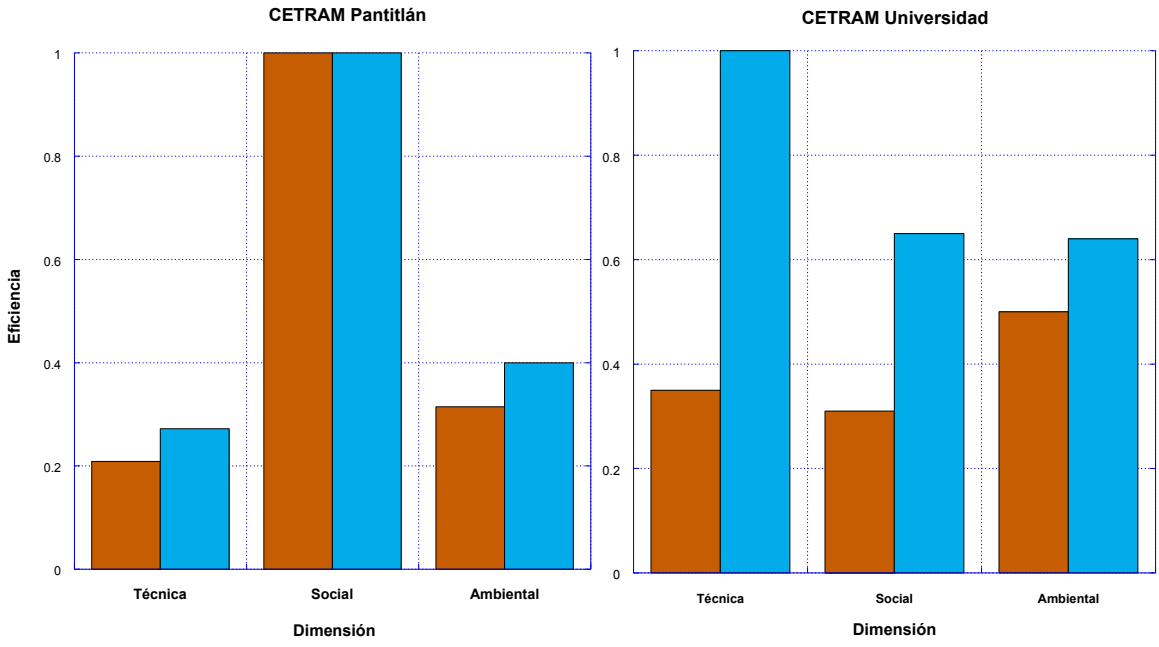


Figura 5-19. Escenario actual y mejorado de los CETRAM Pantitlán y Universidad

Con esta mejora de los CETRAM Pantitlán y Universidad pueden obtenerse ciertas conclusiones a tomar en cuenta a la hora de ejecutar el proceso de mejora de un intercambiador modal.

- Acotar el problema a intercambiadores modales con un tamaño similar.

- Hacer un análisis previo de los inputs y outputs antes de correr el programa.

- Una vez obtenida la eficiencia, estudiar las razones de su valor de acuerdo a los recursos y producción con que se cuenta.

- Comprendidos los valores de la eficiencia, analizar los valores de los slacks y proyecciones para identificar las fortalezas y debilidades de cada intercambiador modal.

- Con base en los valores de los slacks y proyecciones modificar los valores de inputs y outputs con criterio, de acuerdo a la situación real de cada intercambiador.

- Correr el programa, analizar el cambio de las eficiencias y obtener conclusiones.

6. CONCLUSIONES

En este último capítulo se exponen las principales conclusiones de esta tesis. Se explica la aportación de la metodología y se señalan las futuras líneas de investigación para mejorar la situación del transporte público en México y en el mundo.

6.1 Conclusiones

El transporte público ha tenido cambios significativos a lo largo de la historia y tiene importantes retos por delante. El incremento exponencial del uso del automóvil particular a partir de inicios del siglo XX hasta nuestras fechas desplazó el uso masivo del transporte público (Jordá, 2012). Sin embargo, con el aumento del promedio de vida y la sobrepoblación hizo que muchas zonas densamente pobladas en el mundo crearan sistemas de transporte complejos que forzosamente requieren de una interacción coordinada entre sus componentes.

Una interacción adecuada entre dichos componentes crea nodos o puntos de convergencia claves dentro de una ciudad densamente poblada. Estos son de gran importancia, pues son los que facilitan el rápido acceso a la movilidad y continuación de los viajes. Sin embargo, si a estos puntos no se les da la importancia debida pueden generarse serios problemas dentro de la red del transporte, haciéndola ineficiente. Por supuesto, este problema afecta directamente sectores como: el económico, al generar una baja productividad de las personas por diversas razones, pero sobretodo por la cantidad de tiempo que invierten en sus traslados, en el sector salud, al tener una red que exige demasiado tiempo estar en ella y destinar poco tiempo a actividades físicas, peor aún, si estos lugares se abandonan y/o no son operados adecuadamente, se vuelven focos rojos de diversos problemas como la inseguridad, insalubridad y comercio informal, ocasionando así una calidad de vida denigrante en estas zonas.

Esta tesis expone la importancia de estos puntos clave, llamados intercambiadores modales, estaciones de transferencia o centros de transferencia modal. Se estudia el caso de la ZMVM y la interacción de sus redes modales de transporte con tan importantes componentes. Es frecuente que la red y sus componentes tengan problemas, y es que aunque estos son evidentes no se sabe por dónde atacarlos, mucho menos cuando se tienen pocos estudios o antecedentes. Por lo tanto, surge la necesidad de tener indicadores del funcionamiento o rendimiento de estos, de ahí la esencia de esta tesis. Como se mencionó en la introducción, los indicadores actuales no reflejan claramente si el funcionamiento de una estación de transferencia modal es muy buena, regular o muy mala, o si se están aprovechando bien o mal los recursos. Conociendo entonces estos problemas presentes en la ZMVM y que muchas veces los recursos destinados al transporte público son mal aprovechados, es importante entonces tener en cuenta dos puntos: tener indicadores que reflejen el rendimiento operativo de los CETRAM, y el uso racional de los recursos para obtener los mejores resultados. Por lo anterior, se desarrolla la metodología propuesta, que refleja claramente la situación de dichas estaciones y así tener suficientes elementos para hacer modificaciones que supongan una mejora en su operatividad.

Sobre la importancia de la metodología:

La metodología propuesta que hace uso del modelo DEA es una útil herramienta para los operadores de intercambiadores modales; esta tiene una visión sustentable del desarrollo de las ciudades al evaluar las tres dimensiones que componen dicho concepto: económica, social y ambiental. La forma en cómo se utilice esta metodología supondrá un cambio positivo para la operación de los CETRAM, pues tratará de minimizar el uso de sus recursos (disminución en costos de operación y mantenimiento) y de tener la máxima producción, que bien podría verse reflejada en utilidades o en su función como importantes nodos dentro del sistema al atender un determinado número de pasajeros. Esta metodología es igualmente útil para conocer las fortalezas y debilidades de cada estación de transferencia y muestra la forma en cómo puede mejorarse la eficiencia de éstas, acercándose así al punto de equilibrio, es decir, la sustentabilidad.

La metodología abarca también los esfuerzos realizados por encontrar las variables adecuadas que reflejen el rendimiento de los CETRAM en cada una sus dimensiones. Así mismo, la manera en que se obtienen los datos de cada variable supone una forma innovadora para generar bases de datos suficientes y coherentes que sustenten los resultados obtenidos.

Tampoco olvidar la importancia que tiene la conjunción tan estrecha entre la teoría y la práctica en esta metodología. Por una parte, la comprensión teórica del método DEA y sus diferentes variantes y el haber realizado visitas de campo a cada uno de los CETRAM comprendiendo cómo se ve reflejada su producción y que recursos utilizan para obtenerla; lo anterior hace que pueda elegirse un adecuado modelo para evaluar los intercambiadores modales y posteriormente mejorarlos.

Sobre la teoría y práctica de la metodología:

Los modelos DEA-SBM resultan ser los más adecuados para los cálculos de la eficiencia técnica, servicio al pasajero y calidad ambiental. Su uso hace posible el análisis detallado de los slacks de los inputs y outputs. Comparando los modelos radiales con los modelos basados en slacks, estos últimos no consideran como eficientes algunos casos de estudio que los radiales sí lo hacen y, tampoco sobrevaloran los resultados de la eficiencia. Por ello, se obtienen valores de la eficiencia de las CETRAM más ajustados a la realidad. La orientación y los rendimientos de escala elegidos fueron los adecuados, ya que los resultados muestran coherencia con lo observado en campo y con los objetivos planteados. Además de que sólo se comparan CETRAM con un tamaño similar. El hecho de separar el análisis en dos grupos hace que los cálculos sean aún más precisos.

También se opta por hacer lo más sencillo y claro el modelo, pues la inclusión de variables innecesarias sólo dificulta la ejecución de éste. Por ejemplo, no hacía falta incluir las variables horas de operación, frecuencia y capacidad de los vehículos como variables independientes, éstas tres podían ser incluidas en una sola variable, capacidad del CETRAM. De manera similar no era necesario incluir la variable emisiones de BC, ya que está estrechamente relacionada con las emisiones de CO_2, por lo que los valores obtenidos no cambiarían prácticamente en nada, por lo tanto se excluyeron dichas variables.

El software utilizado (MaxDEA Basic 6.4) en el cálculo de la frontera, la obtención de los valores de la eficiencia, los slacks y las proyecciones ha demostrado ser una herramienta útil, pues con éste se han alcanzado los objetivos planteados en la tesis. Una ventaja es que permite la exportación e importación de datos a Microsoft Excel, con lo cual pueden generarse útiles hojas de cálculo para el análisis de resultados y generación de gráficas.

En cuanto a las 46 visitas de campo realizadas, éstas fueron fundamentales para comprender los problemas que afrontan los CETRAM, entender su forma de operar e identificar que recursos son indispensables para la atención de sus pasajeros. Es decir, estar ahí y vivir el problema en carne propia es necesario para llegar a modelos útiles que puedan describirlos y mejorarlos.

Sobre la metodología aplicada a los CETRAM:

La eficiencia calculada es relativa, ya que depende de los casos de estudio y de las variables analizadas. Luego entonces si se incluye otra variable, la frontera de eficiencia se modificará.

Los valores de la eficiencia varían mucho de acuerdo a la dimensión analizada, como era de esperarse, van desde valores de 0,007 hasta 0,870. En ninguno de los casos analizados se obtuvo un CETRAM eficiente en las tres dimensiones, los casos de mayor éxito presentan eficiencia en dos dimensiones, en otros casos sólo en una dimensión y los peores casos en ninguna dimensión. De las dimensiones analizadas: el 28% de los CETRAM son eficientes en el aspecto técnico, un 38% en el social y un 30% en el ambiental.

En la dimensión técnica los CETRAM más eficientes fueron M.A.Q. del Grupo A y Balbuena del Grupo B, en la dimensión social la mejor eficiencia se presentó en Pantitlán del Grupo A y San Lázaro del Grupo B, finalmente en la dimensión ambiental los más eficientes correspondieron a M.A.Q. del Grupo A y Balbuena del Grupo B.

En cuanto a los CETRAM que mejor operan en la dimensión técnica son aquellos que atienden a un gran número de pasajeros en un área reducida, con capacidades incluso por debajo de la demanda, poco personal y con un reducido número de entradas y salidas. Por otra parte, los CETRAM que mejor operan en la dimensión social son los que ofrecen buenos servicios para la rápida transferencia y movilidad dentro de la estación, haciendo uso de un alto nivel de automatización, bajo tiempo de transferencia y suficientes servicios de transporte, reflejándose en un alto grado de satisfacción y en la afluencia de los pasajeros a la estación. Por último, en la dimensión ambiental, los CETRAM que mejor operan corresponden a los que utilizan transportes masivos eléctricos o con baja generación de emisiones, utilizando poca área para sus operaciones y haciendo la transferencia modal en el menor tiempo posible.

Una importante conclusión a la que se llega es que la inclusión de modos de transporte eléctrico masivos como el Metro o Tren Ligero hacen que la capacidad de pasajeros se incremente y que de igual manera las emisiones disminuyan al usar vehículos de bajas emisiones; con ello se incrementaría la eficiencia técnica y ambiental. Así mismo, el uso de

este tipo de vehículos incentiva a la automatización de la estación y a reducir los tiempos de transferencia, por lo que el servicio al pasajero (eficiencia social) se vería beneficiada. Ahora bien, la disminución del área de transferencia podría ser una opción para incrementar la eficiencia técnica y ambiental, sin embargo, debe tratarse mejor como "superficie", ya que si bien en muchas zonas densamente pobladas (e.g. Tokio, Paris, Nueva York, Shanghái) es común utilizar niveles elevados y subterráneos para aumentar su capacidad y para incluir nuevos modos de transporte; en la ZMVM esta acción es importante considerarla, pues una reducción de la superficie y la incorporación de más niveles podría incluso mejorar la integración social al crear espacios públicos que tanto hacen falta en la gran urbe.

Sobre la metodología y su objetivo:

El objetivo final es lograr un uso racional de los recursos destinados al transporte público y hacer que éste sea más accesible, funcional y que impacte de manera positivia en la calidad de vida de la sociedad. Es vital entonces la toma de decisiones de los actores que definen el rumbo de las ciudades, es necesario tener una correcta comunicación entre ingenieros, políticos, técnicos, sociólogos, ambientalistas, líderes, entre otros que hagan posible que metodologías o herramientas como éstas sean aplicadas para resolver problemas. La metodología aquí propuesta es meramente técnica y utilizada por los operadores, sin embargo, la coordinación institucional es esencial, ya que sin ella no puede haber una integración sostenible (Román-de la Sancha, 2008). Todo lo anteriormente mencionado es necesario para lograr una buena calidad de vida y desarrollo sostenible en las ciudades, y es que el transporte público, las redes modales que la componen y muy en específico los nodos, los CETRAM, los intercambiadores modales, juegan un papel primordial en la generación de la riqueza de una nación, se encargan de la movilidad del trabajo y desarrollo del talento del capital humano.

La metodología propuesta es también importante a considerarse cuando se planean y diseñan intercambiadores modales. Sería trascendente el contemplarla en manuales de diseño y operación de este tipo de infraestructura. En países en desarrollo en América Latina y Asia este tipo de metodologías representan una importante herramienta para la programación y entendimiento de los intercambiadores modales.

6.2 Aportaciones

En tesis se exponen las siguientes aportaciones:

1. Una metodología para la generación de datos confiable que sustenten los resultados obtenidos. De igual forma el planteamiento de variables que inciden en la eficiencia de los intercambiadores modales.

2. Es el primer estudio que se hace a nivel mundial para evaluar a un intercambiador modal desde un punto de vista sustentable, abarcando las dimensiones económica, social y ambiental.

3. Mostrar la situación actual de los CETRAM en la ZMVM con dicha metodología.

4. Con datos suficientes, evaluar la situación de los intercambiadores modales de cualquier zona densamente poblada y la posibilidad de mejorar su rendimiento.

5. Un análisis profundo de los slacks y el conocimiento real de la situación de las estaciones de transferencia hacen que pueda mejorarse el rendimiento de manera confiable.

6. Fichas técnicas que ponen en contexto la situación particular de cada CETRAM

7. El desarrollo sustentable de las grandes ciudades en el área del transporte público.

6.3 Futuras investigaciones

- Investigar si existen otras variables que escapan a esta tesis y que influyen en la eficiencia de los intercambiadores modales.

- Aplicar la metodología propuesta para intercambiadores en ciudades densamente pobladas, sobretodo en países de Asia y América Latina.

- Mejorar la calidad de los datos obtenidos haciendo encuestas por instituciones capacitadas como INEGI que tomen muestras representativas de los casos de estudio. Así mismo, desarrollar dispositivos que midan directamente la generación de gases de CO_2 y tiempos de transferencia.

- Analizar cuáles son los modos de transporte más eficientes para cada ciudad en particular e incentivar su uso.

- Conocer cuál o cuáles son los modos de transporte más eficientes dada las condiciones de la ZMVM y proponer su uso conectándolo a los CETRAM.

- Comparar el rendimiento y funcionalidad de intercambiadores modales de todo el mundo, destacar las fortalezas y debilidades de cada región.

- Desarrollar un software que junto con el MaxDEA se programe directamente a los modos de transporte que arriban a los intercambiadores modales; y que mida e interactúe directamente con las variables que afecten su operación, facilitando así el trabajo y la toma de decisiones del operador.

- Estudiar los valores de la eficiencia de los intercambiadores modales a lo largo del tiempo y ver que tendencia están siguiendo.

REFERENCIAS

Adler, N., Friedman, L., Sinuany-Stern, Z. (2002). "Review of ranking methods in the data envelopment analysis context". European Journal of Operational Research, Vol. 140, 2002, pp.249-265

Aigner, D.J., Lovell, C.A.K., Schmidt, P. (1977). "Formulation and estimation of Stochastic Frontier Production Function Models". Journal of Econometrics, Vol. 6, No. 1, 1977, pp. 21-37

Andersen, P. Petersen, N.C. (1993). "A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis". Management Science, Vol. 39, No. 10, 1993, pp. 1261-1264

Banker R.D., Charnes A, Cooper W.W. (1984) "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis". Management Science 1984; Vol.30, pp. 1078–1092

Bogetoft, P., Hougaard, J.L. (1998). "Efficiency evaluations based on potential (Non-proportional) improvements". Journal of Productivity Analysis, Vol. 12, 1998, pp. 233-247

Brockett, P. L., Golany, B. (1996). "Using rank statistics for determining programmatic efficiency differences in data envelopment analysis". Management Science, Vol. 42, No. 3, 1996, pp. 466-472

Caulfield B., Bailey D., Mullarkey S. (2013). "Using data envelopment analysis as a public transport project appraisal tool". Transport Policy, 2013, Vol.29, pp.74–85

Chang Y., Yu M. (2012). "Measuring Production and Consumption efficiencies using the slack-based measure network data envelopment approach: the case of low-cost carriers". Journal of Advanced Transportation, 2012; Vol.48, pp.15-31

Chang Y., Park H., Jeong J., Lee J. (2013). "Evaluating economic and environmental efficiency of global airlines: A SBM-DEA approach". Transportation Research Part D, Vol. 27, 2013, pp. 46-50

Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E. (1978). "Measuring the efficiency of decision making units". European Journal of Operational Research, Vol. 2, 1978, pp. 429-444

Cooper, W.W., Park, K.S., Pastor, J.T. (1999). "RAM: A range adjusted measure of inefficiency for usewith additive models, and relations to other models and measures in DEA". Journal of Productivity Analysis, Vol.11, 1999, pp. 5-42

Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K., Zhu, J. (2007). "Some models and measures for evaluating performances with DEA: past accomplishments and future prospects". Journal of Productivity Analysis, Vol. 28, 2007, pp. 151-163

De Borger, B., Ferrier, G., Kerstens, K. (1998). "The choice of a technical efficiency measure on the free disposal hull reference technology: A comparison using US banking data". European Journal of Operational Research, Vol. 105, 1998, pp. 427-446

De Borger, B., Kerstens, K., Costas, A. (2002). "Public transport performance: what does one learn from frontier studies?". Transport Reviews, Vol. 22, No. 1, 2002, pp. 1-38

Debreu, G. (1951). "The coefficient of resource utilization". Econometrica, Vol. 19, No. 3, 1951, pp. 273-292

Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México (2010), INEGI

El Mahgary, S. Lahdelma, R. (1995). "Data envelopment analysis: Visualizing the results". European Journal of Operational Research, Vol. 85, 1995, pp. 700-710

Encuesta Origen-Destino (2007), INEGI

Farrell, M.J. (1957). "The Measurement of Productive Efficiency". Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General), Vol. 120, No. 3, 1957, pp. 253-290

Fideicomiso para el Mejoramiento de las Vías de Comunicación del Distrito Federal (2013)

Fielding, G.H., Glauthier R.E., Lave C.A. (1978). "Performance indicators for transit management". University of California: Institute of Transportation Studies and School of Social Sciences; Vol. 7, 1978, pp. 365-379

Fried, H., Schmidt, S., Yaisawarng, S. (1999). "Incorporating the operational environment into a nonparametric measure of technical efficiency". Journal of Productivity Analysis, Vol. 12, 1999, pp. 249- 267

Gang C. y Zhenhua Q. (2015). Max DEA Basic [software], Beijing, 2015

Inventario Nacional de Vivienda (2015), INEGI

Jahangoshai Rezaee M., Izadbakhsh H., Yousefi S. (2015). "An Improvement Approach Based on DEA-game Theory for Comparison of Operational and Spatial Efficiencies in Urban Transportation Systems". KSCE Journal of Civil Engineering 2015; pp. 1-6

Johnson A.L., Nataraja N.R., (2010). "Guidelines for using variable selection techniques in data envelopment analysis". European Journal of Operational Research, Vol. 215, 2010; pp. 662-669

Jordá 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". Ph.D. Thesis, Universidad Politécnica de Madrid; 2012. pp. 1-323

Karlaftis M.G. (2004). "A DEA approach for evaluating the efficiency and effectiveness of urban transit systems". European Journal of Operational Research, 2004, Vol. 152, pp. 354-364

Kerstens, K. (1996). "Technical efficiency measurement and explanation of French urban transit companies". Transportation Research A, Vol. 30. No. 6, 1996, pp. 431-452

Lai P., Potter A., Beynon M., Beresford A. (2015). "Evaluating the efficiency performance of airports using an integrated AHP/DEA-AR technique". Transport Policy, Vol.42, 2015; pp. 75-85

Lao Y., Liu L. (2009). "Performance evaluation of bus lines with data envelopment analysis and geographic information systems". Computers, environment and urban systems, 2009, Vol. 33, pp. 247-255

Li J., Chen X., Li X., Guo X. (2013). "Evaluation of Public Transportation Operation Based on Data Envelopment Analysis". Proceedings of the Thirteenth International Conference of Transportation Professionals, Shenzhen, China 2013; pp.148-155

Lovell, C.A.K., Rouse, A.P.B. (2003). "Equivalent standard DEA models to provide super-efficiency scores". Journal of the Operational Research Society, Vol. 54, 2003, pp. 101-108

Mallikarjun S. (2014) "Efficiency of US airlines: A strategic operating model". Journal of Air Transport Management, 2014, Vol.43, pp. 46-56

MaxDEA Basic [computer program]. Version 5.0. Beijing Realworld Research & Consultation Company Ltd; 2014

Meyer M. D., Miller J. E. (2001). "Urban Transportation Planning". McGraw-Hill Series in Transportation, 2001, New York

Murillo-Zamorano, L.R., Vega-Cervera, J.A. (2001). "The use of parametric and non-parametric frontier methods to measure the productive efficiency in the industrial sector: A comparative study". International Journal of Production economics, Vol. 69, 2001, pp. 265-275

Murillo-Zamorano, L.R. (2004). "Economic efficiency and frontier techniques". Journal of Economic Surveys, Vol. 18, No. 1, 2004, pp. 33-77

Odeck, J., Alkadi, A. (2001). "Evaluating efficiency in the Norwegian bus industry using data envelopment analysis". Transportation, Vol. 28, 2001, pp. 211-232

Odeck, J. (2006). "Congestion, ownership, region of operation, and scale: Their impact on bus operator performance in Norway". Socio-Economic Planning Sciences, Vol. 40, 2006, pp. 52-69

ONU-HABITAT. (2011). United Nations Human Settlements Programme, United Kingdom

Otazo-Sánchez E.M., Montelongo-Reyes M.M., Romo-Gómez C., Gordillo-Martínez A.J., Galindo-Castillo E. (2015). "GHG and black carbon emission inventories from Mezquital Valley: The main energy provider for Mexico Megacity". Science of the Total Environment, 2015, pp. 455-464

Pastor, J.T., Ruiz, J.L., Sirvent, I. (1999). "An enhanced DEA Rusell graph efficiency measure". European Journal of Operational Research, Vol. 115, 1999, pp. 596-607

Pestana, C. Peypoch, N. (2010). "Productivity changes in Portuguese bus companies". Transport Policy, Vol. 17, 2010, pp. 295-302

Román de la Sancha, A. (2008). "Diseño de la Operación de una Estación de Transferencia Modal para Transporte Público de Pasajeros". México, pp: 1-90

Román de la Sancha, A., Mayoral, J.M., Román, L.I. (2016). "Modeling Urban Transfer Stations Efficiency". Procedia Computer Science, Vol. 83, 2016, pp. 18-25

Sheinbaum-Pardo C. y Chávez-Baheza C., (2014). "Sustainable passenger road transport scenarios to reduce fuel consumption, air pollution and GHG (greenhouse has) emissions in the Mexico City Metropolitan Area". Energy, Vol.66, 2014, pp. 624-634

Sistema de solicitudes de información del Distrito Federal [CD-ROM]. Instituto de Acceso a la Información Pública del Distrito Federal; 2015

Sun L., Rong J., Li X., Yao L. (2010). "Measuring Transfer Efficiency of Urban Public Transportation Terminals by Data Envelopment Analysis". Journal of Urban Planning and Development, 2010, Vol. 136, pp. 314-319

Tone, K. (2001). "A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis". European Journal of Operational Research, Vol. 130, 2001, pp. 498-509

Tone, K. (2002). "A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis". European Journal of Operational Research, Vol. 143, 2002, pp. 32-41

Tsutsui, M., Tone, K., Yoshida, Y. (2009). "Technical efficiency based on cost gradient measure". Wornking paper del GRIPS, 2009

Viton, P.A. (1986). "The question of efficiency in urban bus transportation". Journal of Regional Science, Vol.26, No.3, 1986, pp. 499-513

Viton, P.A. (1997). "Technical efficiency in multi-mode bus transit: a production frontier analysis".Transportation Research B, Vol. 31, No. 1, 1997, pp. 23-39

Von Hirschhausen C., Cullmann A. (2010). "A nonparametric efficiency analysis of German public transport companies". Transportation Research Part E, 2010, Vol. 46, pp. 436-445

Watts C. (2010). "Keeping traffic flowing Transport Efficiency to 2030". Report of the Economist Intelligence Unit; 2010, pp. 1-12

Zhu, J. (2001). "Super-efficiency and DEA sensitivity analysis". European Journal of Operational Research, Vol. 129, 2001, pp. 443-455

Páginas web

Adif, España http://www.adif.es/es_ES/index.shtml

BRT en Estados Unidos http://www.mta.info/

Centros de Transferencia Modal http://www.cetram.cdmx.gob.mx

Datos Vectoriales INEGI http://www.inegi.org.mx

Estación Central de Berlín http://www.bahnhof.de/bahnhof-de/Berlin_Hauptbahnhof.html

Estación CST http://whc.unesco.org/en/list/945

Estación en Auckland, Nueva Zelanda http://transportblog.co.nz

Estación Gare du Nord http://www.culture.gouv.fr/public/mistral/merimee

Estación Gran Central Terminal http://www.grandcentralterminal.com/info/transportation

Estación Guang Chang https://www.travelchinaguide.com/attraction/shanghai/peoples-square.htm

Estación Shinjuku de Tokio http://tokyoconsult.blogspot.mx/2015/05/tokyo-shinjuku.html

Estaciones importantes del mundo http://www.railway-technology.com/

Inventario Nacional de Vivienda http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/inv/

Metro de Tokio http://www.tokyometro.jp/en/tips/from_airport/index.html

Metrobús http://www.metrobus.cdmx.gob.mx/

Mexibús http://www.soymexiquense.com

Red de Transporte de Pasajeros http://www.rtp.gob.mx/RUTA_ORDINARIO.html

Secretaría de Movilidad de la CDMX http://www.semovi.cdmx.gob.mx/

Secretaría de Movilidad del EDO MEX http://smovilidad.edomex.gob.mx/

Servicio de Transportes Eléctricos http://www.ste.cdmx.gob.mx

Sistema de Información de la CDMX http://www.infomexdf.org.mx/

Sistema de Información del EDO MEX http://www.saimex.org.mx/

Sistema de Transporte Colectivo-Metro http://www.metro.cdmx.gob.mx/

Tren Suburbano http://www.fsuburbanos.com/

ANEXOS

FOTOS DE LOS CETRAM

PANTITLÁN

INDIOS VERDES

TASQUEÑA

CHAPULTEPEC

CUATRO CAMINOS

EL ROSARIO

UNIVERSIDAD

CONST. 1917

ZARAGOZA

C. AZTECA

B.P. AÉREO

M. CARRERA

TACUBA

POLITÉCNICO

ZAPATA

LA RAZA

TACUBAYA

OBSERVATORIO

M.A. QUEVEDO

SANTA MARTA

SAN LÁZARO

VIVEROS

MOCTEZUMA

C. DE ABASTOS

TEPALCATES

D. 18 DE MARZO

POTRERO

HUIPULCO

MIXCOAC

DR. GÁLVEZ

FERROPLAZA

VILLA CANTERA

IZTAPALAPA

BALBUENA

B. MUERTO

XOCHIMILCO

REFINERÍA

COYUYA

SANTA ANITA

BUENAVISTA

SAN ANTONIO ABAD

INSURGENTES

Cálculo para obtener la capacidad de un CETRAM

Para obtener la capacidad de un CETRAM se necesita de tres variables: la frecuencia de los vehículos (FV), la capacidad de los vehículos (CV) y las horas que éste opera (HO).
Se utiliza la siguiente fórmula:

$$CC = CV * FV * HO$$

Donde:

CC : es la capacidad del CETRAM en $\left(\frac{pax}{día}\right)$

CV : es la capacidad de pasajeros de los vehículos que arriban al CETRAM en $\left(\frac{pax}{veh}\right)$

FV : es la frecuencia de los vehículos que arriban al CETRAM en $\left(\frac{veh}{hora}\right)$

HO : son las horas que opera el CETRAM en el día $\left(\frac{horas}{día}\right)$

Luego entonces, para calcular la capacidad del CETRAM Tasqueña se hace el siguiente procedimiento.

Tabla A-1. Cálculo capacidad del CETRAM

CETRAM: Tasqueña				Horas de operación: 18.5	
Vehículo	CV (pax/veh)	FV (veh/hora)	CC (pax /hora)	HO (horas/día)	CC (pax /día)
Metro	1400	16	22400	18.5	414,400
~~Metrobús~~	0	0	0	0	0
Trolebús	90	83	7470	18.5	138,195
Tren Ligero	374	16	5984	18.5	110,704
RTP	90	4	360	18.5	6,660
~~RTP Eco~~	0	0	0	0	0
SUMA (CC1) (pax/día)					**669,959**

Fuente: elaboración propia

Ahora bien, para hacer el cálculo de la capacidad del transporte colectivo concesionado, es decir, autobuses, microbuses y vagonetas, se tiene el dato de cuantos vehículos de este tipo llegan al día por CETRAM (veh/día). Sin embargo, no se tienen datos de cada uno de los vehículos mencionados por separado, sino todos en conjunto, con lo cual se pierde exactitud en el cálculo. Por lo anterior, tiene que hacerse un criterio de elección según lo observado en el CETRAM y asignar porcentajes a cada tipo de vehículo. En el caso del CETRAM Tasqueña se tienen los siguientes porcentajes, utilizando la siguiente expresión

$$CC = TC * CV * \%$$

Donde:

CC : es la capacidad del CETRAM en $\left(\frac{pax}{día}\right)$

TC : es el total de vehículos concesionados que arriban al CETRAM en $\left(\frac{veh}{día}\right)$

CV : es la capacidad de los vehículos que arriban al CETRAM en $\left(\frac{pax}{veh}\right)$

% : es el porcentaje de cada vehículo presente en el CETRAM (%)

Tabla A-2. Cálculo capacidad del CETRAM

CETRAM: Tasqueña				
Total de concesionados TC (veh/día)	Vehículo	CV (pax/veh)	%	CC (pax/día)
1068	Combis	17	10	1,816
	Microbuses	35	35	13,083
	Autobuses	55	30	17,622
	CDMX	80	15	12,816
	Otra empresa	60	10	6,408
SUMA (CC2) (pax/día)				**51,745**

Fuente: elaboración propia

Por lo tanto, sumando la capacidad del transporte público de gobierno, con el transporte colectivo, es decir, $CC1 + CC2$, la capacidad del CETRAM Tasqueña es:

$$CC1 + CC2 = 669{,}959 + 51{,}745 = 721{,}704 \left(\frac{pax}{día}\right)$$

Cálculos para obtener la energía consumida por el transporte público:

Para obtener el consumo energético del transporte público en la ZMVM se solicitó información a través de sistema INFOMEX a cada uno de los departamentos que operan los transportes (e.g. Sistema de Transporte Colectivo- Metro, Servicio de Transportes Eléctricos –STE, Red de Transporte de Pasajeros-RTP, Metrobús y la Secretaría de Movilidad), así mismo los datos obtenido fueron complementados con encuestas a operadores sobre el consumo energético de los vehículos.

Metro:

El Metro consume energía eléctrica, y de acuerdo con información del STC un tren (9 carros) de Metro consume $0.5065\ \frac{KWH}{pax}$ por lo cual, para obtener el consumo total del sistema Metro en cada CETRAM tiene que contarse con las horas de operación del CETRAM, frecuencia y capacidad de pasajeros de los carros. Por lo tanto la fórmula para obtener la energía consumida para un tren de Metro queda de la siguiente forma:

$$CE = \frac{0.5065 * CV * FV * HO}{1000}$$

Donde:

CE : es el consumo energético del CETRAM en $\left(\frac{MWH}{día}\right)$

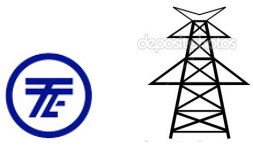
0.5065 : consumo energético por pasajero $\left(\frac{KWH}{pax}\right)$

CV : es la capacidad de pasajeros de los vehículos que arriban al CETRAM en $\left(\frac{pax}{veh}\right)$

FV : es la frecuencia de los vehículos que arriban al CETRAM en una hora $\left(\frac{veh}{hora}\right)$

HO : son las horas que opera el CETRAM en el día $\left(\frac{horas}{día}\right)$

1000: se divide entre mil para pasar de KWHa MWH

Tren Ligero y Trolebús: 

El Tren Ligero y el Trolebús consumen energía eléctrica, y de acuerdo con información del STE un carro un Trolebús consume $7425\ \frac{KWH}{día}$ y un Tren Ligero consume $18592\ \frac{KWH}{día}$ por lo cual, para obtener el consumo total de los vehículos del STE en cada CETRAM tiene que contarse con la frecuencia de estos. Por lo tanto las fórmulas quedan de la siguiente forma:

Trolebús:

$$CE = \frac{7425 * FV}{1000}$$

Donde:

CE : es el consumo energético del CETRAM en $\left(\frac{MWH}{día}\right)$

7425 : consumo energético por trolebús en un día $\left(\frac{KWH}{día}\right)$

FV : es la frecuencia de los vehículos que arriban al CETRAM en un día $\left(\frac{veh}{día}\right)$

1000: se divide entre mil para pasar de KWHa MWH

Tren Ligero:

$$CE = \frac{18592 * FV}{1000}$$

Donde:

CE : es el consumo energético del CETRAM en $\left(\frac{MWH}{día}\right)$

18592 : consumo energético por Tren Ligero en un día $\left(\frac{KWH}{día}\right)$

FV : es la frecuencia de los vehículos que arriban al CETRAM en un día $\left(\frac{veh}{día}\right)$

1000: se divide entre mil para pasar de KWHa MWH

RTP Ordinario, Expreso y Atenea:

Los autobuses RTP consumen gasolina diesel, y de acuerdo con la información de RTP un autobús consume en promedio $360\ \frac{litros}{día}$, por lo cual, para obtener el consumo total de energía de los vehículos en cada CETRAM tiene que contarse con la frecuencia de estos y una serie de conversiones y propiedades de los combustibles. Por lo tanto las fórmulas quedan de la siguiente forma:

PROPIEDADES DE COMBUSTIBLES			
MAGNA			
Kg	Kcal	DENSIDAD	
1	11109.98	0.76	Kg/L
DIESEL			
Kg	Kcal	DENSIDAD	
1	11109.98	0.832	Kg/L
GAS LP			
Kg	Kcal	DENSIDAD	
1	11,823.86	0.6	Kg/L

CONVERSIONES	
Kcal	KJ
1	4.1868
KWH	KJ
1	3600

$$CE = \frac{L * FV * 0.832 * 11109.98 * 4.1868}{3600 * 1000}$$

Donde:

CE : es el consumo energético del CETRAM en $\left(\frac{MWH}{día}\right)$

L : litros de diesel consumidos en un día $\left(\frac{L}{día}\right)$

FV : es la frecuencia de los vehículos que arriban al CETRAM en un día $\left(\frac{veh}{día}\right)$

0.832 : densidad del diesel $\left(\frac{kg}{L}\right)$

11109.98 : es la conversión de kg a kcal

4.1868 : es la conversión de kcal a KJ

3600: se divide entre tresmilseiscientos para pasar de KJa KWH

1000: se divide entre mil para pasar de KWHa MWH

RTP Ecobús:

Los autobuses RTP consumen gasolina diesel, y de acuerdo con la información de RTP un autobús consume en promedio $60\ \frac{litros}{día}$, por lo cual, para obtener el consumo total de energía de los vehículos en cada CETRAM tiene que contarse con la frecuencia de estos y una serie de conversiones y propiedades de los combustibles. Por lo tanto las fórmulas quedan de la siguiente forma:

$$CE = \frac{L * FV * 0.832 * 11109.98 * 4.1868}{3600 * 1000}$$

Donde:

CE : es el consumo energético del CETRAM en $\left(\frac{MWH}{día}\right)$

L : litros de diesel consumidos en un día $\left(\frac{L}{día}\right)$

FV : es la frecuencia de los vehículos que arriban al CETRAM en un día $\left(\frac{veh}{día}\right)$

0.832 : densidad del diesel $\left(\frac{kg}{L}\right)$

11109.98 : es la conversión de kg a kcal

4.1868 : es la conversión de kcal a KJ

3600: se divide entre tresmilseiscientos para pasar de KJa KWH

1000: se divide entre mil para pasar de KWHa MWH

Metrobús y Mexibús:

Los autobuses BRT (Bus Rapid Transit) consumen gasolina diesel, y de acuerdo con la información de Metrbús y Mexibús un autobús biarticulado consume en promedio 450 $\frac{litros}{día}$, por lo cual, para obtener el consumo total de energía de los vehículos en cada CETRAM tiene que contarse con la frecuencia de estos y una serie de conversiones y propiedades de los combustibles. Por lo tanto las fórmulas quedan de la siguiente forma:

$$CE = \frac{L * FV * 0.832 * 11109.98 * 4.1868}{3600 * 1000}$$

Donde:

CE : es el consumo energético del CETRAM en $\left(\frac{MWH}{día}\right)$

L : litros de diesel consumidos en un día $\left(\frac{L}{día}\right)$

FV : es la frecuencia de los vehículos que arriban al CETRAM en un día $\left(\frac{veh}{día}\right)$

0.832 : densidad del diesel $\left(\frac{kg}{L}\right)$

11109.98 : es la conversión de kg a kcal

4.1868 : es la conversión de kcal a KJ

3600: se divide entre tresmilseiscientos para pasar de KJa KWH

1000: se divide entre mil para pasar de KWHa MWH

Autobuses, microbuses y vagonetas:

Los autobuses son los que tienen más consumo de diesel, 600 $\frac{litros}{día}$ en promedio, por otra parte los microbuses consumen gas LP, 140 $\frac{litros}{día}$ en promedio, y finalmente las vagonetas consumen gasolina magna, 33 $\frac{litros}{día}$ en promedio, por lo tanto debe contarse con las propiedades de estos combustibles y su frecuencia en los CETRAM para así obtener la energía que consumen. Las fórmulas quedan de la siguiente forma:

Autobuses:

$$CE = \frac{L * FV * 0.832 * 11109.98 * 4.1868}{3600 * 1000}$$

Donde:

CE : es el consumo energético del CETRAM en $\left(\frac{MWH}{día}\right)$

L : litros de diesel consumidos en un día $\left(\frac{L}{día}\right)$

FV : es la frecuencia de los vehículos que arriban al CETRAM en un día $\left(\frac{veh}{día}\right)$

0.832 : densidad del diesel $\left(\frac{kg}{L}\right)$

11109.98 : es la conversión de kg a kcal

4.1868 : es la conversión de kcal a KJ

3600: se divide entre tresmilseiscientos para pasar de KJa KWH

1000: se divide entre mil para pasar de KWHa MWH

Microbuses:

$$CE = \frac{L * FV * 0.6 * 11823.86 * 4.1868}{3600 * 1000}$$

Donde:

CE : es el consumo energético del CETRAM en $\left(\frac{MWH}{día}\right)$

L : litros de gas LP consumidos en un día $\left(\frac{L}{día}\right)$

FV : es la frecuencia de los vehículos que arriban al CETRAM en $\left(\frac{veh}{día}\right)$

0.6 : densidad del gas LP $\left(\frac{kg}{L}\right)$

11823.86 : es la conversión de kg a kcal

4.1868 : es la conversión de kcal a KJ

3600: se divide entre tresmilseiscientos para pasar de KJa KWH

1000: se divide entre mil para pasar de KWHa MWH

Vagonetas:

$$CE = \frac{L * FV * 0.76 * 11109.98 * 4.1868}{3600 * 1000}$$

Donde:
CE : es el consumo energético del CETRAM en $\left(\frac{MWH}{día}\right)$
L : litros de gasolina magna consumidos en un día $\left(\frac{L}{día}\right)$
FV : es la frecuencia de los vehículos que arriban al CETRAM en un día $\left(\frac{veh}{día}\right)$
0.76 : densidad de la gasolina magna$\left(\frac{kg}{L}\right)$

11109.98 : es la conversión de kg a kcal

4.1868 : es la conversión de kcal a KJ

3600: se divide entre tresmilseiscientos para pasar de KJa KWH

1000: se divide entre mil para pasar de KWHa MWH

Finalmente de esta tesis se obtiene la siguiente tabla, la cual muestra cual es el consumo energético en $\left(\frac{KWH}{hora}\right)$ de cada uno de los modos de transporte estudiados:

Tabla A-3. Consumo energético por sector de transporte

Sector	Consumo energético (KWH/hora)
Tren de Metro (con 9 carros)	739
Tren Ligero (doble cabina)	1004
Metrobús biarticulado	254
Mexibús biarticulado	254
Trolebús	401
RTP	203
RTP Eco	34
Autobuses	381
Microbuses	67
Vagonetas	20

Fuente: elaboración propia

Cálculo para obtener la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) generado por el transporte público:

Para obtener el dióxido de carbono generado por los modos de transportes de la ZMVM se tomó como referencia los estudios de Sheinbaum-Pardo (2014), en los cuales relaciona el consumo energético, distancia recorrida y año de los vehículos para obtener las emisiones de estos en el año 2008. En esta tesis se asumieron los mismos factores que Sheinbaum-Pardo utilizó para el cálculo de las emisiones. Se muestran en la tabla A-5.

De igual forma se presenta la tabla A-6 recibida por parte de la Secretaría del Medio Ambiente de la CDMX en la cual se muestran las emisiones que generan los distintos modos de transporte presentes en la ciudad. La comparación de ambas tablas justifica las fórmulas y valores utilizados para el cálculo de las emisiones totales.

La fórmula utilizada es la siguiente:

$$ECO_2 = \sum_{j\,i\,t} V_{ijt} * d_{ijt} * fe_{ijt} * EF_{jt}$$

Donde:

ECO_2 : son las emisiones de CO_2 en $\left(\frac{ton}{día}\right)$

V_{ijt} : litros del combustible consumido por vehículo en un día $\left(\frac{L}{día}\right)$

EF_{jt}: es el factor de emisión en $\left(\frac{g}{J}\right)$

d_{ijt} : es la distancia recorrida promedio en un día por el vehículo (km)

fe_{ijt} : es la frecuencia de los vehículos que arriban en el CETRAM en un día $\left(\frac{veh}{día}\right)$

Tabla A-4. Distancia promedio del transporte en la ZMVM

Sector	Cantidad (km)
Metrobús biarticulado	100
Mexibús biarticulado	100
RTP	100
RTP Eco	100
Autobuses	111
Microbuses	200
Vagonetas	200

Fuente: Sheinbaum Pardo (2014) y elaboración propia

Para estimar las emisiones de dióxido de carbono por día y por modo de transporte para un día se calcula el consumo de energía por modo y por combustible y se utilizan los factores de emisión del IPCC. En este caso, se usan los factores de emisión de la metodología 1996, dado que es hasta ahora, la aprobada por la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas (Sheinbaum Pardo, 2014).

Tabla A-5. Factores de emisión de CO_2

Combustible	Cantidad (g/J)
Gas LP	62.43
Gasolinas	68.60
Diesel	73.33

Fuente: Sheinbaum Pardo (2014) y elaboración propia

Cabe mencionar que las siguientes emisiones son del total de vehículos del transporte público que operan de forma cotidiana en la Ciudad de México.

Tabla A-6. Emisiones por sector de transporte en la CDMX

Sector	**Emisiones [ton/día]**
	CO_2
Vagonetas y Combis	321
Microbuses	3,111
Autobuses	3,062
Metrobús	137
Transportes eléctricos (Trolebús y Tren Ligero)	84
SCT- Metro	1,831
Total	**8,547**

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente de la CDMX

Cálculo para obtener la cantidad de carbono negro (BC) generado por el transporte público:

Para obtener el carbono negro generado por los modos de transportes de la ZMVM se tomó como referencia los estudios de Otazo-Sánchez (2015) el cual habla sobre las implicaciones que tiene el carbono negro y otros gases contaminantes provienentes de la ZMVM. El carbono negro es un compuesto contaminante, éste se forma a partir de una combustión ineficiente de productos fósiles y biomasa (Otazo-Sánchez, 2015). De acuerdo con el mismo autor este gas se presenta únicamente en unidades de vehículos ineficientes, viejos y sin mantenimiento. Este gas es causante de una gran pérdida de visibilidad y tiene efectos negativos en la salud humana. De acuerdo con Otazo-Sánchez existe una fuerte correlación entre las partículas de BC y efectos como el cáncer y enfermedades en las vías respiratorias, dañando igualmente órganos vitales como el cerebro y el corazón. En esta tesis se asumieron los mismos factores que Otazo-Sánchez utilizó para el cálculo de las emisiones de BC. Se muestran en la tabla A-7.

Tabla A-7. Factor del carbono negro

Sector	Combustible utilizado	Factor de conversión (ton/m^3)
Autobuses	Diesel	0.85
Microbuses	Gas LP	0.54
Vagonetas	Magna	0.707

Fuente: Otazo-Sánchez (2015) y elaboración propia

Por lo tanto la fórmula utilizada es la siguiente:

$$EBC = \frac{L * FV * FC}{1000}$$

Donde:

EBC : son las emisiones de BC en $\left(\frac{ton}{día}\right)$

L : litros del combustible consumido por vehículo en un día $\left(\frac{L}{día}\right)$

FV : es la frecuencia de los vehículos que arriban al CETRAM en un día $\left(\frac{veh}{día}\right)$

FC : es el factor de conversión de cada combustible $\left(\frac{ton}{m^3}\right)$

1000: se divide entre mil para pasar de $litros$ a $metros\ cúbicos$

Encuestas realizadas a usuarios respecto al servicio de los CETRAM:

Fecha: 15 de julio de 2016
Encuestador: Luis
Hora de inicio: 10:30 am
Hora de fin: 11:10 am

CETRAM Universidad:

¿La estación Universidad cumple con tus necesidades de movilidad, es decir hay suficientes rutas o línea del metro que te lleven al destino deseado?

Si	No

¿En horas pico cuanto tiempo esperas un vehículo o metro? (tomando en cuenta el tiempo que espera parado y el tiempo que tarda en arrancar el vehículo)

1-5 min (Poco)	6-14 min (Normal)	Más de 15 min (Mucho)

¿Qué nivel de satisfacción tiene usted con el CETRAM de acuerdo a los servicios de movilidad y su organización en general que le ofrece, de una escala de 1 a 5, donde 1 es lo peor y 5 excelente?

1	2	3	4	5

Justificación de la inclusión de la variable Estacionamientos (E) en la dimensión social:

Tabla A-8. Variable estacionamientos (E) en la dimensión social

NO	DMU	SBM-OO-REV **CON Est.**	SBM-OO-REV **SIN Est.**	DIMENSIÓN SOCIAL						Grupos
				INPUTS				OUTPUTS		
		Score	**Score**	**M. Transport.**	**Est.**	**TT**	**AU**	**SS**	**Pax. Atendidos**	
1	Pantitlán	1	1	4	1	8,75	60	60	1,100,000	Grupo A
2	I. Verdes	1	1	4	1	12,5	40	40	950,000	
3	Tasqueña	1	1	5	300	6	60	60	750,000	
4	Chapultepec	1	1	4	1	18,5	40	60	500,000	
5	Cuatro Cam.	0,695	0,8	3	1	12	40	60	480,000	
6	El Rosario	1	1	5	1	10	60	80	230,000	
7	Universidad	0,309	0,543	3	7	8.5	20	60	200,000	
8	Const. 1917	0,286	0,445	3	1	7	40	40	200,000	
9	Zaragoza	0,224	0,321	3	1	6.5	40	20	185,000	
10	C. Azteca	1	1	3	250	8	100	80	180,000	
11	B. P. Aéreo	0,207	0,223	4	1	6	20	40	135,000	
12	M. Carrera	0,54	0,54	5	1	10	40	40	135,000	
13	Tacuba	0,174	0,471	3	1	4.5	20	20	130,000	
14	Politécnico	0,204	0,008	3	20	9	40	60	120,000	
15	Zapata	0,667	0,667	4	1	10	60	80	115,000	
16	La Raza	0,181	0,181	4	2	6.5	20	40	115,000	
17	Tacubaya	0,2	0,65	4	1	11	40	40	115,000	
18	Observatorio	1	0,543	2	200	20,8	40	40	85,000	
19	M. A. Q.	0,131	0,131	4	1	6,2	20	40	80,000	
20	Santa Marta	0,119	0,119	3	1	7,5	40	20	80,000	
21	San Lázaro	1	1	4	300	3,5	60	80	75,000	Grupo B
22	Viveros	1	1	2	1	12	20	20	65,000	
23	Moctezuma	1	0,621	4	50	5,8	40	60	50,000	
24	C. Abastos	0,7	0,7	2	100	7,5	40	40	45,000	
25	Tepalcates	1	0,673	4	30	6,2	60	40	45,000	
26	D. 18 Marzo	1	1	3	1	10	20	40	45,000	
27	Potrero	0,732	0,732	3	1	8,2	20	60	30,000	
28	Huipulco	0,499	0,499	3	1	8,5	40	40	20,000	
29	Mixcoac	0,61	0,61	4	1	7	40	60	15,000	
30	Dr. Gálvez	1	1	3	1	12	20	60	12,000	
31	Ferroplaza	0,242	0,242	4	15	3,5	40	40	12,000	
32	VillaCantera	0,26	0,26	3	1	5,5	40	40	12,000	
33	Iztapalapa	0,311	0,311	3	1	5	40	80	10,000	
34	Balbuena	0,15	0,15	3	5	3,1	40	20	8,000	
35	B. Muerto	1	1	3	5	8,5	40	80	6,000	
36	Xochimilco	0,077	0,077	3	1	4	40	60	3,000	
37	Refinería	0,069	0,3	3	15	6,5	20	60	2,500	
38	Coyuya	1	1	4	1	9,5	40	60	1,200	
39	Santa Anita	0,072	0,2	2	30	7	40	80	1,000	

Fuente: elaboración propia

Se observa como la variable de estacionamientos es importante en el rendimiento de algunos CETRAM, en el caso de Observatorio, Moctezuma y Tepalcates se pierde flexibilidad en la combinación que podían hacer de sus recursos para alcanzar la eficiencia. Otros en cambio aumentan su eficiencia, como Cuatro Caminos o Zaragoza, pues dejó de ser esta variable un requirimiento en la operación.

Justificación de la exclusión de la variable emisiones de carbono negro (EBC) en la dimensión ambiental:

Tabla A-9. Variable emisiones de carbono negro (EBC) en la dimensión ambiental

NO	DMU	SBM-OI-REV **SIN BC**	SBM-OI-REV **CON BC**	**DIMENSIÓN AMBIENTAL**						Grupos
				INPUTS				OUTPUTS		
		Score	**Score**	**A. Transferencia**	**PA**	**TT**	**EC**	**EBC**	**ECO2**	
1	Pantitlán	0,315	0,315	88,949	1,100,000	8,75	55,217	19,28	150,80	Grupo A
2	I. Verdes	0,59	0,59	64,714	950,000	12,5	12,938	22,48	186,63	
3	Tasqueña	0,406	0,406	38,006	750,000	6	62,148	8,02	62,51	
4	Chapultepec	0,317	0,317	30,233	500,000	18,5	37,989	11,39	79,73	
5	Cuatro Cam.	1	1	93,470	480,000	12	12,479	9,93	21,99	
6	El Rosario	0,449	0,449	41,699	230,000	10	34,944	9,91	68,87	
7	Universidad	0,502	0,502	22,587	200,000	8,5	33,567	8,04	77,57	
8	Const. 1917	1	1	38,973	200,000	7	12,833	11,33	63,22	
9	Zaragoza	0,82	1	19,443	185,000	6,5	18,132	4,02	88,69	
10	C. Azteca	0,629	0,629	36,000	180,000	8	23,367	6,03	34,85	
11	B. P. Aéreo	1	1	10,538	135,000	6	18,443	9,64	47,17	
12	M. Carrera	0,444	0,444	19,312	135,000	10	54,907	2,46	84,21	
13	Tacuba	1	1	11,400	130,000	4,5	27,789	2,39	23,59	
14	Politécnico	0,605	0,605	14,930	120,000	9	28,125	2,48	28,18	
15	Zapata	0,535	1	8,734	115,000	10	39,363	1,55	21,27	
16	La Raza	0,508	0,508	20,296	115,000	6,5	83,933	5,76	32,89	
17	Tacubaya	0,476	0,476	4,702	115,000	11	64,243	2,63	55,18	
18	Observatorio	1	1	15,928	85,000	20,8	17,044	4,48	21,34	
19	M. A. Q.	1	1	976	80,000	6,2	28,106	1,69	8,20	
20	Santa Marta	1	1	23,769	80,000	7,5	16,189	6,16	29,51	
21	San Lázaro	0,32	0,32	17,914	75,000	3,5	66,559	11,98	82,21	Grupo B
22	Viveros	0,627	0,627	1,357	65,000	12	14,081	2,24	18,79	
23	Moctezuma	0,587	0,587	851	50,000	5,8	17,670	3,74	38,75	
24	C. Abastos	1	1	16,058	45,000	7,5	884	5,16	36,31	
25	Tepalcates	0,308	0,308	7,246	45,000	6,2	36,106	2,84	34,60	
26	D. 18 Marzo	0,22	0,22	10,307	45,000	10	50,957	5,03	54,76	
27	Potrero	0,285	0,285	7,053	30,000	8,2	41,328	3,79	46,10	
28	Huipulco	0,333	0,333	16,182	20,000	8,5	32,013	6,58	46,16	
29	Mixcoac	0,371	0,371	8,902	15,000	7	38,607	1,38	11,05	
30	Dr. Gálvez	0,313	0,313	6,861	12,000	12	45,647	2,64	36,62	
31	Ferroplaza	0,584	0,584	5,063	12,000	3,5	25,442	1,57	12,46	
32	VillaCantera	0,552	1	1,852	12,000	5,5	25,817	0,19	10,45	
33	Iztapalapa	1	1	4,818	10,000	5	11,709	0,4	3,76	
34	Balbuena	1	1	588	8,000	3,1	17,019	0,77	6,81	
35	B. Muerto	0,692	0,692	2,242	6,000	8,5	14,131	0,45	3,37	
36	Xochimilco	1	1	4,566	3,000	4	38,005	0,52	3,85	
37	Refinería	1	1	1,376	2,500	6,5	13,720	0,16	1,20	
38	Coyuya	0,715	0,715	7,430	1,200	9,5	53,213	0,61	15,10	
39	Santa Anita	1	1	6,799	1,000	7	19,968	0,15	1,67	

Fuente: elaboración propia

Al estar estrechamente relacionada la variable ECO_2 con la BC no es necesario incluir a la segunda en el modelo, pues se obtienen prácticamente los mismos resultados. Se asume que si un CETRAM genera altas emisiones de CO_2 lo hará de igual forma con el BC.

Mapa de las redes modales existentes en la ZMVM y su interacción con los CETRAM:

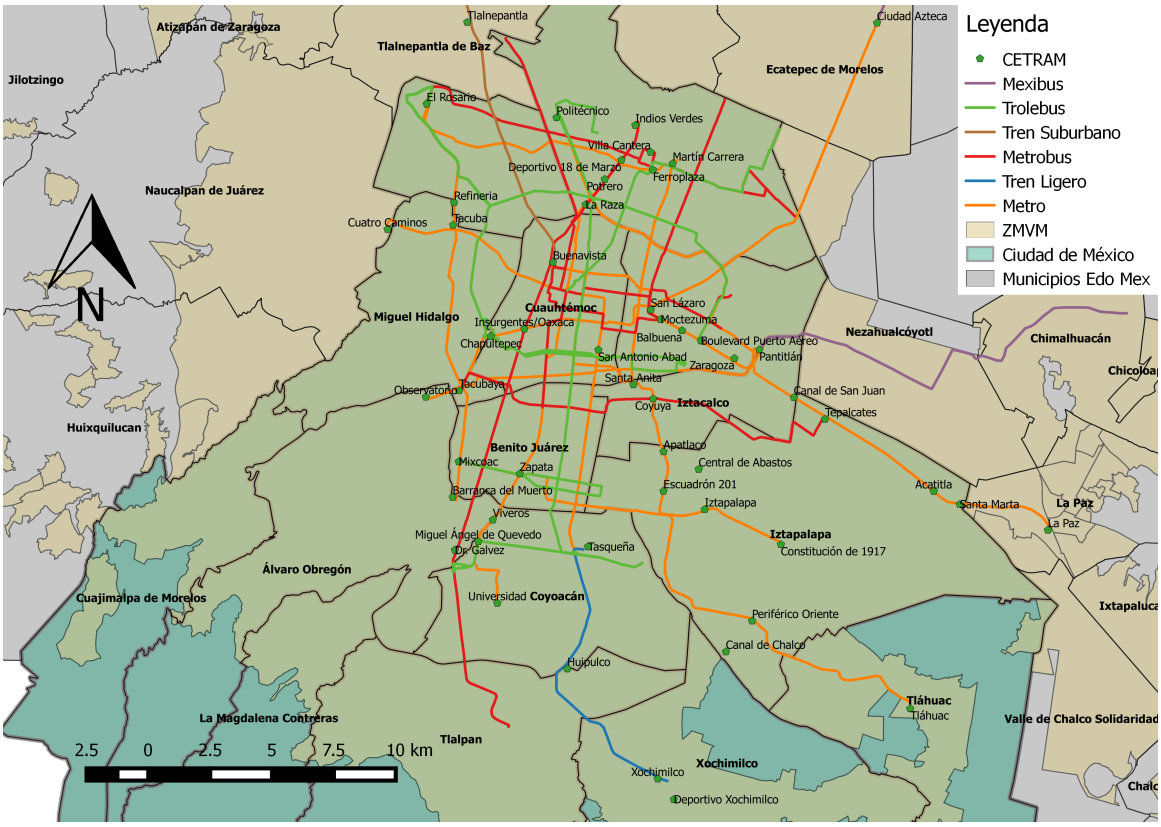


Figura A-1. Redes modales existentes en la ZMVM y su interacción con los CETRAM.
Fuente: INEGI y elaboración propia

Artículo **Modeling urban transfer stations efficiency** publicado por ElSevier en el Congreso Internacional *"ANT 2016 : The 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies"* en Madrid, España.

Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Procedia Computer Science 83 (2016) 18 – 25

Procedia Computer Science

The 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2016)

Modeling urban transfer stations efficiency

Azucena Román-De la Sancha[a], Juan M. Mayoral[b] *, Luis I. Román[c]

[a]*Graduate student, Institute of Engineering, National Autonomus University of Mexico, Building N° 4, P.O. Box 04510, Mexico City, Mexico*
[b]*Researcher, Institute of Engineering, National Autonomus University of Mexico, Building N° 4, P.O. Box 04510, Mexico City, Mexico*
[c]*Undergraduate student, Institute of Engineering, National Autonomus University of Mexico, Building N° 4, P.O. Box 04510, Mexico City, Mexico*

Abstract

Efficiency estimation of transit transfer stations (TTS) in densely populated urban areas is a mandatory step to define proper sustainable public transportation networks. However, due to the lack of data and the complexity of the operation patters, efficiency assessment is a cumbersome task in practice. This paper presents a novel approach to establish relative efficiencies in order to optimize TTS operation and design. Using the Data Envelopment Analysis method (DEA) three key efficiency dimensions are studied, which corresponds to the pillars of sustainability: technical, social and environmental. Efficiencies were computed using a database generated including 39 TTS located in Mexico City Metropolitan Area. Results show that none of the stations analysed are completely efficient considering the three dimensions simultaneously. Technically efficient TTS are those attending the highest number of passengers in a smallest given area. Social efficient TTS are those that provide enough services, such as automatization, multiple transport modes, and low transfer time, leading to high levels of users satisfaction. Finally, environmental efficient TTS correspond to those registering low values of air polluting emissions per passenger mainly due to the presence of non-oil fuel transport modes. In developing countries in Latin American and Asia, the application of this kind of models represent an excellent tool for the computation and understanding of TTS operations.

© 2016 The Authors. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).
Peer-review under responsibility of the Conference Program Chairs

Keywords: Data Envelopment Analysis; Transit transfer stations; Mexico City; Urban transit; Efficiency evaluation

* Corresponding author. Tel.: +52 (55) 56233600 (Ext. 8469)
E-mail address: jmayoralv@iingen.unam.mx

1877-0509 © 2016 The Authors. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).
Peer-review under responsibility of the Conference Program Chairs
doi:10.1016/j.procs.2016.04.094