



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

MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO DE PROYECTOS CON LA MODALIDAD DE
MANTENIMIENTO, REHABILITACIÓN Y OPERACIÓN (MRO), MEDIANTE EL ANÁLISIS
ENVOLVENTE DE DATOS (DEA)

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

PRESENTA:

LESLIE VANESSA SANDOVAL REYES

TUTOR PRINCIPAL
DR. RICARDO ACEVES GARCÍA, FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD DE MÉXICO. DICIEMBRE 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M.I. Sergio Zúñiga Barrera

Secretario: Dra. Zaida Estefanía Alarcón Bernal

Vocal: Dr. Ricardo Aceves García

1 er. Suplente: Dr. José Antonio Rivera Colmenero

2 do. Suplente: Dr. Manuel del Moral Dávila

Lugar donde se realizó la tesis: Ciudad Universitaria, Ciudad de México.

TUTOR DE TESIS:

DR. RICARDO ACEVES GARCÍA

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por seguir creyendo en mí al transcurrir los años, por hacerme sentir su cobijo en todo momento aún con la distancia, porque gracias a su esfuerzo, dedicación e incluso sacrificio hoy soy la mujer en la que me he convertido; la vida me brinda nuevamente la oportunidad de agradecerles infinitamente todo lo que han hecho por mí y sinceramente no existen palabras con las que pueda expresar mi gratitud por su amor y apoyo incondicional.

A esa persona especial, que me brindó su mano una vez más y me alentó a seguir adelante en este nuevo reto, a pesar del impacto que tendría en nuestra familia, por apoyarme cada instante y por trabajar en equipo como lo hemos hecho desde hace tantos años, por tolerar mis malos ratos y momentos de crisis, por no soltar mi mano aún cuando la oscuridad fue mayor; sencillamente por ser mi compañero de vida.

A mi hijo, mi niño, Damián... Por su comprensión aún a su corta edad, por cederme parte de su tiempo para ver culminado este sueño, por enseñarme que mi corazón tiene la capacidad de amar sin límites, porque con este proyecto busco transmitirte que en la vida siempre debemos tener sueños y retos que cumplir y no dejar de luchar hasta alcanzarlos; deseo que este trabajo te sirva como motivación para algún día encontrar tu propio camino.

A mi abuelita Feli, por permitirme invadir nuevamente su espacio y abrirme las puertas de su casa en este tiempo, por darme la oportunidad de ahora ser yo quien le brindó mis cuidados y atenciones.

Al Dr. Aceves, por todos los conocimientos que me transmitió en la maestría y su tiempo en la dirección de esta tesis.

A la UNAM, por arroparme una vez más como alumna y brindarme las herramientas necesarias para seguir creciendo como profesionista, además de otorgarme la beca que fue un valioso apoyo económico.

ÍNDICE

I. RESUMEN.....	1
II. ABSTRACT.....	2
III. INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO 1. ESQUEMAS APP DE FINANCIAMIENTO CARRETERO.....	6
2.1 ESQUEMAS DE FINANCIAMIENTO APP EN MÉXICO.....	10
2.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ESQUEMAS DE FINANCIAMIENTO APP.....	32
CAPÍTULO 2. FORMULACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	34
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	40
2.2 IMPORTANCIA DEL PROBLEMA.....	41
2.3 OBJETIVO GENERAL.....	42
2.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	42
2.5 METAS.....	42
2.6 HIPÓTESIS.....	42
2.7 ÁRBOL DE OBJETIVOS.....	43
CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL DEL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS (DEA).....	44
3.1 GENERALIDADES DEL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS (DEA).....	44
3.2 ESTADO DEL ARTE DEL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS (DEA).....	67
CAPÍTULO 4. PROPUESTA METODOLÓGICA.....	69
4.1 DEFINICIÓN DEL MODELO.....	70
4.2 DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE LAS UNIDADES TOMADORAS DE DECISIÓN (DMUs).....	71
4.3 DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE LAS VARIABLES DE ENTRADA “INPUTS” Y VARIABLES DE SALIDA”OUTPUTS”.....	73
CAPÍTULO 5. ESTUDIO DE CASO.....	74
5.1 APLICACIÓN DEL MODELO DEA.....	75
5.2 PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	92
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....	107
IV. GLOSARIO.....	110
V. BIBLIOGRAFÍA.....	112

I. RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo realizar la evaluación de la eficiencia productiva mediante el Análisis Envolvente de Datos (Data Envelopment Analysis – DEA por sus siglas en inglés), del esquema de Asociaciones Público Privada (APP) aplicado al modelo de Mantenimiento, Rehabilitación y Operación (MRO), con la finalidad de contar con una herramienta que permita establecer mejores criterios que sirvan de apoyo en la planeación y toma de decisiones para los responsables de identificar, desarrollar y evaluar alternativas de inversión pública.

El método del Análisis Envolvente de Datos, implica el uso de métodos de programación lineal para construir una superficie o frontera no paramétrica envolvente de datos, que permite medir la eficiencia de un conjunto de unidades productivas o unidades tomadoras de decisión, brindando la posibilidad de considerar entradas y salidas multidimensionales.

Se plantea la problemática que se ha presentado en la estructuración de las APP en México, donde se enfatiza que la implementación de una APP no representa una solución mágica a los conflictos que tiene el país para el financiamiento y el desarrollo de proyectos de infraestructura, ya que se ha visto que estos esquemas implican un menor desembolso inicial de recursos por parte del sector público pero pueden no llegar a producir los beneficios que prometen principalmente para el sector privado, además de llegar a presentar conflictos derivados del proceso de creación de las APP como la corrupción y las previsiones poco confiables, lo que llega a tener un efecto perjudicial en el servicio ofrecido a la población.

Esta tesis se enfoca en realizar un análisis de eficiencia del modelo de Mantenimiento, Rehabilitación y Operación para el caso particular del Libramiento Oriente de Chihuahua, se emplea el Análisis Envolvente de Datos, tomando como base la información de los años 2019, 2020 y 2021, para determinar las eficiencias definidas como: económica, de prestación de servicio al cliente, de confort y seguridad del usuario y de funcionalidad, lo que permite conocer el comportamiento y desempeño real de este tipo de proyectos y, al mismo tiempo, identificar las áreas que son ineficientes para proporcionar los posibles elementos de mejora y evitar que el proyecto sea vulnerable.

II. ABSTRACT

The purpose of this research is to evaluate the productive efficiency of the Public-Private Partnership scheme applied to the Maintenance, Rehabilitation and Operation (MRO) model by means of Data Envelopment Analysis (DEA), in order to provide a tool to establish better criteria to support planning and decision making for those responsible for identifying, developing and evaluating public investment alternatives.

The Data Envelopment Analysis method involves the use of linear programming methods to construct a non-parametric data envelopment surface or frontier, which allows measuring the efficiency of a set of production units or decision making units, providing the possibility of considering multidimensional inputs and outputs.

The problems that have arisen in the structuring of PPPs in Mexico are discussed, where it is emphasized that the implementation of a PPP does not represent a magic solution to the conflicts that the country faces in the financing and development of infrastructure projects, It has been seen that these schemes imply a lower initial disbursement of resources by the public sector but may not produce the benefits they promise mainly for the private sector, in addition to presenting conflicts derived from the PPP creation process such as corruption and unreliable forecasts, which can have a detrimental effect on the service offered to the population.

This thesis focuses on performing an efficiency analysis of the Maintenance, Rehabilitation and Operation model for the particular case of the Libramiento Oriente de Chihuahua, the Data Envelopment Analysis is used, taking as a basis the information of the years 2019, 2020 and 2021, to determine the efficiencies defined as: Economic, customer service provision, user comfort and safety and functionality, which allows us to know the real behavior and performance of this type of projects and, at the same time, identify the areas that are inefficient to provide possible elements for improvement and prevent the project from being vulnerable.

III. INTRODUCCIÓN

Actualmente la necesidad de infraestructura y servicios demandados por la población superan los recursos destinados para satisfacerlos, razón por la cual se requiere implementar nuevos esquemas de financiamiento, involucrando al sector público y al sector privado para conseguir la provisión de bienes y servicios que la sociedad requiere y evitar que exista rezago en el crecimiento económico del país.

Los nuevos esquemas de financiamiento conocidos como Asociaciones Público Privadas (APP), son acuerdos contractuales de largo plazo entre el sector público y el sector privado, en donde el sector privado es el responsable de financiar, desarrollar la infraestructura y proveer un servicio que tradicionalmente era suministrado por el sector público; en esta modalidad se requiere que ambos sectores logren una sinergia para el éxito del proyecto a implementar, por lo que las principales características de las APP consisten en asignar correctamente los riesgos entre cada una de las partes involucradas, la generación de incentivos para reducir costos y mejorar la calidad del servicio, así como la obtención de un valor mayor por el dinero invertido en el proyecto.

Las APP en el ámbito carretero, consisten en formalizar una alianza entre el sector público y el sector privado, mediante la cual el sector público otorga a un particular el derecho a prestar un servicio público y a explotar bienes del dominio público durante el tiempo establecido en contrato, mismo que se encuentra sujeto a diversas condiciones que pretenden preservar el interés público; al concluir el plazo de contractual tanto la carretera como los derechos que fueron concesionados regresan al control directo del Estado.

La implementación de una APP para carreteras tiene diversas modalidades, cada una difiere en el nivel de riesgos y obligaciones que asumen los actores que participan en la estructuración del proyecto, el esquema que se presenta en este trabajo de tesis es el conocido como nuevo modelo de operación, el cual es una mezcla de un contrato de mantenimiento y de un contrato de operación basado en estándares de desempeño que se conoce como Mantenimiento, Rehabilitación y Operación (MRO), donde el sector privado tiene la obligación de operar, mantener y conservar los activos e infraestructura pública existente con altos niveles de servicio, sujetos al cumplimiento de estándares de desempeño los cuales son el conjunto de parámetros de calidad que permiten su seguimiento y evaluación periódica, y el sector público conserva la propiedad de las autopistas y garantiza la provisión de servicios para los usuarios con un mejor estado de conservación de las carreteras al tener un enfoque preventivo de mantenimiento y rehabilitación.

Dado que el uso de las APP en nuestro país se continúa proponiendo como una buena opción de financiamiento, y son consideradas como una excelente alternativa para la provisión de infraestructura, surge el presente trabajo de tesis que tiene el objetivo de utilizar una metodología para evaluar la eficiencia productiva en los nuevos modelos de operación conocidos comúnmente como MRO pertenecientes a los esquemas de APP, empleando el Análisis Envoltante de Datos (Data Envelopment Analysis – DEA, por sus siglas en inglés), con la finalidad de tener los elementos necesarios y determinar si la implementación mediante dicha modalidad es exitosa, sí las condiciones particulares del proyecto y del entorno en el que se desarrolla son favorables para brindar los beneficios que asegura proporciona el esquema, lo anterior, visto desde el funcionamiento interno del proyecto, es decir, desde una perspectiva interna del mismo.

El Análisis Envolvente de Datos es una técnica de programación matemática no paramétrica, es decir, sin parámetros previamente establecidos que obtiene una función de producción a partir de los datos de una muestra para determinar la eficiencia, estableciendo una superficie envolvente como frontera de eficiencia técnica de los datos; la técnica del DEA permite construir la frontera de eficiencia y brinda la posibilidad de medir la eficiencia relativa de cada unidad analizada respecto de la unidad más eficiente.

Existen al menos cuatro puntos de vista desde los cuales se pueden analizar los proyectos, el del inversionista que lo financia, el del propietario, el de la oficina presupuestal de gobierno y el de la sociedad; de tal forma que si al realizar un proyecto mejora la riqueza del dueño y mejora la riqueza de la sociedad se tendría el escenario ideal; cuando se prevé que la realización de un proyecto va a empobrecer tanto al dueño como al país en su conjunto, se opta por no realizar el proyecto; en países como el nuestro es frecuente que debido a las distorsiones existentes en los mercados de bienes y servicios, el sector privado realiza proyectos que a la larga resultan no ser rentables; lo que vuelve importante contar con una herramienta que permita conocer el desempeño productivo del proyecto estableciendo la eficiencia productiva que es la habilidad que se tiene para producir un producto a un costo mínimo, para minimizar el costo de producción la unidad productiva debe emplear la menor cantidad de insumos para producir un nivel determinado de producto, lo que se conoce como eficiencia técnica, y elegir la combinación de factores adecuada, es decir, la eficiencia de asignación, la cual está función del precio relativo de los factores. Dado que el concepto de eficiencia se encuentra relacionado con la economía de los recursos, con frecuencia se establece que la eficiencia es la relación que se tiene entre los resultados o productos obtenidos y los recursos o insumos utilizados.

Para el estudio de caso propuesto en este trabajo de investigación, se elige el proyecto bajo el esquema MRO del Libramiento Oriente de Chihuahua, el cual es considerado como una carretera tipo A2 y se ubica en la periferia de la ciudad de Chihuahua en el estado de Chihuahua, la vía permite que los vehículos transiten a lo largo de las carreteras federales número 16 y 45, sin tener que hacer escala en la ciudad de Chihuahua. El MRO del Libramiento Oriente de Chihuahua es un esquema de inversión de largo plazo, basado en estándares de desempeño por lo que concede la participación del sector privado a través de contratos plurianuales formalizados con el sector público, donde se otorga a particulares el derecho de operar, mantener, conservar y explotar una autopista de cuota existente, conservando altos niveles de servicio sujetos al cumplimiento de estándares de desempeño establecidos en el contrato que permiten su seguimiento y evaluación periódica; para cumplir los fines anteriores, el MRO cuenta con áreas internas que hacen posible su funcionamiento, de tal forma que se tienen las área de operación, de mantenimiento y rehabilitación, de accidentes, la unidad de autocontrol, de calidad y de administración.

Se emplea la metodología del DEA para realizar la medición del desempeño del esquema MRO correspondiente al Libramiento Oriente de Chihuahua, la utilización de la herramienta del DEA es adecuada en el análisis para conocer el desempeño eficiente de unidades productivas, ya que permite construir la frontera de eficiencia y brinda la posibilidad de medir la eficiencia relativa de cada unidad productiva evaluada que para el caso de estudio son consideradas las áreas internas del MRO, de tal manera que, es posible identificar los parámetros que se involucran directamente con el desempeño de este tipo de proyectos en función de la definición de indicadores técnicos, económicos y funcionales involucrados directamente con la ejecución del proyecto; lo anterior para cuantificar la eficiencia del proyecto.

Este trabajo considera el análisis de cuatro tipos de eficiencia con la finalidad de conocer el comportamiento desde diferentes enfoques del proyecto, las eficiencias a evaluar son: económica, de prestación de servicio al cliente, de confort y seguridad del usuario y de funcionalidad. El tener conocimiento del desempeño productivo del proyecto permite homogeneizar criterios que sirvan de apoyo en la planeación y toma de decisiones para los responsables de identificar, desarrollar y evaluar alternativas de inversión pública, así como identificar posibles estrategias de mejora en los principales factores que influyen en el desempeño en los proyectos MRO.

La utilización de la técnica del DEA es cada vez más recurrida para el cálculo de la eficiencia porque tiene la bondad de aplicarse a diversos sectores productivos ya sea públicos o privados, lo que permite la posibilidad de comparar unidades productivas o unidades tomadoras de decisión, incluso en áreas no tradicionales y complejas o en situaciones donde no existe claridad para determinar los elementos que podrían tener mayor peso o importancia, como es el caso de los proyectos MRO.

CAPÍTULO 1. ESQUEMAS APP DE FINANCIAMIENTO CARRETERO

El financiamiento¹, es un proceso en el cual una empresa obtiene los recursos necesarios para ejecutar un proyecto, permitiéndole ingresar al mercado financiero; en proyectos carreteros, son los recursos financieros que el Gobierno obtiene para cubrir un déficit presupuestario, y se establece a partir de una variada combinación de recursos públicos y privados, interviniendo en su obtención una amplia gama de instituciones.

De tal forma que si los recursos económicos propios son insuficientes para satisfacer las necesidades de inversión del proyecto es evidente que la realización del mismo es imposible, y la única forma de llevarlo a cabo es mediante el financiamiento, es decir, obteniendo recursos ajenos que ayuden a que el proyecto se ejecute con comodidad y seguridad, además de que ofrezca, de ser posible, los menores costos y un alto rendimiento de capital para que sea rentable.

La demanda de proyectos de infraestructura se ha incrementado considerablemente en los últimos años, sin embargo, la constante escasez de recursos públicos para satisfacer las necesidades crecientes de la población generó la búsqueda y aplicación de nuevos esquemas de financiamiento con la finalidad de que el Gobierno combata el déficit de infraestructura que se presenta en nuestro país.

Estos nuevos esquemas son conocidos como Asociaciones Público Privadas (APP), una APP es un acuerdo que surge entre los sectores público y privado, por ello deben trabajar en cooperación con la finalidad de proporcionar infraestructura pública y servicios que en el modelo tradicional de financiamiento son suministrados únicamente por el sector público.

El concepto de APP se creó en 1992 en Reino Unido; en dicha asociación el sector público firma un contrato a largo plazo para la prestación de servicios proporcionados por el sector privado, quien se encarga de diseñar, financiar, construir, mantener y operar los activos necesarios para prestar los servicios.

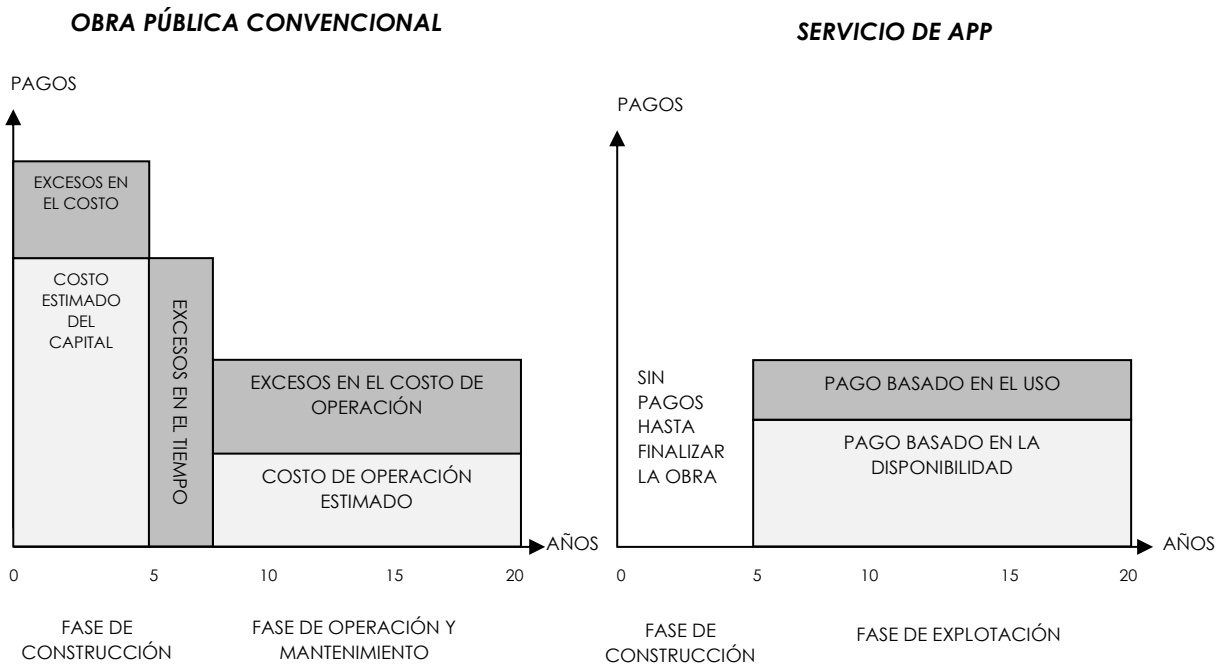
Las principales características de una APP son las siguientes:

- El sector privado determina los ingresos necesarios, lo cual incluye la infraestructura y conocimientos, para alcanzar el objetivo en común con el sector público.
- Se busca ofrecer el servicio requerido al nivel necesario durante todo el proyecto.
- El usuario, el proveedor del servicio y los principales financiadores comparten los mismos intereses a lo largo del desarrollo del proyecto.
- Se establece una relación estrecha, con objetivos claros entre los sectores público y privado que se fundamenta en la asociación en lugar de la confrontación, es decir, una relación en donde existe constante colaboración entre los sectores, confianza, transparencia y reconocimiento recíproco.
- Se asegura que se presten los servicios con calidad de forma constante.
- Estimula una buena relación precio-calidad lo cual implica que se tenga un enfoque a largo plazo y se exige la responsabilidad total de los riesgos durante un periodo largo.
- Tienen la gran flexibilidad de introducirse en la mayoría de los tipos de infraestructura, por lo que se adapta a las circunstancias y condiciones de cada proyecto.

¹ Sandoval Reyes, Leslie Vanessa. (2013) "PPS para mantenimiento de infraestructura carretera en el Estado de Guanajuato". Universidad Nacional Autónoma de México."

Una APP es recomendable para proyectos en los que al inicio se definan claramente las necesidades de servicio sin que varíen considerablemente a lo largo del proyecto; la naturaleza del proceso de una APP es buscar que se cumpla con la eficacia en la adquisición, con los presupuestos financieros y con el tiempo, factores que con frecuencia sobrepasan los contratos de servicios tradicionales como se puede apreciar en la figura 1.

Figura 1. Comparación entre perfiles de pago



Fuente: Elaboración propia con información de International Financial Services, London (IFSL).

Una APP busca entregar el servicio contratado en el tiempo solicitado y dentro del precio fijo acordado, el sector privado no recibe ningún pago hasta que el servicio está disponible para el usuario, por lo que el sector público sólo paga por el servicio una vez que es entregado y con el nivel de servicio que ha solicitado.

Los riesgos del proyecto se distribuyen entre las partes en forma óptima, logrando reducir su costo, se busca el financiamiento del sector privado y su capacidad de gestión a largo plazo, de esta forma se tienen tres principales tipos de riesgos, lo conocidos como riesgos retenidos son manejados por el sector público, aquí se encuentran los riesgos que se corren por la planeación, obtención de permisos, cambios regulatorios o liberación de afectaciones; los riesgos transferidos son los que le corresponden al sector privado, son riesgos propios del diseño, construcción, operación, mantenimiento o financiamiento; y finalmente los riesgos compartidos, dentro de los cuales se encuentra la inflación, protestas, hallazgos arqueológicos y algunos más de fuerza mayor, mismos que varían según el tipo de proyecto que se ejecute.

Las diversas formas de APP pueden ser un medio ideal para favorecer fines públicos si se satisfacen determinados requisitos ya que estos esquemas tienen como beneficios el mejorar el estado físico de la red de carretera federal, elevar la calidad del servicio ofrecido a los usuarios, aumentar la eficiencia y productividad de la presentación de servicios públicos y lograr hacer una adecuada distribución y administración de riesgos.

Los requisitos necesarios que se han detectado para un buen funcionamiento del esquema se muestran en la figura 2, se consideran los siguientes aspectos:

1. Un marco legal y un reglamento favorable. Los proyectos bajo la modalidad APP necesitan el respaldo de una legislación vigente, por lo que se requiere establecer la estructura jurídica; contar con la existencia de una ley sobre la materia que se pueda aplicar con rapidez; la eliminación de anomalías fiscales que puedan actuar contra las APP; y mejorar los controles públicos de inversión de capital para incluir las APP.

2. Un proyecto económicamente justificado. Es importante para el sector privado, ya que la única forma en que las empresas se muestren interesadas en licitar los contratos es que observen que la APP ofrece grandes oportunidades.

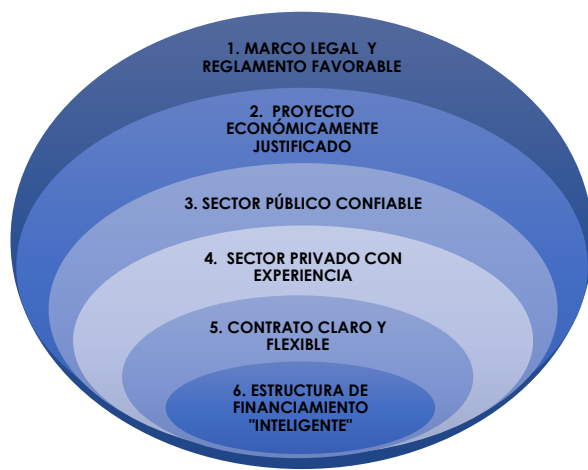
3. Un socio público confiable. El Gobierno requiere identificar los sectores y proyectos que deban tener prioridad en el proceso de la APP, por lo que es fundamental una revisión de la viabilidad del esquema antes de iniciar con el procedimiento para ejecutar una APP, ya que ofrece certidumbre y confianza al sector privado.

4. Un socio privado con experiencia. Para brindar confianza y seguridad al sector público, debe tener capacidad financiera, jurídica y técnica.

5. Un contrato claro y flexible. Que especifique cuales son las obligaciones de cada uno de los sectores para que no existan confusiones; un flujo regular y previsible de los contratos basado en los modelos de asignación de riesgo.

6. Una estructura de financiamiento inteligente. El Estado requiere de un socio que pertenezca al sector privado que diseñe, construya, opere, mantenga y financie la obra, además de que realice los estudios de mercado, técnicos, financieros, administrativos y legales que garanticen una propuesta adecuada para el cumplimiento del proyecto.

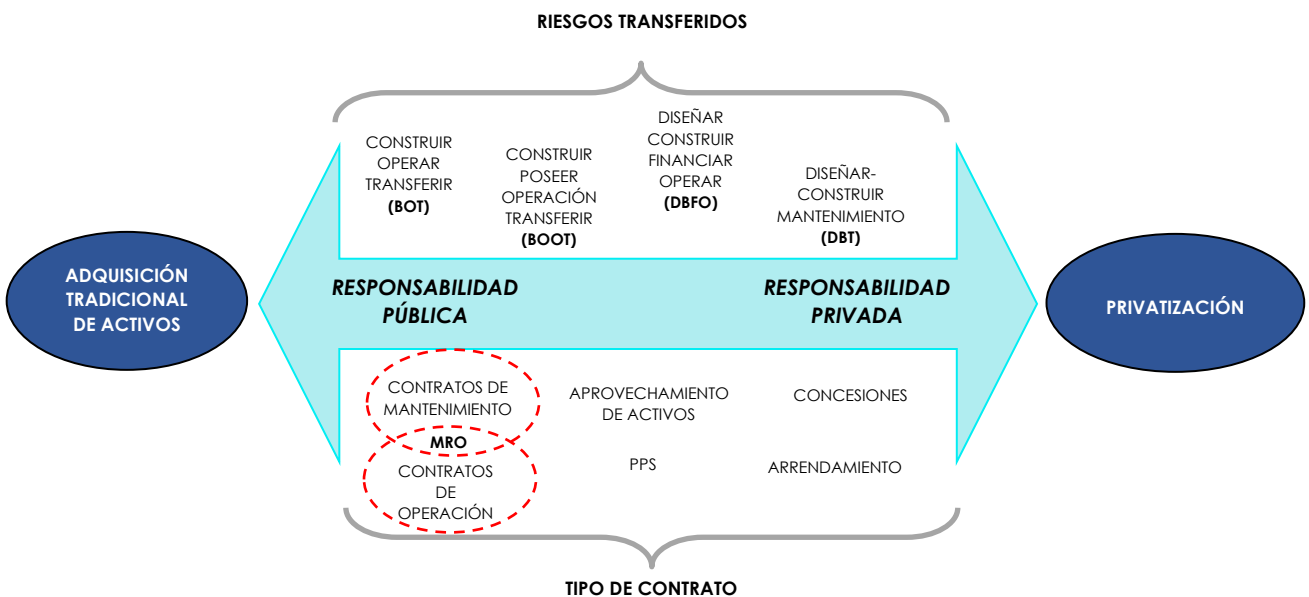
Figura 2. Requisitos para el correcto funcionamiento de una APP



Fuente: Elaboración propia con información de International Financial Services, London (IFSL).

En la actualidad existen diversos modelos que se adaptaron a las necesidades propias de cada contexto y a los activos que se poseen los cuales se aprecian en la figura 3, de tal forma que existen varias formas de llamarle a una APP en función de las actividades que involucre en su ejecución, como son: DB (Diseñar y Construir), DBFT (Diseñar, Construir, Financiar y Transferir), DBFM (Diseñar, Construir, Financiar y Mantener), DBO (Diseñar, Construir y Operar), BOT (Construir, Operar y Transferir), BOO (Construir, Operar y Poseer), DBM (Diseñar, Construir y Mantener), DBOM (Diseñar, Construir, Operar y Mantener), BOOT (Construir, Operar, Poseer y Transferir) y DBFO (Diseñar, Construir, Financiar y Operar), llamadas así por sus siglas en inglés; sin embargo, siguen siendo contratos de largo plazo entre el sector público y privado para la provisión de infraestructura pública y servicios.

Figura 3. Tipos de APP



Fuente: Elaboración propia con información de International Financial Services, London (IFSL).

En lo que se refiere a México, se han estructurado desde hace varios años diversos esquemas de inversión con la participación de los sectores público y privado, los Proyectos de Impacto Diferido en el Registro del Gasto (PIDIREGAS), generalmente empleados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Petróleos Mexicanos (PEMEX), dentro de ellos se encuentran los que se conocen como CAT (Construcción, Arrendamiento y Transferencia), OPF (Obra Pública Financiada) y PIE (Productor Independiente de Energía); además, se implementaron las concesiones, los Proyectos de Prestación de Servicios (PPS) y el aprovechamiento de activos; en este sentido, cabe resaltar que a partir del año 2012, se estructuró en nuestro país un nuevo modelo de operación, el cual fue una mezcla de un contrato de mantenimiento y de un contrato de operación basado en estándares de desempeño que se conoce como Mantenimiento, Rehabilitación y Operación (MRO), donde el sector público conserva la propiedad de las autopistas, garantiza la provisión de servicios para los usuarios con un mejor estado de conservación de las carreteras al tener un enfoque preventivo de mantenimiento y rehabilitación, con la participación del sector privado.

2.1 ESQUEMAS DE FINANCIAMIENTO APP EN MÉXICO

Durante los últimos años los recursos públicos del Gobierno se han destinado al desarrollo de infraestructura carretera lo que ha permitido contar con presupuestos importantes, sin embargo, han sido insuficientes para satisfacer las necesidades crecientes de la población; de tal forma que fueron diseñados algunos esquemas de financiamiento con participación público-privada para atraer capitales privados a la inversión en carreteras, dichos esquemas son los siguientes:

1. Concesiones
2. Proyectos de Prestación de Servicios (PPS)
3. Aprovechamiento de Activos
4. Modelo de Operación por Estándares de Desempeño (Mantenimiento, Rehabilitación y Operación MRO)

A través de estos esquemas se busca el crecimiento del país, mediante el desarrollo de infraestructura, el incremento de montos de inversión, la elevación de la calidad en los servicios proporcionados, la creación de espacios en los cuales pueda participar la iniciativa privada, la distribución y administración de los riesgos y finalmente optimizar la operación y el mantenimiento de carreteras, pero para que esto sea posible se requiere que exista colaboración entre los sectores público y privado para asegurar una oferta de servicios competitivos, accesibles para los usuarios y a la vez se logre la reducción de los costos para el sector público.

1. Concesiones

Esta modalidad estimula el cobro de tarifas accesibles para los usuarios con límites previamente establecidos por el Gobierno. En el esquema de concesiones para el desarrollo de infraestructura carretera se incluye la participación del sector privado, se ha considerado debido a que la mayoría de los tramos carreteros de cuota por construirse no son financieramente rentables por sí solos, es decir, necesitan la intervención del sector privado, por lo tanto, se requiere de la inversión de recursos públicos y privados mediante mezclas de capital de riesgo privado, créditos bancarios y recursos públicos, para hacer viable el financiamiento de infraestructura carretera cuya construcción, explotación, operación, conservación y mantenimiento queda a cargo del sector privado, mediante el otorgamiento de una concesión buscando que las tarifas a cobrar sean las mejores para los usuarios; esta unión permite obtener una tasa de rentabilidad razonable para el capital privado y un uso más eficiente de los recursos públicos.

Este tipo de APP, surge al reconocer la capacidad insuficiente que se tiene de generar los ingresos necesarios para cubrir el total de la inversión requerida y lograr la ejecución de las carreteras; por lo que se necesita aportar cierta cantidad de recursos para que los proyectos que sean concursados bajo este esquema sean financieramente viables y atractivos ante la inversión privada para recibir financiamiento a largo plazo.

Las concesiones se caracterizan porque pueden recibir una aportación de recursos fiscales con la finalidad de conseguir la rentabilidad financiera de los proyectos, tienen un plazo fijo de hasta de 30 años el cual es el máximo establecido en la ley de concesiones, con la finalidad de no forzar la velocidad del proyecto y el tiempo de recuperación del mismo, lo que permite la obtención del financiamiento a plazos óptimos posibles de obtener en el mercado; este modelo se puede dividir en cinco etapas conocidas como: planeación, concurso, obtención del financiamiento, construcción y operación.

La concesiones contemplan que el financiamiento de la construcción del proyecto proviene de tres fuentes principales, que son: el capital privado comprometido y aportado por la concesionaria, los créditos otorgados por las instituciones bancarias y finalmente por la aportación inicial obtenida del sector público; buscan fomentar la participación del financiamiento bancario privado nacional e internacional bajo plazos consistentes con los tiempos de maduración de los proyectos.

El esquema establece que el sector privado no tiene la obligación de repago ante la aportación inicial que utilizará en el proyecto y finalmente el sector público adquiere el compromiso de aportación subordinada que es un monto de respaldo que se utiliza para pagar la parte de los créditos que no sea posible cubrir con los flujos del propio proyecto.

2. Proyectos de Prestación de Servicios (PPS)

El esquema PPS se aplica principalmente a la modernización y el mantenimiento de caminos libres de peaje, constituye una forma de contratación de servicios para el Gobierno quien tiene la obligación de cumplir con el suministro de infraestructura pública y servicios a la población para satisfacer las necesidades que presenta el país apoyándose en la inversión privada.

La implementación de un PPS tiene como objetivo servir como alternativa para contratar a largo plazo los servicios proporcionados por empresas privadas; busca incrementar la infraestructura básica y prestar servicios públicos con una mayor calidad que de otro modo no podrían estar disponibles en un corto plazo.

En el esquema PPS aplicado a carreteras no hay aportación de recursos públicos por parte del Estado para los trabajos a cargo del sector privado, por lo que el sector privado es el encargado de obtener la totalidad de los recursos necesarios para cumplir con las actividades que le sean solicitadas por el sector público durante la vigencia del contrato de servicios de largo plazo de hasta 20 años.

El sector privado se encarga del diseño, financiamiento, modernización, operación, conservación y mantenimiento de los activos o infraestructura con los que presta sus servicios, ya que se trata de un contrato de servicios y no de un contrato de obra por lo que se busca obtener una mayor eficacia en la prestación de servicios para que el Gobierno brinde el servicio público que tiene a su cargo; el Estado adquiere el compromiso de efectuar pagos periódicos a la empresa privada por los servicios efectivamente prestados que cumplan con los requerimientos contratados y tiene la obligación de cubrir los pagos correspondientes por lo que debe de asignarles prioridad en su presupuesto.

El monto a pagar que recibe el sector privado se conoce como pago integrado y se determina en función de la disponibilidad y del uso de la carretera de los servicios prestados, es decir, el monto de los pagos está en función del tiempo y las condiciones en que haya estado disponible la carretera, además de la cantidad de vehículos que hayan transitado por ella, por lo que se deben cumplir los requerimientos y estándares de desempeño establecidos en el contrato PPS; la estructuración de un PPS tiene un procedimiento definido que considera las etapas de análisis, autorización, licitación y operación del contrato.

El sector privado puede garantizar el cumplimiento de los compromisos financieros que adquiera con el pago periódico y multianual que recibe por la prestación de servicios y debe utilizar únicamente el modelo financiero que haya expresado en su propuesta y en caso de requerir alguna modificación sólo se puede efectuar con autorización del sector público y éste tiene la obligación de advertir a los bancos acreedores sobre la existencia de cualquier evento que pudiera poner en riesgo la continuidad del proyecto.

3. Aprovechamiento de Activos

El esquema de Aprovechamiento de Activos consiste en agrupar carreteras por regiones de la República Mexicana conocidos como activos carreteros existentes con nuevas carreteras de cuota por construir, de tal manera que, a través de una licitación pública se adjudica la concesión al sector privado para que opere, conserve y explote los activos existentes, además, de construir las nuevas autopistas que considere el paquete carretero para posteriormente operarlas, mantenerlas y conservarlas; está diseñado para que los proyectos que se licitan incluyan la obligación de desarrollar nuevos tramos carreteros y modernizar los que ya existen lo cual permite conectividad y el impulso del desarrollo regional; en lo que corresponde al sector público, busca dirigir los recursos a obras que tengan alta rentabilidad social y económica que es lo que el país necesita.

El esquema se caracteriza porque el Estado tiene infraestructura que ya no puede financiar debido a que ha dejado de ser rentable por sí misma, razón por la cual la licita, sin embargo, requiere conseguir que el proyecto sea atractivo para el sector privado, por lo que se deshace de algún proyecto que es rentable para agruparlo con los que carecen de dicha cualidad y los licita en conjunto para obtener nueva infraestructura y mejorar la existente.

El sector privado al obtener la licitación en la modalidad de aprovechamiento de activos adquiere las obligaciones relacionadas con la calidad de la infraestructura, por ejemplo, el conservar el estado físico, brindar seguridad al usuario y proporcionar servicios auxiliares, como brindar información al usuario o auxilio vial durante algún percance en la vialidad. Por otra parte, el sector privado puede conseguir mejorar sus ingresos a través de una mejor gestión y del incremento del aforo para resultar ser atractivo ante el usuario al mejorar los mecanismos de operación y la tecnología de cobro.

El financiamiento del esquema se basa en una estrategia que combina los recursos públicos y privados para hacer viable el desarrollo de infraestructura de autopistas, cuya construcción, explotación, operación y conservación queda a cargo del sector privado; se cuenta con un activo, es decir, con infraestructura existente que se encuentra produciendo recursos, los cuales funcionan como garantía al solicitar el préstamo pertinente ante las instituciones bancarias, una vez que se ha conseguido el crédito bancario y se aportan los recursos necesarios por el sector privado se logra el financiamiento de la nueva infraestructura.

4. Modelo de Operación por Estándares de Desempeño, (Mantenimiento Rehabilitación y Operación *MRO*)

El 7 de febrero de 2008 se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el Decreto por el que se ordena la creación del Fideicomiso Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN)² el cual tiene por objeto fungir como vehículo de coordinación de la Administración Pública Federal para la inversión y el desarrollo en infraestructura, principalmente en las áreas de comunicaciones, transportes, hidráulica, medio ambiente y turística, apoya en la planeación, fomento, construcción, conservación, operación y transferencia de proyectos de infraestructura con impacto social o rentabilidad económica o financiera de acuerdo con los programas y recursos presupuestales existentes, en los que participa el sector privado.

En el año 2015 el FONADIN, el cual tiene entre sus fines adquirir, administrar y ceder derechos y obligaciones establecidos en concesiones o permisos, así como suscribir, adquirir y administrar instrumentos financieros asociados a los proyectos de infraestructura; instruyó la implementación del nuevo modelo de operación basado en un esquema plurianual enfocado al cumplimiento de estándares de desempeño en materia de conservación y operación; el modelo se ejecutó en cinco tramos de la red que en ese entonces se encontraba en construcción, los cuales son los libramientos de Felipe Carrillo Puerto, Villahermosa, Cd. Valles y Oriente de Chihuahua, así como la autopista Jala-Compostela-Las Varas, con una vigencia, de hasta 10 años, donde el pago está sujeto a deductivas si no se cumple con dichos estándares; resulta importante destacar que a nivel internacional existen diversos modelos de APP como se mencionó anteriormente, sin embargo, el esquema bajo estándares de desempeño MRO es un modelo que se diseñó y adaptó a las condiciones y necesidades de infraestructura que se presentan en nuestro país, por lo que bajo este esquema México es el único en trabajar mediante esta modalidad.

El nuevo modelo implementado en nuestro país, actualmente se conoce como modelo de operación por estándares de desempeño denominado: **Mantenimiento, Rehabilitación y Operación (MRO)**³, el cual sigue siendo un esquema de inversión de largo plazo que permite la participación del sector privado a través de contratos plurianuales, con el objetivo de operar, mantener y conservar los activos e infraestructura pública existente, conservando altos niveles de servicio, sujetos al cumplimiento de estándares de desempeño, los cuales son el conjunto de parámetros de calidad y sus correspondientes indicadores establecidos en el contrato que permiten su seguimiento y evaluación periódica.

Dentro de las principales características del MRO se encuentran que los pagos están sujetos al cumplimiento de estándares de desempeño, facilita la segmentación de tramos en corredores regionales generando economías de escala en la operación y mantenimiento, son contratos plurianuales con montos de contraprestaciones fijas sujetas a deducciones que transfieren al sector privado los riesgos de construcción, calidad y sobrecostos; al derivar de procesos competitivos, se promueve la innovación y la adopción de nuevos materiales y tecnologías, la planeación de la conservación es preventiva acorde a la vida de contratos de largo plazo y se genera un mercado de empresas operadoras y mantenedoras pertenecientes al sector privado lo que estimula a la industria de la construcción.

² Diario Oficial de la Federación (DOF), "Decreto por el que se ordena la creación del Fideicomiso Fondo Nacional de Infraestructura".

³ Proyectos México. Oportunidades de inversión. "Construcción, operación, mantenimiento, conservación y explotación del Libramiento Oriente de Chihuahua en el Estado de Chihuahua".

En este modelo participan tres actores principales: el fiduciario que es el fideicomiso de administración y fuente de pago número 1936 FONADIN, a través del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C. (BANOBRAS), Institución de Banca de Desarrollo como institución fiduciaria del Fondo, el Agente Administrador Supervisor (AAS) y el Mantenedor, Rehabilitador y Operador (MRO), que en conjunto buscan garantizar un desempeño superior al requerido por la normatividad que rige este tipo de esquemas como lo son la Ley de Asociaciones Público Privadas⁴ y el Reglamento de la Ley de Asociaciones Público Privadas⁵.

El actor conocido como AAS, brinda servicios consistentes en asesoría integral, gestión, monitoreo, supervisión y administración de la operación, mantenimiento y rehabilitación, gestiona el cumplimiento de estándares de desempeño del MRO, propone mejoras a la autopista y valida proyectos ejecutivos, coordina la planeación relacionada con política tarifaria y el derecho de vía; el Mantenedor-Rehabilitador (MR) realiza actividades concernientes con el mantenimiento mayor, menor y conservación periódica de la autopista, tales como rehabilitar, brindar mantenimiento y conservación, elaboración de estudios y proyectos ejecutivos, restitución de la infraestructura por fenómenos naturales; y finalmente el Operador (O) lleva a cabo actividades relacionadas con la operación de la autopista, lo que involucra las plazas de cobro, servicios conexos, administración del derecho de vía, gestión y atención de emergencias operativas, accidentes, siniestros, seguros, telepeaje y Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS).

El AAS es el responsable de coadyuvar de forma constante con la institución fiduciaria para supervisar y garantizar que la operación, mantenimiento, conservación, rehabilitación se apeguen al cumplimiento del contrato APP durante toda la duración del proyecto hasta la devolución de la vía una vez concluido el contrato del MRO, verifica el cumplimiento de la normativa aplicable de las actividades, así como garantizar que la prestación de los servicios al usuario se lleven a cabo de conformidad con los estándares de desempeño definidos.

Las responsabilidades del AAS se dividen en tres directrices clasificadas como supervisión, asesoría técnica y planeación a corto, mediano y largo plazo en el desarrollo del proyecto carretero; por lo que se instala en un punto estratégico de la autopista con el objeto de supervisar todas las actividades relacionadas con la vía, revisa, determina y calibra los estándares de desempeño definidos para la prestación de los servicios del MRO, además apoya a la institución fiduciaria en la contratación del MRO y verifica el cumplimiento de los servicios que presta el MRO, de conformidad con lo establecido en el contrato que celebre el fiduciario.

⁴ Nueva Ley de Asociaciones Público Privadas publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de enero de 2012, última reforma publicada DOF el 15 de junio de 2018.

⁵ Nuevo Reglamento de la Ley de Asociaciones Público Privadas publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de noviembre de 2012, última reforma publicada DOF el 20 de febrero de 2017.

Por otra parte, las actividades propias de MRO se pueden clasificar en función del responsable de las mismas, de tal forma que el Mantenedor (M), es el responsable de la elaboración de estudios, proyectos y obras de mantenimiento menor; el perfil de este actor, requiere contar con experiencia en ejecución de obras referente a mantenimiento menor, elaboración de estudios y proyectos ejecutivos además de amplio conocimiento de la legislación y normatividad aplicable. El Rehabilitador (R), es responsable de la elaboración de estudios, proyectos y obras de rehabilitación y mantenimiento mayor; el perfil necesita experiencia en ejecución de obras como rehabilitaciones, mantenimiento mayor, atención de emergencias técnicas y conocimiento de la legislación y normatividad en la materia. Finalmente, el Operador (O) es el responsable de la operación de los tramos carreteros, incluyendo principalmente las plazas de cobro y los servicios conexos, atención de usuarios, gestionar y administrar el derecho de vía, atender emergencias, administrar los seguros, así como mantener los sistemas y las instalaciones; necesita contar con experiencia en la operación de autopistas mediante estándares de desempeño, sistemas de peaje y telepeaje, servicios conexos, derecho de vía, accidentes, emergencias operativas, sistemas ITS, seguros, además de conocimiento de la legislación y normatividad propia de las actividades; lo anterior se puede apreciar en la figura 4.

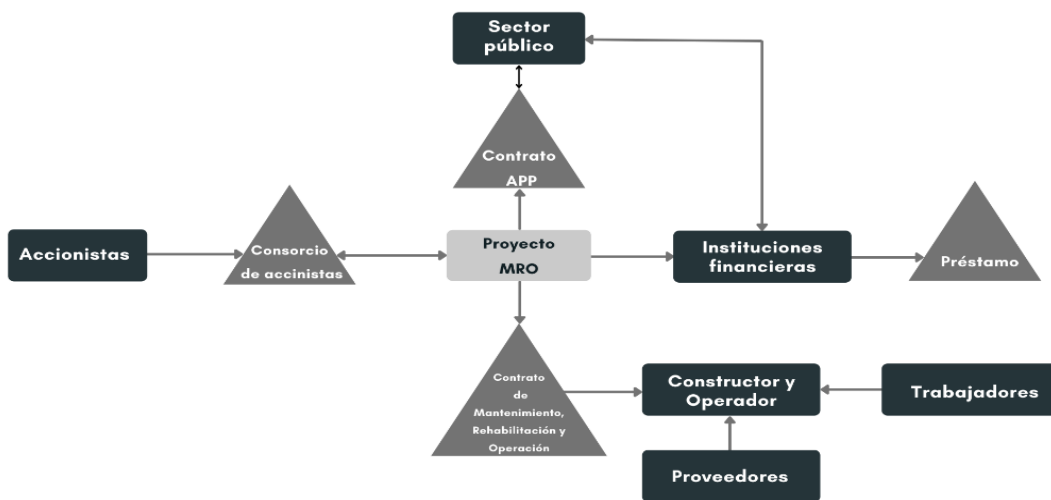
Figura 4. Principales actividades del MRO



Fuente: Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S N C.

Las principales relaciones contractuales que se instauran en un contrato de APP, se muestran en la figura 5, en donde se aprecia que el tronco principal a nivel contractual en los esquemas de MRO es el propio contrato de APP celebrado entre el sector público y el contratista a través del cual se establecen las obligaciones de mantenimiento, rehabilitación y los estándares de calidad exigidos que generarán el flujo de fondos que se destinan a repagar el financiamiento del proyecto y, en su caso, repartir dividendos entre los accionistas. Este contrato principal se encuentra regido por la Ley de Asociaciones Público Privadas y por las disposiciones generales del derecho administrativo del país; en consecuencia, el contrato de APP está formado por una serie de documentos que comprenden desde la etapa del concurso hasta la formalización del contrato.

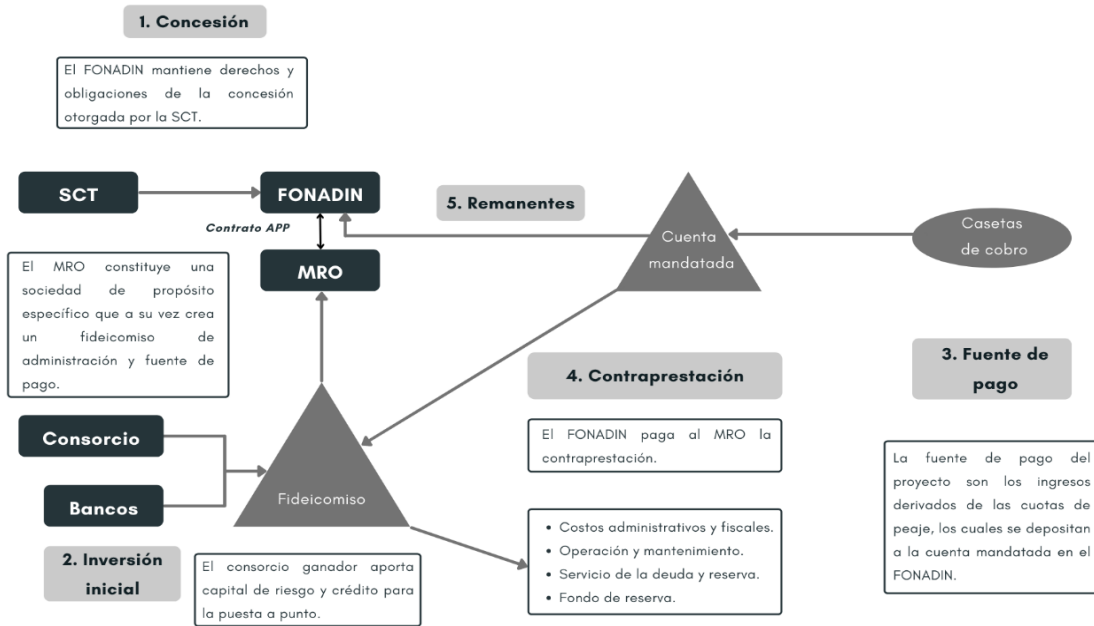
Figura 5. Relaciones contractuales del MRO



Fuente: Elaboración propia con información del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

El modelo de negocio y mecanismo de pago del esquema MRO, definidos en las figuras 6 y 7, respectivamente, indican que el FONADIN mantiene derechos y obligaciones derivados de la concesión otorgada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); el MRO constituye una sociedad de propósito específico, que a su vez crea un fideicomiso de administración y fuente de pago, aporta capital de riesgo y crédito para la puesta a punto; la fuente de pago del proyecto son los ingresos derivados de las cuotas de peaje cobradas por el concesionario, mismos que son depositados en una cuenta mandatada en el FONADIN; el MRO recibe una contraprestación pagada por el FONADIN, destinada a cubrir la inversión de la puesta a punto realizada por el sector privado que involucra el capital y crédito obtenido diferido en el tiempo conocido como pago por disponibilidad (PPD) y la operación y mantenimiento de los tramos carreteros conocido como pago unitario mensual (PUM). Los PPD se activan conforme se concluye la puesta a punto de los indicadores; los PUM se activan parcialmente desde el inicio del contrato y se encuentran sujetos a deductivas si no se cumple con los estándares de desempeño definidos, la contraprestación se paga al MRO mediante un pago integral (PPD+PUM) después de que el AAS validó que el MRO cumplió con los estándares requeridos; una vez que la cuenta mandatada cubre el pago integral del MRO, figura 7, los recursos remanentes se regresan al FONADIN; el fideicomiso de administración y fuente de pago mantiene un fondo de reserva para el servicio de la deuda y un fondo para mantenimiento mayor; al cubrir el servicio de la deuda, los remanentes se devuelven al MRO.

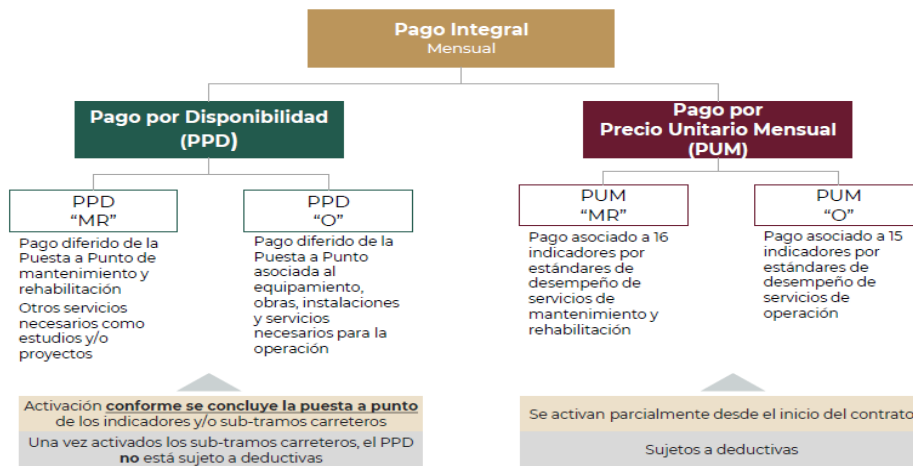
Figura 6. Estructura del modelo de negocio.



Fuente: Elaboración propia con información del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S. N. C.

El mecanismo de pago integral considera el pago total al desarrollador durante la vigencia del proyecto que incluye: un pago por disponibilidad (PPD) por los trabajos realizados para la rehabilitación inicial, y un pago por precio unitario mensual (PUM) por la operación y mantenimiento de la carretera.

Figura 7. Mecanismo de pago de un MRO



Fuente: Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S. N. C.

El PUM corresponde a cada uno de los precios unitarios incluidos en el catálogo de conceptos que forma parte de la propuesta del concursante ganador, con base en los cuales se pagarán mensualmente los servicios PUM, de conformidad con lo establecido en el mecanismo de pago.

Para el pago asociado a indicadores por estándares de desempeño de servicios de Mantenimiento y Rehabilitación (MR), el esquema considera los indicadores de medición técnica de la tabla 1.

Tabla 1. Indicadores de medición técnica del Libramiento Oriente de Chihuahua.

MR	ESTÁNDARES DE DESEMPEÑO	INDICADOR MEDICIÓN TÉCNICO
MR-1-DS	Deterioros superficiales en el pavimento	Sin grietas > 3mm, < 5% del área por carril
MR-2-IRI	Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	IRI < 2,5 m/km por carril
MR-3-PR	Profundidad de Roderas (PR)	PR < 12 mm por carril
MR-4-LCA	Limpieza de la calzada y acotamientos	Limpieza y aviso de materiales peligrosos
MR-5-EPR	Estado de los pavimentos rígidos	Sin grietas
MR-6-CF	Coefficiente de fricción (CF)	CF > 0.40 y < 0.90 por carril
MR-7-T	Taludes	Varias mediciones para mantener la estabilidad de taludes, cortes y terraplenes
MR-8-E	Estructuras	Condición de cada elemento: cimentación, apoyos, pilas, sistemas de losas, vigas, diafragmas y dispositivos de apoyo, muros de contención, conos de derrame, drenes y socavación.
MR-9-ODC	Obras de drenaje y obras complementarias.	Limpieza, capacidad estructural, cimentación
MR-10-SH	Señalamiento horizontal	Vida útil, visibilidad, presencia, adherencia y retrorreflexión.
MR-11-SV	Señalamiento vertical	Vida útil, visibilidad, presencia, alineamiento y retrorreflexión.
MR-12-DB	Defensas y barreras	Limpieza, presencia, condición, amortiguadores y señalamiento.
MR-13-CDV	Control de vegetación en derecho de vía	Desde el borde del acotamiento (hombro) hasta el límite del derecho de vía debe ser menor o igual a 30 cm.
MR-14-LDV	Limpieza de derecho de vía	Limpio, sin obstrucciones, sin basura, cascajo, animales, piedras, tierra, autopartes, restos de carga, etc.
MR-15-CDV	Cercado del derecho de vía	Deterioros o falta de cercado como postes y alambre de púas o mallas.

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

Las principales actividades que se deben realizar con la finalidad de dar cumplimiento a los estándares de MR se definen a continuación:

MR-1-DS. Deterioros superficiales en el pavimento.

Para el cumplimiento del indicador técnico se requiere localizar e identificar el tipo de grieta a intervenir, colocar el señalamiento preventivo de acuerdo con la norma; realizar la limpieza mediante barrido de la superficie a reparar; colocar emulsión, mezcla asfáltica o el tipo de material adecuado para realizar la reparación, en función del tipo de pavimento rígido o flexible; compactación manual o en su caso enrase del área reparada; limpieza general del área y retiro de señalamiento preventivo.

MR-2-IRI. Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Para este indicador es necesario contar con un equipo de tipo respuesta y seleccionar tramos en función de su estado superficial que sean representativos de la carretera; colocar el señalamiento preventivo de acuerdo con la norma; realizar levantamiento topográfico del perfil longitudinal sobre el camino donde se realiza la medición de la rugosidad, realizar la medición de la rugosidad con el equipo, graficar el valor y asignar el valor del IRI para cada tramo evaluado; y finalmente el retiro del equipo, del personal y señalamiento preventivo.

MR-3-PR. Profundidad de Roderas (PR)

En este caso se requiere disponer con un equipo para la evaluación de la profundidad de roderas, colocar el señalamiento preventivo de acuerdo con la norma; realizar la medición de la rodera con el equipo y registrar el valor para cada tramo evaluado; finalmente retiro del equipo, del personal y señalamiento preventivo.

MR-4-LCA. Limpieza de la calzada y acotamientos

Para este indicador técnico se requiere localizar objetos a retirar sobre la superficie de rodamiento que comprometan la seguridad del usuario, como pueden ser llantas, basura semovientes y/o cualquier objeto que este sobre la calzada o acotamientos, colocar la unidad con torreta y un banderero, retirar objeto y finalmente retirar la unidad y el personal.

MR-5-EPR. Estado de los pavimentos rígidos

En este caso es necesario localizar la grieta a intervenir; colocar señalamiento de protección de obra; considerar los materiales a utilizar en función del tipo de daño a reparar como son: sellar con un sellador de alto desempeño y arena, realizar el corte del área a reparar con cortadora de disco de diamante, demolición del concreto, retiro de escombros, colocar aditivo para resistencia rápida; dejar secar; limpieza general de área de trabajo y retirar señalamiento de protección de obra.

MR-6-CF. Coeficiente de fricción (CF)

En este indicador el coeficiente de fricción o textura del pavimento se determina en forma indirecta midiendo el coeficiente de rozamiento entre el pavimento artificialmente mojado y una llanta especial, permite determinar la buena o mala adherencia entre la llanta del vehículo y la superficie de rodamiento, estableciendo que la situación más desfavorable es la condición de pavimento mojado.

MR-7-T. Taludes

En este indicador se procede con la identificación del socavón, deslave o erosión; colocar señalamiento de protección únicamente en el acotamiento; acopio de material de banco, que en algunos casos se mezcla con cal, cemento o agua, acarreo en el camión de volteo y tendido con la retroexcavadora o pala con el personal; compactar material de forma mecánica o manual; limpieza general del área y retiro de señalamiento.

MR-8-E. Estructuras

Para el cumplimiento del indicador técnico se realiza la identificación del tipo de reparación que requiere la estructura, que pueden ser: borrado de grafitis a estructura, limpieza de parapetos, barrido de área de rodamiento, corte de vegetación, limpieza de defensas metálicas, reparación de hundimientos, socavaciones, grietas, fisuras, daños en pilas, zapatas, por mencionar algunos; colocar de señalamiento preventivo y dispositivos de seguridad como andamios, cuerdas de vida, arneses, en caso de ser necesario; reparar el daño; limpieza del área de trabajo; retiro de señalamiento y de materiales utilizados, así como del personal involucrado en la ejecución de los trabajos.

MR-9-ODC. Obras de drenaje y obras complementarias.

En este indicador se necesita identificar el tipo de reparación y lugar exacto, puede ser bordillo, lavaderos, cabezales de obras de drenaje, alerones, plantillas, tubos, bóvedas, canales abiertos, entre otros; colocar señalamiento preventivo únicamente en el acotamiento, acopio de materiales para las reparaciones como arena, cemento, material de banco, agua, etc.; retiro de escombros y material sobrante del área y limpieza, reconstrucción o intervención de la estructura, limpieza del área de trabajo y retiro de señalamiento y de materiales utilizados, así como del personal involucrado en la ejecución de los trabajos.

MR-10-SH. Señalamiento horizontal

Para este indicador se requiere identificar los lugares o tramos donde falten vialetas, disponer de un vehículo con torreta y banderero, suministro de materiales para la mezcla epóxica que se coloca en la vialeta, colocar vialeta en la dirección adecuada teniendo un contacto del 100% con la superficie de rodamiento a lo largo de los tramos a intervenir.

MR-11-SV. Señalamiento vertical

Para este caso se realiza la identificación de la señal o indicador de alineamiento a reparar; colocar señalamiento preventivo en el acotamiento y en las señales altas se debe colocar sobre el carril; suministro de materiales para el anclaje de las señales; la colocación se realiza de acuerdo con el tipo de señal a intervenir; sustitución en las situaciones en donde se encuentran muy dañadas; limpieza del área de trabajo y retiro de señalamiento preventivo.

MR-12-DB. Defensas y barreras

En este indicador se requiere identificar el daño a reparar ya sea ocasionado por accidente o por vandalismo; colocar señalamiento preventivo; desmontaje de piezas dañadas; colocación de piezas nuevas; limpieza del área de trabajo y retiro de señalamiento.

MR-13-CDV. Control de vegetación en derecho de vía

Para este indicador se necesita identificar la zona para corte de vegetación; colocar señalamiento preventivo; realizar el corte de vegetación manual, con desbrozadora, o mecánica; retiro de vegetación y señalamiento preventivo.

MR-14-LDV. Limpieza de derecho de vía

Para este caso se identifican los objetos a retirar, basura, llantas, madera, semovientes, metal, etc.; retiro de los objetos colocándolos en bolsas de plástico para su traslado al centro de conservación y posteriormente al tiradero municipal.

MR-15-CDV. Cercado del derecho de vía

Para el cumplimiento del indicador técnico se necesita identificar el daño al cercado, postes, alambre de puas, accesos irregulares, pasos peatonales, etc.; retiro de elementos dañados y colocación de los nuevos; colocación de alambre donde haga falta, tensado de alambre y fijado a los postes.

También, se tiene el pago asociado a indicadores por estándares de desempeño de los servicios de Operación (O), se consideran los indicadores de medición de operatividad carretera indicados en la tabla 2.

Tabla 2. Indicadores de medición operativa del Libramiento Oriente de Chihuahua.

O	ESTÁNDARES DE DESEMPEÑO	INDICADOR MEDICIÓN OPERATIVA
O-GP	i) Gestión de peaje	Evalúa el grado de desempeño en las operaciones de cobro, liquidación y abono al Fiduciario de los ingresos por cuotas de peaje.
O-GP-1	Aforos e ingresos.	
O-GP-2	Depósito de los ingresos por cuotas de peaje.	
O-GP-3	Nivel de servicio en la plaza de cobro.	
O-GP-4	Puntos de detección y recolección y sistema automático de clasificación. Precisión de los sistemas en el conteo y clasificación del tipo de vehículo que cruza por la plaza de cobro.	
O-GP-5	Puntos de detección y recolección y sistema automático de clasificación. Disponibilidad de carriles con la capacidad vial y que estén permanentemente disponibles.	
O-GP-6	Servidores de plaza de cobro, centro de gestión y sistema de telecomunicaciones.	
O-TME	ii) Telepeaje y medios electrónicos	Evalúa el nivel de servicio de los carriles exclusivos de Telepeaje, a través de la verificación de la operatividad de transacciones en las condiciones de velocidad de cruce mínimas requeridas para el sistema.
O-TME-1	Gestión de la operación del telepeaje y medios electrónicos de pago.	
O-TME-2	Procesamiento de transacciones de telepeaje y medios electrónicos de pago y depósito o transferencia de ingresos por venta y recarga de TAGs en efectivo.	
O-TME-3	Interoperabilidad del telepeaje. Intercambio de información.	
O-TME-4	Interoperabilidad del telepeaje. Conciliación y reporte de remesas de transacciones de terceros.	
O-AE	iii) Atención de emergencias	Evalúa los procedimientos que se deben seguir desde el momento que se notifica un incidente/accidente, incluyendo la primera llamada a los agentes implicados y la administración del seguro del usuario.
O-AE-1	Coordinación de emergencias.	
O-AE-2	Respuesta de la patrulla de señalización, asistencia vial y vigilancia.	
O-SU	iv) Servicios al usuario	Evalúa la disponibilidad de los servicios conexos y buen funcionamiento.
O-SU-1	Atención de quejas y/o sugerencias.	
O-SU-2	Postes SOS (torres de auxilio vial) y/o teléfonos de emergencia.	
O-SU-3	Sanitarios públicos, mapa de ruta y cestos de basura.	
O-SU-4	Página Web y redes sociales del Libramiento.	
O-ADV	v) Administración del derecho de vía	Evalúa la atención, seguimiento y apoyo en la formalización de contratos de todas las solicitudes de instalación de nuevos servicios o asentamientos dentro del derecho de vía además del cobro de los mismos.
O-ADV-1	Atención de solicitudes.	
O-ADV-2	Cobro y conciliación de ingresos.	
O-ADV-3	Asentamientos y accesos irregulares.	
O-BAC	vi) Bienes afectos a la concesión	Evalúa el grado de desempeño en las actividades de conservación, mantenimiento y renovación tanto de los equipamientos como de las instalaciones administrativas, instalaciones de cobro, servicios conexos y el equipamiento que debe portar el personal.
O-BAC-1	Mantenimiento de instalaciones, edificios y equipamiento de personal.	
O-BAC-2	Mantenimiento del equipamiento del Sistema de Gestión de Peaje y del Sistema ITS y Comunicaciones.	

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

Las principales actividades que se deben realizar con la finalidad de dar cumplimiento a los estándares de operación se definen a continuación:

i) O-GP. Gestión de peaje

Para el cumplimiento del indicador, las actividades relacionadas comprenden las operaciones de cobro y liquidación al Fiduciario de los ingresos por cuotas de peaje; se debe asegurar la consistencia de ingresos por cuotas de peaje, entendida como la ausencia de diferencias entre los depósitos realizados por el MRO por concepto de ingresos por cuotas de peaje y los ingresos calculados con base en el tránsito registrado en la vía por lo que se evalúa el grado de desempeño del MRO en las operaciones, a través de la exactitud de las cantidades reflejadas en los reportes de gestión del peaje y del cumplimiento de los plazos para su entrega al Fiduciario y al AAS.

1. O-GP-1. Aforos e ingresos. El indicador evalúa el grado de desempeño del MRO en las operaciones, a través de la exactitud de las cantidades reflejadas en los reportes de gestión del peaje y del cumplimiento de los plazos para su entrega al Fiduciario y al AAS; los objetivos son garantizar un cobro eficiente de las cuotas de peaje; el objetivo del indicador es proporcionar seguridad en las transacciones y cumplir con la entrega del reporte puntual y preciso de los aforos, ingresos y depósitos de cuotas de peaje.

2. O-GP-2. Depósito de los ingresos por cuotas de peaje. Las actividades relacionadas con el indicador comprenden el depósito de los ingresos por cuotas de peaje y el depósito de las diferencias por inconsistencias; se evalúa el cumplimiento del plazo en que se realizan los depósitos y la consistencia de los ingresos, inexistencia de diferencias; el objetivo de este indicador es garantizar que el depósito de los ingresos por cuotas de peaje se efectúe en tiempo y forma,

3. O-GP-3. Nivel de servicio en la plaza de cobro. Las actividades relacionadas con el indicador comprenden el servicio ágil en las plazas de cobro, procurando que el tiempo empleado por los usuarios para realizar el pago del peaje sea el mínimo posible, para ello, el MRO deberá garantizar un esquema de cobro rápido y anticipado a efecto de no generar filas considerando un cobro de peaje dinámico, en el que los conductores de los vehículos no se detengan al realizar el pago con telepeaje y los sistemas de plumas con pago en efectivo y medios electrónicos de pago alcancen un rendimiento de procesamiento por cada carril de al menos 250 vehículos por hora. El indicador evalúa el grado de desempeño del MRO en la gestión de la capacidad de la plaza de cobro troncal, adecuando el número de carriles en servicio a la demanda de tráfico, bajo cualquier circunstancia deberá operar por lo menos un carril de cobro manual y un carril de telepeaje en cada sentido de circulación y mantener abiertos o encendidos los sistemas de control vehicular en todos los carriles de cobro disponibles; en condiciones de no saturación de la plaza de cobro troncal no se deberán generar filas de 100 metros o más, con respecto a la ubicación de la pluma de salida de los carriles de cobro y en situaciones de aforo vehicular extraordinario, teniendo la totalidad de los carriles operando a su máxima capacidad, deberán implementarse carriles en contra flujo y cajeros móviles, con la finalidad de disminuir el tiempo total empleado por los usuarios para realizar el pago del peaje.

4. O-GP-4. Puntos de detección, recolección y sistema automático de clasificación.

Precisión de los sistemas. Las actividades relacionadas con el indicador comprenden: el conteo y clasificación de vehículos en los carriles de cobro realizado mediante el sistema automático de clasificación; el objetivo es garantizar el registro y clasificación eficiente del tipo de vehículo que cruza por la plaza de cobro de tal forma que se evalúa la precisión del sistema automático de clasificación.

5. O-GP-5. Puntos de detección, recolección y sistema automático de clasificación.

Disponibilidad de carriles. Las actividades relacionadas con el indicador comprenden la ejecución en cumplimiento a los términos y tiempos previstos en el programa de operatividad anual de los trabajos de mantenimiento y supervisión del sistema automático de clasificación, incluyendo plumas, equipos de señalización, controladores de carriles y comunicaciones locales, así como cualquier otro elemento sin el cual no sea posible la operación de los carriles; así como la atención inmediata de fallas en dicho sistema y sus elementos; el objetivo es asegurar que la capacidad vial de todos los carriles de cobro de las plazas de cobro esté permanentemente disponible, por lo que se evalúa el grado de desempeño y cumplimiento del MRO de los trabajos de mantenimiento y supervisión del sistema automático de clasificación, sus elementos y la atención de fallas.

6. O-GP-6. Servidores de plaza de cobro, centro de gestión y sistema de comunicaciones.

Las actividades relacionadas con el indicador comprenden la ejecución en cumplimiento a los términos y tiempos previstos en el programa de operatividad anual de los trabajos de mantenimiento preventivo, correctivo y la supervisión de los servidores de la plaza de cobro de los servidores del centro de gestión y del sistema de comunicaciones; en el centro de gestión se reciben en tiempo real los datos de funcionamiento de elementos del sistema de gestión de peaje, incluye las alarmas técnicas de fallas para realizar una rápida detección de las posibles incidencias en los sistemas y equipos; el objetivo es asegurar la disponibilidad permanente del sistema de gestión de peaje y de los elementos que lo integran; el indicador evaluará el grado de desempeño y cumplimiento del MRO en los trabajos de mantenimiento preventivo, correctivo y supervisión de los servidores y el sistema de comunicaciones.

ii) O-TME. Telepeaje y medios electrónicos de pago

El equipamiento del hardware y software que constituye el sistema de telepeaje y medios electrónicos de pago, forma parte del sistema de gestión de peaje de la vía; es proporcionado por el Fiduciario en apego a la normatividad aplicable. Para este indicador se requiere la prestación de los servicios de telepeaje misma que comprende: la comercialización, atención al usuario, operación y administración de las transacciones generadas por los cruces de vehículos con las TAGs⁶, administración de la gestión del cobro por conceptos de cuotas por uso de la carretera mediante el sistema de telepeaje, por venta y recarga de TAGs, así como la administración de la gestión del cobro de los medios electrónicos de pago.

⁶ El telepeaje corresponde a un sistema de comunicación remota entre una antena situada en el pórtico de peaje y un dispositivo TAG (Transmitter & responder por sus siglas en inglés) el cual puede ir o no adherido en el vehículo. En la actualidad se mejoró la tecnológica que permite leer diversos protocolos de TAG's, para que, con un solo dispositivo, los usuarios puedan transitar ágilmente por las autopistas de cuota del país.

7. O-TME-1. Gestión de la operación del telepeaje y medios electrónicos de pago. Las actividades relacionadas con el indicador comprenden las operaciones de cobro y liquidación al Fiduciario de los ingresos por cuotas de peaje recaudados mediante el sistema de telepeaje y medios electrónicos de pago; el objetivo del indicador es garantizar un cobro eficiente de las cuotas de peaje por lo que se evalúa el grado de desempeño del MRO en las operaciones, a través de la exactitud de las cantidades reflejadas en los reportes de transacciones, conciliación y cuentas por cobrar de telepeaje y medios electrónicos de pago.

8. O-TME-2. Procesamiento de transacciones de telepeaje y medios electrónicos de pago y depósito o transferencia de ingresos por venta y recarga de TAGs en efectivo. Las actividades relacionadas con el indicador comprenden las actividades relacionadas con el procesamiento de las transacciones y entrega de los ingresos recaudados por telepeaje y medios electrónicos de pago a la institución de crédito contratada por el MRO para la administración de estos servicios y su subsecuente depósito en la cuenta concentradora del Fiduciario, así como el depósito o transferencia de los ingresos por concepto de venta y recarga de TAGs con pago en efectivo; el objetivo del indicador es garantizar el depósito, en tiempo y forma por lo que se evalúa el cumplimiento de los plazos de envío de los ingresos para la administración de los servicios, y el depósito de los ingresos por concepto de venta y recarga de TAGs.

9. O-TME-3. Interoperabilidad del telepeaje. Intercambio de información. Las actividades relacionadas con el indicador son las que se llevan a cabo en relación con los procesos asociados al intercambio de información y, en general, al cumplimiento de las obligaciones derivadas de los convenios para la interoperabilidad de los sistemas de telepeaje, por lo que el indicador evalúa el desempeño del MRO en el intercambio oportuno y eficaz de la información necesaria para dar cumplimiento a los convenios en materia de interoperabilidad que se suscriban.

10. O-TME-4. Interoperabilidad del telepeaje. Conciliación y reporte de remesas de transacciones de terceros. Las actividades relacionadas con el indicador comprenden las operaciones de conciliación y liquidación de las transacciones de los usuarios que empleen TAGs de la vía, para el pago de cuotas de peaje en otras autopistas, el objetivo del indicador es garantizar el cumplimiento oportuno y eficaz de la totalidad de las obligaciones derivadas de los convenios para la interoperabilidad de sistemas de telepeaje; se evaluará el desempeño del MRO en los procesos de conciliación de las remesas de transacciones de los usuarios que empleen TAGs de la carretera y el reporte de dichas remesas a la institución de crédito contratada por el MRO para la administración de los servicios de telepeaje, con objeto que la institución proceda a la transferencia de ingresos a los concesionarios u operadores respectivos.

iii) O-AE. Atención de emergencias.

En caso de que ocurra una emergencia en la carretera es necesario el monitoreo de las emergencias, aviso inmediato y coordinación con las autoridades competentes para la atención, presencia del MRO en la atención de todas las emergencias ocurridas, aviso y coordinación con las aseguradoras, aviso inmediato al AAS, a través de la Bitácora Electrónica y Seguimiento a Obra Pública (BESOP), atención de llamadas de auxilio de los usuarios, auxilio vial a los usuarios cuyos vehículos sufran descomposturas, señalización y delimitación de las zonas de ocurrencia de emergencias de cualquier naturaleza, para lo cual se debe contar con al menos una patrulla de asistencia vial.

11. O-AE-1. Coordinación de emergencias. Las actividades relacionadas con el indicador comprenden los procedimientos para la atención de emergencias y contingencias en relación con los procedimientos de coordinación, que debe seguir el MRO desde el momento en que se le notifica una emergencia, incluyendo la primera llamada a los agentes implicados, así como la administración del seguro del usuario; el objetivo es garantizar que ante una emergencia se avise a todos los agentes implicados, en cumplimiento de los plazos máximos establecidos para brindar la atención oportuna a los involucrados.

12. O-AE-2. Respuesta de la patrulla de señalización, asistencia vial y vigilancia. Las actividades relacionadas con el indicador comprenden las labores de detección de las emergencias que tienen lugar en la vía, notificación al centro de atención de emergencias del evento detectado, señalización, y asistencia a los usuarios involucrados; el objetivo es detectar oportuna y eficazmente las emergencias, garantizar el cumplimiento del tiempo de respuesta de la patrulla, asistencia vial, vigilancia y garantizar la correcta implementación de los procedimientos de coordinación para la atención de emergencias y contingencias.

iv) O-SU. Servicios al usuario.

El MRO realiza la facturación a los usuarios que lo soliciten, de los pagos de las cuotas peaje por el uso de la autopista en cualquier modalidad de pago.

13. O-SU-1. Atención de quejas y/o sugerencias. Las actividades relacionadas con el indicador comprenden la atención y seguimiento de todas las quejas y/o sugerencias realizadas por los usuarios de la vía en la página web, redes sociales de la autopista, buzón de sugerencias o quejas en las instalaciones, módulos de atención a usuarios en las instalaciones del MRO, línea de atención telefónica y correo electrónico. Las actividades relacionadas con la atención al usuario de los servicios de telepeaje, comprenden las siguientes funciones: cargos o cruces no reconocidos por el usuario, diferencias en la aplicación de la tarifa al usuario, cruces duplicados, cobros duplicados, es decir, mismo cruce cobrado en dos modalidades de pago, cobros en TAGs cancelados, no detección de TAG con saldo y disminución indebida de saldo en TAG; el objetivo es garantizar un alto nivel de satisfacción de los usuarios, mediante la respuesta puntual y eficiente de cualquier queja y/o sugerencia.

14. O-SU-2. Postes SOS (torres de auxilio vial) y/o teléfonos de emergencia. Las actividades relacionadas con el indicador comprenden la disponibilidad y buen funcionamiento de los postes de auxilio vial (SOS) y teléfonos de emergencia (01-800), para servicio a los usuarios; el indicador evalúa el grado de desempeño del MRO en la disponibilidad de los postes SOS y el teléfono de emergencia, así como el tiempo de respuesta a las solicitudes de auxilio y/o información recibida.

15. O-SU-3. Sanitarios públicos, mapa de ruta y cestos de basura. Las actividades relacionadas con el indicador comprenden la disponibilidad de los sanitarios públicos, el mapa de ruta y cestos de basura de la carretera, durante las 24 horas del día, los 365 días del año, en buenas condiciones de manera eficaz y permanente, con la debida funcionalidad sin costo para el usuario, por lo que se evaluará el grado de desempeño del MRO en la disponibilidad de los servicios en la vía.

16. O-SU-4. Página Web y redes sociales del libramiento. Las actividades relacionadas con el indicador consideran la disponibilidad de la página web durante las 24 horas del día, los 365 días del año, con la debida funcionalidad, además de la generación de contenido e interacción con el usuario mediante las redes sociales, por lo que se evalúa el grado de desempeño del MRO en la disponibilidad de la página web, la generación y actualización de contenido en redes sociales e interacción continua con los usuarios.

v) O-ADV. Administración del derecho de vía.

El MRO es el responsable de apoyar al Fiduciario a gestionar una correcta administración del derecho de vía de la autopista, por lo que debe realizar recorridos de vigilancia para evitar que el derecho de vía sea invadido y que se produzcan accesos irregulares, realizar recorridos de vigilancia de los servicios instalados sobre el derecho de vía, notificar al Fiduciario y al AAS sobre los aprovechamientos irregulares del derecho de vía, atender y tramitar las solicitudes para el uso y el aprovechamiento del derecho de vía y apoyar al Fiduciario en la formalización de los contratos respectivos, realizar las gestiones para la regularización de accesos y/o asentamientos irregulares o, en su caso, activar el procedimiento de coordinación para su cierre.

17. O-ADV-1. Atención de solicitudes. Las actividades relacionadas con el indicador comprenden la atención, seguimiento y apoyo al Fiduciario en la formalización de contratos para el uso y aprovechamiento del derecho de vía, el indicador evalúa el grado de desempeño del MRO en la atención y seguimiento de solicitudes para el uso y aprovechamiento del derecho de vía.

18. O-ADV-2. Cobro y conciliación de ingresos. Las actividades relacionadas con el indicador comprenden las operaciones relacionadas con el cobro y la conciliación de ingresos procedentes de la explotación del derecho de vía de la carretera, tales como estaciones de servicio, tiendas de conveniencia, paradores integrales, torres de comunicación, anuncios, y demás establecimientos autorizados por el Fiduciario, se evalúa el grado de desempeño del MRO en el cobro y conciliación eficiente de los ingresos procedentes del uso y aprovechamiento del derecho de vía.

19. O-ADV-3. Asentamientos y accesos irregulares. Las actividades comprenden la integración del expediente, el seguimiento y notificación al Fiduciario sobre las invasiones, asentamientos y accesos irregulares dentro del derecho de vía, tanto las prevalecientes como las que ocurran dentro del período de pago. El MRO debe requerir a los responsables de asentamientos o accesos irregulares el retiro y/o cierre de los mismos, asimismo, previo consentimiento del Fiduciario y del AAS, realiza las denuncias correspondientes por los asentamientos o invasiones del derecho de vía, así como el trámite de los expedientes judiciales o administrativos correspondientes.

vi) O-BAC. Bienes afectos a la concesión.

El MRO es el responsable de la conservación, mantenimiento y renovación de los edificios e instalaciones que constituyan bienes afectos a la concesión, así como del equipamiento del personal a cargo de la prestación de los servicios. Para el cumplimiento del indicador el MRO está obligado a implementar un programa de mantenimiento anual de instalaciones y edificios; y un programa de mantenimiento anual del equipamiento del sistema de gestión de peaje y del sistema ITS, que prevean las acciones de mantenimiento preventivo y correctivo correspondientes.

20. O-BAC-1. Mantenimiento de instalaciones, edificios y equipamiento de personal. Las actividades relacionadas con el indicador comprenden el cumplimiento y la debida ejecución del programa de mantenimiento anual de instalaciones y edificios; así como el equipamiento satisfactorio del personal del MRO. Los trabajos de mantenimiento preventivo y/o correctivo de instalaciones incluyen lo siguiente: alumbrado, electricidad, instalaciones sanitarias e hidráulicas de las plazas de cobro y las correspondientes a los servicios conexos, áreas verdes y las áreas de descanso y paraderos, evitando obstrucciones a la visibilidad de los usuarios y favoreciendo una adecuada arquitectura del paisaje e imagen agradable. En relación con el mantenimiento de edificios los trabajos de mantenimiento preventivo y/o correctivo deben considerar las áreas correspondientes a los edificios de las plazas de cobro y cualquier otro que forme parte de los bienes afectos a la concesión, por lo que deben mostrar, en todo momento, buen aspecto y ser totalmente funcionales, así como favorecer la imagen de la autopista mediante el equipamiento e identificación satisfactoria con uniforme del personal del MRO.

21. O-BAC-2. Mantenimiento del equipamiento del sistema de gestión de peaje y del sistema ITS y comunicaciones. Las actividades relacionadas con el indicador comprenden el cumplimiento y la debida ejecución del programa de mantenimiento anual del equipamiento del sistema de gestión de peaje y del sistema ITS y comunicaciones. Los trabajos de mantenimiento preventivo y/o correctivo del equipamiento que consideran el sistema de gestión de peaje, incluyen todos los equipos, periféricos y sistemas implicados en las funciones de cobro, registro, comunicación y control de la actividad del cobro, considera el mantenimiento del sistema de video grabación y equipamiento del centro de gestión, los carriles de cobro/cabinas deben mantener buen aspecto y contar con todos los implementos necesarios para brindar un servicio apropiado (puertas, ventanas, aire acondicionado, buzón de quejas y sugerencias, mobiliario, etc.), además de contar con la protección adecuada; la fibra óptica incluye todo tipo de instalación a lo largo de la vía, en la plazas de cobro, edificios y en acometidas, en relación con las comunicaciones se incluye todo tipo de instalación de comunicaciones a lo largo de la autopista, plazas de cobro, centro de gestión.

Finalmente, para los ITS se incluye el mantenimiento de todos los equipos, periféricos y sistemas implicados en los ITS, tales como paneles de mensaje variable, sistema circuito cerrado de televisión, postes SOS, estaciones de toma de datos, estaciones meteorológicas y equipamiento de centro de gestión, para garantizar el máximo aprovechamiento del equipamiento del sistema de peaje y el sistema ITS y comunicaciones que constituyen bienes afectos a la concesión.

En relación con lo anterior, la finalidad del MRO es operar y mantener los tramos carreteros bajo el cumplimiento de estándares de desempeño de tal forma que el pago está sujeto a deductivas, si no se cumple con los estándares de desempeño definidos como “MR” y “O” mencionados anteriormente.

De tal forma que la sumatoria del pago asociado a indicadores por estándares de desempeño de servicios de Mantenimiento y Rehabilitación (MR), y del pago asociado a indicadores por estándares de desempeño de servicios de Operación (O), proporciona el programa calendarizado de erogaciones plurianuales de ejecución de servicios MR y el correspondiente programa calendarizado de erogaciones plurianuales de ejecución de servicios O, por lo que el presupuesto propuesto para la ejecución de los servicios es la variable financiera, en razón de que monto propuesto no es susceptible a modificación a favor de MRO y la contraprestación mensual recibida se diseña para reflejar la inversión diferida en el tiempo de la puesta a punto del proyecto, lo cual se muestra en la figura 8; se incluye el capital de riesgo y el financiamiento, así como la operación y mantenimiento de los tramos carreteros; por lo que se debe asegurar que la cantidad propuesta se cumpla para garantizar la rentabilidad del proyecto.

En la etapa de puesta a punto de los Servicios MR, el sector privado efectúa las inversiones necesarias para alcanzar los estándares definidos relacionados con las condiciones de la autopista; por lo que se estiman inversiones principalmente para obras de conservación y/o reconstrucción de pavimentos, deterioros superficiales, drenaje y obras complementarias, defensas y barreras, señalamiento vertical y horizontal, además, se prevé que estos recursos se eroguen durante los veinticuatro meses que es el tiempo que se estima tomará la implementación de la puesta a punto.

En la etapa de puesta a punto de los Servicios O, el sector privado lleva a cabo las inversiones necesarias para la adecuada operatividad de las autopistas, se estiman inversiones principalmente para equipos de peaje, los ITS, el telepeaje y fibra óptica y se prevé que estos recursos se eroguen durante los primeros doce meses de la puesta a punto del proyecto. Se prevé que la inversión para la rehabilitación inicial de la autopista durante la etapa de la puesta a punto sea cubierta en su totalidad con recursos privados.

En la etapa de operatividad, el sector privado tiene la obligación de prestar los servicios MR y O en la autopista, los cuales deben incluir la totalidad de las actividades previstas para cumplir con los estándares de desempeño e indicadores definidos. La única fuente de pago al sector privado son los ingresos provenientes de las cuotas de peaje de la autopista concesionada, por lo que se estima que dichos recursos deben ser suficientes para hacer frente al pago integral del MRO.

Figura 8. Etapas del MRO



Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

Para que este tipo de proyectos funcione de manera correcta, es necesario contar de forma interna con diversas áreas que se encargan de actividades específicas definidas en los alcances del contrato, mismas que son las siguientes:

1. **Área de operación.** Es el área encargada de operar las casetas de cobro y brindar el servicio al usuario que el MRO debe proporcionar, realizando las siguientes actividades: el cobro de peaje, gestión de servicios al usuario de la carretera, atención de emergencias, administración del derecho de vía y servicios conexos de la carretera con la finalidad de dar cumplimiento a los estándares de desempeño de operación y a su programa, definidos en la tabla 2, expuesta anteriormente.
2. **Área de mantenimiento y rehabilitación.** Sus funciones son realizar el mantenimiento rutinario, el mantenimiento periódico y la rehabilitación de la carretera en apego a los estándares de desempeño MR y a los programas de mantenimiento de conservación menor o rutinario y a los programas de mantenimiento periódico y reconstrucción. El mantenimiento rutinario o de conservación menor, consiste en los trabajos que se realizan de manera cotidiana para lograr mantener o mejorar el cumplimiento de los estándares de desempeño MR. El mantenimiento periódico considera las actividades efectuadas con frecuencia periódica o eventual, de corta duración pero de mayor volumen. La rehabilitación o reconstrucción implica restituir la estructura de los elementos de la carretera; el detalle de las actividades se encuentra en la tabla 1, mostrada anteriormente.
3. **Área de accidentes.** Su función es dar atención a las emergencias generadas a consecuencia de un evento de tránsito en la carretera, lo que involucra daño a la infraestructura, al personal perteneciente al MRO y a los usuarios que transiten por la carretera en un vehículo.
4. **Unidad de autocontrol.** Es el área encargada de inspeccionar, verificar y evaluar de manera continua el grado de cumplimiento de los estándares de desempeño, los cuales son el conjunto de parámetros específicos de calidad que debe cumplir el MRO conforme a los requerimientos establecidos del servicio para medir un determinado nivel de servicio, así como de la calidad de las obras de mantenimiento y rehabilitación, y es la responsable de diseñar y administrar el sistema de control de calidad.
5. **Área de calidad.** Es el área encargada de dar seguimiento a los procesos y procedimientos que el MRO ha establecido en un sistema de gestión de calidad, mismo que se encuentra certificado en las normas ISO9001:2015 e ISO1400:2015, además vigila el cumplimiento a los aspectos ambientales y auditorías.
6. **Área administrativa.** Es el área cuyas funciones son la gestión, administración y control de los recursos con los que cuenta el MRO para realizar las actividades orientadas al cumplimiento de estándares de desempeño, de tal forma que se encarga de verificar la congruencia entre el presupuesto de la obra y la realización de los desembolsos y los avances físicos.

2.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ESQUEMAS DE FINANCIAMIENTO APP

1. Concesiones

La principal ventaja de este modelo es que proporciona infraestructura que no le cuesta al Estado además de que la inversión inicial, mantenimiento y operación se paga con cuotas del usuario. Una concesión proporciona a los inversionistas la oportunidad de participar en negocios rentables y si se llega a presentar la situación de que la inversión privada y su rendimiento se recupere antes de lo previsto, los excentes se comparten entre los sectores público y privado. Otra ventaja del modelo es que proporciona infraestructura a largo plazo al sector público la cual podrá explotar en un futuro, siendo el sector privado quien paga y la sociedad tiene infraestructura que realmente le sirve.

Los principales actores que intervienen para instrumentar dicho esquema, son las instituciones financieras, inversionistas, operadores de carreteras, desarrolladores de proyectos y empresas constructoras, tienen la ventaja de elegir si el proyecto es o no atractivo de acuerdo con el análisis de riesgos que se efectúa.

Dentro de las desventajas que se tienen es que existe una competencia limitada ya que un pequeño sector puede manejar las concesiones en determinado ramo, porque se necesitan muchos recursos. Otra desventaja son los riesgos que se presentan, ya que podría ocurrir que financieramente el proyecto no resulte rentable debido a que está sujeto a pronósticos de tránsito pudiendo resultar menores y poner en riesgo el proyecto.

2. Proyectos de Prestación de Servicios (PPS)

Dentro de las principales ventajas del esquema de PPS, es que la sociedad tiene obra sin que el Gobierno pague todo el monto en un inicio, ya que el esquema establece el pago en anualidades, permitiéndole emplear esos recursos que aún no emplea en otras necesidades que se tengan; el esquema PPS logra obtener los recursos necesarios para financiar obras públicas que poseen un gran interés social, liberando los recursos públicos para que éstos se puedan emplear para satisfacer otras necesidades de la población.

En relación a las desventajas del modelo, es que se requieren grandes periodos de maduración para la realización de este tipo de proyectos, se endeuda el Estado por varios años al adquirir el compromiso de pago del PPS; además de que podría resultar ser un proyecto muy atractivo para el usuario aumentando su uso y en consecuencia el mantenimiento, por lo que se necesitaría un mayor pago anual.

3. Aprovechamiento de Activos

Este tipo de APP genera ventajas en tres aspectos, los cuales son: financiero, nuevas obras y mejoramiento de servicio; el financiero debido a que asegura el pago de las obligaciones generadas por el rescate carretero, el siguiente rubro es la generación de nuevas obras ya que permite el desarrollo de obras que no se llevarían a cabo sin los recursos del sector privado y el último rubro es la mejora en los servicios porque el título de concesión y la participación privada generan obligaciones y estímulos para mejorar el servicio.

La principal ventaja es que se otorga el mantenimiento y operación de la infraestructura existente al sector privado por lo que al Gobierno ya no le cuesta, se eleva la calidad del servicio ofrecido al usuario de las autopistas y se tiene una contraprestación anual.

Dentro de las desventajas que existen es que se requiere una gran inversión en la ingeniería previa y en la estructuración del proyecto; una gran desventaja es que el Estado se desprende de infraestructura existente, razón por la cual pierde las ganancias que obtenía.

4. Modelo de Operación por Estándares de Desempeño: Mantenimiento, Rehabilitación y Operación (MRO)

El modelo al basarse en el cumplimiento de altos estándares de desempeño en el mantenimiento y rehabilitación de tramos carreteros promueve nuevas prácticas de operación, disminuyen los costos inherentes a la administración de contratos, el establecimiento de estándares de desempeño incentiva una mejor calidad en la prestación de los servicios y un mayor control sobre los ingresos por las cuotas de peaje y explotación del derecho de vía, permite una transferencia de riesgos y responsabilidades al encargado del mantenimiento, rehabilitación y operación, mejora la gestión de las autopistas mediante la implementación de sistemas y nueva tecnología, de tal forma que la explotación del activo en mejores condiciones genera un beneficio financiero ya que las autopistas no pierden su valor.

Otra ventaja del modelo conocido como MRO, es la reducción significativa de accidentes y siniestros, a través de la implementación de nuevos elementos de seguridad vial y la aplicación de un esquema de conservación preventivo en las carreteras, lo que permite mantenerlas en buen estado para su uso; además, la mejora de los estándares de desempeño conlleva a reducciones significativas en los costos de operación para el autotransporte, lo que genera mayores niveles de productividad y competitividad para los usuarios.

Dentro de las desventajas de este esquema se tiene que la temporalidad para recuperar la inversión inicial llega a ser insuficiente, además de que el riesgo del proyecto es muy elevado y los estándares de desempeño a los que se apega el modelo suelen ser muy exigentes; además, en algunas ocasiones las empresas privadas suelen subestimar los costos de las inversiones y elevar de manera exagerada la demanda esperada para el servicio con la finalidad de justificar la necesidad del mismo en un futuro y con ello el proyecto sea autorizado.

Otra desventaja para este tipo de modelo se deriva de la Ley de Asociaciones Público Privadas ya que se establece dentro de la misma que el sector privado además de contar con los recursos suficientes, confiables para ejecutar los proyectos considera que es un mejor operador que el sector público; por lo que las opciones para la ejecución de los proyectos se ven limitadas y reducidas; generando un mayor costo de operación para el fiduciario al contar con un operador y una supervisión de forma constante y permanente exigida en contrato para este tipo de proyectos.

Finalmente, resulta importante destacar que para este tipo de proyectos no existe una evaluación del desempeño que brinde la posibilidad de identificar el comportamiento interno que presentan las áreas necesarias para su correcto funcionamiento, así como calibrar y definir adecuadamente los parámetros de desempeño y estándares de servicios del mismo, por lo que el potencial de mejora del proyecto se encuentra limitado para la toma de decisiones referente a la inversión del proyecto.

CAPÍTULO 2. FORMULACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Algunos aspectos de las APP han recibido críticas de la prensa, de académicos y otros grupos importantes que se oponen a la implementación de las APP, estas críticas se han concentrado en la instrumentación de las mismas, conflictos de interés, la corrupción y la insuficiencia de mecanismos de transparencia que impera en los sectores público y privado, la falta de estudios previos donde se pueda observar la viabilidad y la mala administración aunada a la falta de capacidad técnica lo cual conlleva a asumir riesgos más altos de los previsibles; estas deficiencias en la instrumentación de las APP han provocado que en algunos casos el Estado se vea en la necesidad de intervenir, para poder sacar a flote los servicios que por normatividad están bajo su tutela y en esos casos los privados se benefician y el Estado es el encargado de resarcir y asumir los costos provocados, por lo que se resalta que no se cumple el objetivo por el cual se estableció la APP, lo que ha ocasionado fuerte polémica alrededor de las APP al evidenciar las fallas y deficiencias, en la tabla 3 se presenta un comparativo de aspectos positivos y negativos expresados por diversos investigadores, detectándose áreas de oportunidad en la implementación de las APP.

Tabla 3. Opiniones positivas y negativas de las APP

Autor	Factor Positivo	Factor Negativo
Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2018)	Genera oportunidades de colaboración cruzada entre los sectores público y privado con el diseño y la implementación de las APP.	Los marcos legales de las APP presentan limitaciones puntuales para gestionar los eventos de corrupción.
Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) (2013)	A favor de la infraestructura sustentable. Incrementa la competitividad y la inversión.	Se inclinan por la rentabilidad más que por el beneficio social.
Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2012)	Incrementa la inversión. Existen ahorros en la inversión pública.	Riesgo de sobrecosto, riesgo de tasa de interés y de financiamiento.
México Evalúa (2010)	-	Desvío de recursos, personal no capacitado, atrasos de obra, atribuye responsabilidades a SCT.
Rozas, P., Bonifaz, J. & Guerra, G. (2012) CEPAL	Aparente solución a las crisis de las últimas décadas.	Informes gubernamentales incompletos, incrementos de costos de infraestructura, disminución de la calidad del activo, reglamentos incompletos que no protegen a los usuarios.
Palacios Juan (2008) CEPAL	A favor de las APP, ya que incrementan la inversión.	Falta integración de las industrias, falta de prevención de integrar a las industrias.
Díaz Érick. (2014) FORBES	Uso del activo, aunque se pague cuota.	Corrupción, compadrazgo. Mala calidad del activo.
Mendoza, Elva (2012) Voltairenet	Aparente desarrollo social.	Privatización por parte de BID.
Hall David. (2015) Public Services International Research Unit, PSIRU. Universidad de Greenwich, Reino Unido.	Aparente desarrollo social y económico.	No existe incremento de valor. Corrupción, soborno, tergiversación sistemática. Desaprueba las APP.
Hernández Trillo Fausto. (2010) México Evalúa.	Contribuye al desarrollo social y económico del país.	Deficiente planeación en los proyectos, tardía adecuación del marco legal, falta de capacitación de los centros de la SCT, proceso de presupuestación politizado.
Ada, H. y Ada, I. (2014) Universidad Iberoamericana.	Apoyan la contribución social y económica las APP.	Deficiente planeación, sobrecostos, mala calidad del activo.
Alborta, Stevenson, Triana. 2011 (BID)	Existen lecciones aprendidas en la coordinación entre instituciones en el manejo de riesgos. El clima de negociación impulsa realizar APP.	Proyectos complejos con asimetría de la información, incremento de costos de transacción, se demanda comunicación con la sociedad.

Fuente: INFRASCOPIO 2019. Evaluando el entorno para las asociaciones público-privadas en América Latina y el Caribe. The Economist Intelligence Unit Limited

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID), realizó en el 2011 un análisis a las APP, nombrado «Una visión hacia el futuro»⁷, en el que se destaca que los proyectos de APP son complejos, de larga maduración, e implican un detallado esquema de asignación de riesgos entre las partes y exigen un cambio de paradigma en la manera tradicional de prestar servicios tanto de la parte pública como de la parte privada. Por ello, para realizar un proyecto APP es fundamental considerar los siguientes factores:

1. Requieren altos niveles de inversión en la estructuración contractual, técnica y económica. Los altos costos de transacción constituyen un factor a ser analizado cuando se evalúa la factibilidad de este tipo de proyectos.
2. Suelen presentarse asimetrías de información, dado que usualmente el sector privado cuenta con más recursos financieros y humanos para gestionar y definir un proyecto con la contraparte.
3. Los impactos fiscales de contingencias e imprevistos deben ser cuidadosamente cuantificados y, de acuerdo con su probabilidad de ocurrencia incluidos en las cuentas fiscales.
4. Al tratarse de contratos de largo plazo, algunas de las condiciones iniciales pueden requerir modificaciones, lo cual implicaría renegociaciones y mayores costos de transacción.
5. La complejidad técnica es inherente a cada sector. La complejidad en la estructuración y en las condiciones contractuales y financieras se puede prestar a economías de escala. Las lecciones aprendidas en un sector pueden ser o no aplicables a otro sector.
6. Este tipo de proyectos exige un mayor esfuerzo en materia de regulación y supervisión por parte del Estado, aunque por otro lado libera a este último de las actividades de ejecución y operación.

⁷ Banco Interamericano de Desarrollo (BID), "Asociaciones públicas privadas para la prestación de servicios. Una visión hacia el futuro".

La asignación de riesgos y responsabilidades en los acuerdos de APP debe responder a principios realistas de equidad y balance para ambas partes. Si las evaluaciones de riesgo no son realistas, o se asignan demasiados riesgos al sector privado, los inversionistas privados no se interesarán o cargarán un costo adicional por el riesgo, por otro lado, si el sector privado no asume algunos de los riesgos o se asignan demasiados riesgos al Gobierno, se pierde el espíritu de un esquema de APP y no se maximiza el potencial de ganancias; además de la identificación y asignación de riesgos, su tratamiento en caso de que ocurran eventos inesperados es igualmente importante y, por ende, las normas para la resolución de controversias en cuanto a su manejo deben estar claramente especificadas en el contrato, así como también los mecanismos de arbitraje.

Se identifica una serie de riesgos importantes relacionados con el manejo fiscal, el impacto de mediano y largo plazo de estos proyectos. El clima de negocios y el entorno macroeconómico y financiero tienen una incidencia clave en la capacidad de los países para realizar proyectos de APP.

The Economist Intelligence Unit es parte del Economist Group⁸, fundada en 1946 como una unidad de investigación interna del periódico The Economist, con el apoyo del Fondo Multilateral de Inversiones del Banco Interamericano de Desarrollo (FOMIN/BID) y el Banco Europeo de Reconstrucción y Fomento⁹, desarrollaron una metodología para evaluar y determinar un índice que mide las condiciones y capacidades de veintiún países de América Latina y el Caribe para llevar a cabo una APP en el sector de infraestructura. La primera edición de esta metodología, denominada Infrascopio, se dio a conocer en junio de 2009, la edición actual presenta una metodología creada en 2016 para reflejar los últimos desarrollos de la industria para las APP en infraestructura.

El Infrascopio del año 2019 recopiló y presentó datos sobre cómo los países abordan todos los posibles impactos de la inversión privada en infraestructura y brinda una oportunidad para que los inversionistas y los responsables de política evalúen su progreso. Al mismo tiempo resalta los riesgos que la implementación adecuada de las APP debe abordar, incluida la presión fiscal, la reacción del público, la distribución adecuada del riesgo entre los socios, la durabilidad del respaldo político y la madurez normativa e institucional.

De acuerdo con la metodología, el índice Infrascopio 2019 consta de veintitrés indicadores de naturaleza cualitativa y cuantitativa; los datos para los indicadores cuantitativos se han extraído de The Economist Intelligence Unit y de la base de datos de Participación Privada en Infraestructura del Banco Mundial y los datos cualitativos provienen de varias fuentes primarias como textos legales, sitios web gubernamentales, informes de prensa, entrevistas e informes de la industria.

⁸The Economist Intelligence Unit, "El líder mundial en inteligencia empresarial".

⁹The Economist Intelligence Unit, "Evaluando el entorno para las asociaciones público-privadas en América Latina y el Caribe Infrascopio 2010".

Las cinco categorías y los veintitrés indicadores del índice se enumeran a continuación:

1. Regulaciones / Marco normativo (ponderado al 20%)

- 1.1 Entorno legislativo propicio en materia de APP.
- 1.2 Criterios de selección de las APP.
- 1.3 Imparcialidad y transparencia de las licitaciones y los cambios en los contratos.
- 1.4 Esquemas de conciliación.
- 1.5 Registro de asignación de riesgos de los entes reguladores.
- 1.6 Coordinación entre entidades gubernamentales.
- 1.7 Renegociaciones.
- 1.8 Sostenibilidad.

Se destaca que las leyes en materia de APP requieren una alineación similar entre las APP y las prioridades de desarrollo nacional; se tienen reguladas las renegociaciones, pero faltan garantías de transparencia e independencia.

2. Instituciones / Marco institucional (ponderado al 20%)

- 2.1 Marco institucional de las APP.
- 2.2 Estabilidad de una agencia específica para las APP.
- 2.3 Recursos para la preparación de proyectos.
- 2.4 Transparencia y rendición de cuentas.

Examina el diseño y las responsabilidades de las instituciones que preparan, adjudican y supervisan las APP mediante el análisis de indicadores que miden la existencia y la dotación adecuada de personal de una agencia específica de APP, las líneas de informes y la independencia de la agencia específica para las APP, la existencia de recursos y fondos para preparar proyectos, la transparencia en torno a la presentación de informes sobre las APP.

3. Madurez / Madurez operativa (ponderado al 20%)

- 3.1 Experiencia con contratos de APP en infraestructura.
- 3.2 Riesgo de expropiación.
- 3.3 Rescisión de contratos.

Examina la experiencia del país en la implementación de proyectos de APP y la capacidad del Gobierno para cumplir con las leyes y regulaciones, se basan en datos cuantitativos de la base de datos de Participación Privada en Infraestructura del Banco Mundial, incluido el tamaño de la inversión de APP durante los últimos cinco años como una proporción del producto interno bruto actual y el número de cancelaciones de APP informadas durante los cinco años anteriores.

4. Clima de inversiones y negocios / Clima de inversión (ponderado al 20%)

- 4.1 Efectividad política.
- 4.2 Clima empresarial.
- 4.3 Voluntad política.
- 4.4 Clima de competencia en la industria local.

Mide los panoramas empresarial, político y social para la inversión en general, analizan los panoramas político y empresarial en general de un país.

5. Financiamiento / Facilidades financieras (ponderado al 20%)

5.1 Riesgo de pago del Gobierno.

5.2 Mercado de capitales para el financiamiento privado de infraestructura.

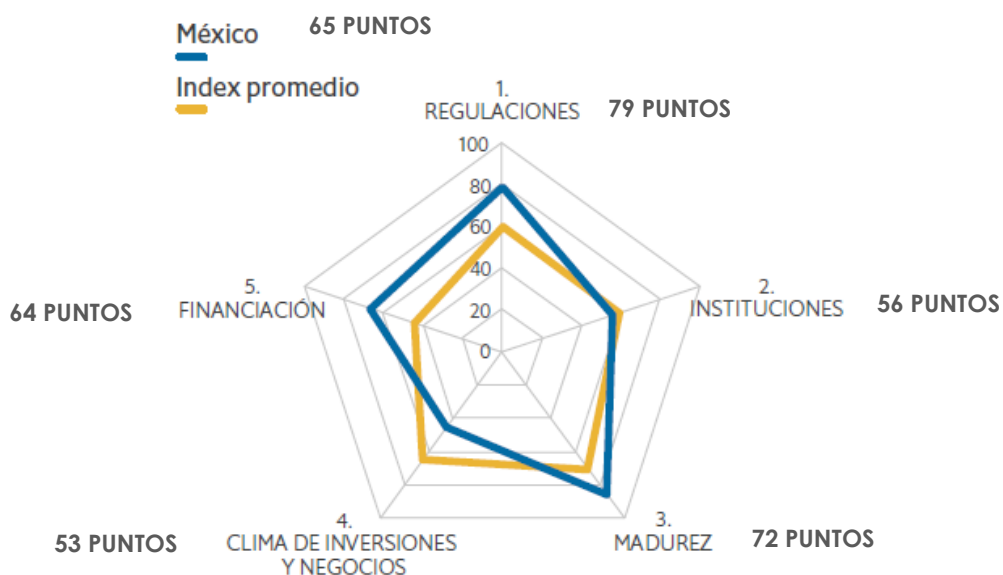
5.3 Inversionistas institucionales y mercado de seguros.

5.4 Riesgo cambiario.

Mide el riesgo de que un Gobierno no logre pagar sus deudas o incumpla un contrato de préstamo, las calificaciones de riesgo y otros servicios de inversión son clave para garantizar que los inversionistas institucionales puedan participar en este tipo de proyectos.

Como se puede observar, cada factor identificado tiene una ponderación específica, es decir, un grado de incidencia dentro del conjunto de los factores identificados y con base en los resultados globales se destaca que Chile se encuentra en el primer lugar del ranking global con una calificación de 80 sobre un puntaje de 100, mientras que México ocupa la posición número 11 de 21 países analizados con un puntaje global de 65, como se aprecia en la figura 9.

Figura 9. Puntaje obtenido en México en el análisis de Infrascopio



Fuente: INFRASCOPIO 2019. Evaluando el entorno para las asociaciones público-privadas en América Latina y el Caribe. The Economist Intelligence Unit Limited

En razón de lo anterior, se detecta que resulta necesario intervenir en el desarrollo de estrategias para mejorar la implementación de las APP, la experiencia en México en la ejecución de las APP ha resaltado que los errores comunes del esquema radican en una inadecuada asignación del riesgo y una mala evaluación del desempeño, creer que todos los riesgos se pueden transferir al sector privado mientras que el sector público mantiene sus recursos tradicionales; la relación precio-calidad genera confusión ya que se basa en la percepción de que únicamente es importante el costo de la inversión; además se ha identificado que el sector público es reducido y en algunos casos con poca preparación.

Por otra parte, en la actualidad se tienen mayores requerimientos administrativos; los estudios de ingeniería son insuficientes; el tiempo para el desarrollo de los proyectos es limitado; además, de que en algunos casos se tiene una construcción de bajo costo y deficiente debido a la subcontratación; y la mayoría de los programas de obra se realizan con base en términos políticos y no bajo el proceso real que demanda la obra, por lo que las causas más comunes para el fracaso de los APP son las estimaciones erróneas de potenciales ingresos, el sobrestimar al mercado y la insolvencia de los operadores.

Además, se enfatiza que para la mayoría de los proyectos, el contrato de APP se realiza de manera particular para cada proyecto, con su propio esquema de distribución y mitigación de riesgos, lo que ha implicado numerosas renegociaciones y litigaciones pos-contractuales, en la mayoría de los casos, los esquemas de arbitraje y resolución de conflictos pueden mejorarse y no en todos los casos se cuenta con el marco institucional adecuado para la supervisión y regulación de proyectos con este grado de complejidad.

Por otra parte, se destaca desde el punto de vista de los inversionistas que la divulgación de información sobre las APP presenta beneficios para todos los actores involucrados, las prácticas de transparencia y acceso a la información estandarizadas pueden reducir el riesgo de corrupción y renegociación, así como el de incurrir en análisis deficientes sobre el valor del financiamiento; de tal forma que se logra generar aceptación y apoyo para los proyectos en la ciudadanía, mientras que la falta de transparencia puede generar retrasos y dificultades en la ejecución.

La Ley de Asociaciones Público Privadas de México y sus regulaciones aportan el marco regulatorio para las APP en México, la nueva legislación de APP puede aplicarse a nivel federal, regional y municipal, algunos estados han creado sus propios marcos de APP, sin embargo, no existe una agencia a nivel federal o estatal exclusivamente de APP, esta ley otorga a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) la facultad para interpretar la ley con fines administrativos.

Finalmente, desde un punto de vista económico y financiero, las APP se caracterizan por ser una inversión que se recupera en el tiempo a partir de los flujos que el propio proyecto genera dentro de los que se encuentran los peajes, tarifas, pagos por disponibilidad, pagos por uso u otros. Bajo este esquema, frente a un evento crediticio o de terminación anticipada, no cabe recurso al balance corporativo de ninguna de las empresas que integran el consorcio, sino únicamente a los flujos del proyecto, a los activos derivados de las inversiones realizadas, y a otros derechos y obligaciones contemplados en el contrato de APP; a diferencia de lo que ocurre en una obra pública tradicional, donde las inversiones se recuperan a medida que las obras se van realizando y luego de que la administración pública reconoce las obras ejecutadas, las inversiones en las APP se recuperan a lo largo de un amplio período de tiempo a través de los flujos generados por la infraestructura y/o las aportaciones del Estado conocidos como pagos por uso y disponibilidad frente al cumplimiento de los estándares de desempeño del servicio previamente acordados.

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Entre 1990 y 2018, México adjudicó un total de 305 proyectos de infraestructura con participación privada por un valor aproximado de 163 000 millones de dólares. De acuerdo con la base de datos de Participación Privada en Infraestructura del Banco Mundial¹⁰, los proyectos que alcanzaron el cierre financiero durante este período incluyeron 79 proyectos viales por 26,500 millones de USD, 73 proyectos de electricidad por 22,700 millones de USD, 55 proyectos de agua y saneamiento por 6,300 millones de USD, 43 proyectos de gas natural por 12,900 millones de USD, 30 proyectos portuarios por 2,800 millones de USD, 11 proyectos de tecnología de la información y la comunicación por 4,500 millones de USD, 8 proyectos ferroviarios por 6,200 millones de USD y 6 proyectos aeroportuarios por 3,300 millones de USD.

Uno de los problemas a los que se enfrentan las APP es que no existe una evaluación del desempeño que permita desarrollar un esquema de recuperación de costos para el sector privado así como calibrar y definir correctamente los parámetros de desempeño y estándares de servicios para cada contrato en específico en función de sus características propias, el esquema carece de una herramienta apropiada que determine los parámetros de desempeño adecuados, por lo que el potencial de mejora del proyecto se ve limitado para la toma de decisiones referente a la inversión del proyecto, lo que destaca la necesidad de la aplicación de métodos que permitan analizar la eficiencia y mejorar el desempeño con el que funcionan los MRO, y así lograr la obtención de resultados que ayuden a reducir la incidencia de malas decisiones al elegir adecuadamente los proyectos.

Se requiere que una APP genere un mayor valor por el dinero invertido en un proyecto, por lo que un análisis permite cuantificar si efectivamente la participación privada crea valor en el largo plazo durante el ciclo del proyecto y así conocer si se optimiza el valor del dinero proveniente de los recursos públicos. Entre los rubros que generalmente permiten que los proyectos creen valor se encuentran el tener menores costos en el ciclo de vida del proyecto, una mejor asignación de riesgos, aceleración en la implementación, mejor calidad del servicio y una generación de ingresos adicional; además, se espera que los estándares de servicio se mantengan durante el ciclo de vida del contrato, que la prestación de los servicios comience de acuerdo con el programa establecido, los involucrados se sientan satisfechos con la solución propuesta, los activos proporcionados como parte del proyecto sean de una calidad suficiente para una exitosa prestación de servicios y, a menos que se presenten razones de fuerza mayor o de interés público, las renegociaciones de los contratos sean mínimas.

¹⁰The Economist Intelligence Unit Limited 2019, "INFRASCOPIO 2019. Evaluando el entorno para las asociaciones público-privadas en América Latina y el Caribe".

Para determinar el valor por el dinero que genera la APP es necesario contar con un análisis de riesgos, así como con los análisis de viabilidad económica y financiera, este análisis permite que el sector público evalúe la conveniencia de desarrollar un proyecto de MRO mediante una APP, sobre los esquemas tradicionales de provisión pública. El indicador resultante es el valor por el dinero, el cual mide la diferencia entre el valor presente de los costos del proyecto mediante una modalidad APP, bajo el supuesto de que los beneficios netos son iguales o mayores al implementar esta modalidad, por lo que resulta indispensable fortalecer la coordinación y asignación de recursos, así como establecer mejores mecanismos para seleccionar y determinar prioridades con criterios estrictos de rentabilidad social o económica y maximizar el impacto de los proyectos en el desarrollo nacional.

Para conseguir una mayor credibilidad y sostenibilidad de las APP se debe tener una opción para evaluar el desempeño de estos proyectos por lo que se propone utilizar una metodología para cuantificar la eficiencia en el esquema de Mantenimiento, Rehabilitación y Operación (MRO), empleando el Análisis Envolvente de Datos (Data Envelopment Analysis – DEA, por sus siglas en inglés), el cual se puede definir como una técnica de programación matemática no paramétrica, que permite establecer una superficie envolvente como frontera de eficiencia técnica o relativa de un conjunto de Unidades Tomadoras de Decisiones o DMU (Decision Making Units, por sus siglas en inglés); en la literatura se identifica como DMU a cada una de las unidades tomadoras de decisiones; la técnica del DEA brinda la posibilidad de medir la eficiencia relativa de cada unidad respecto de la DMU más eficiente.

El DEA se trata de una herramienta de análisis cuantitativo que permite estudiar el desempeño de unidades productivas que participan en el estudio, procura constituirse en un instrumento superador del enfoque tradicional basado en el cálculo de indicadores de productividad parcial ya que posee la ventaja de facilitar un tratamiento multidimensional, desde el espacio de los insumos como del de los productos con los que se trabaje, por lo que se puede decir que la utilización del DEA brinda una perspectiva sistémica e integradora para estudiar en forma comparada, el desempeño de las DMUs analizadas.

2.2 IMPORTANCIA DEL PROBLEMA

Ahora que la primera generación de APP iniciada en la década de 1990 se encuentra en una etapa de maduración y terminación, México se enfrenta a nuevas carteras de proyectos que requieren mayor apoyo institucional para garantizar su viabilidad financiera. Los niveles de complejidad aumentan dado que la nueva cartera de inversiones incluye no solamente proyectos de infraestructura más complicados, sino también nuevos sectores en los que resulta más difícil introducir socios privados para la inversión y operación, como educación, salud y el caso de los centros penitenciarios.

La primera generación de APP ha dejado una serie de lecciones aprendidas en México, en particular en cuanto a los aspectos de capacidad institucional y de coordinación entre instituciones, y sobre todo en el manejo y asignación de riesgos entre las partes, ya que se han identificado algunas fallas en la instrumentación de la APP que en algunos casos han provocado que el sector público intervenga para lograr sacar adelante los servicios que por mandato se encuentran bajo su cargo; en estas situaciones, el sector privado se beneficia y el Gobierno es el responsable de resarcir y asumir los costos provocados por las deficiencias; por lo que resulta de suma importancia para la correcta aplicación de los esquemas APP la evaluación precisa de los proyectos para conseguir una óptima instrumentación y lograr la mayor viabilidad de los distintos proyectos para garantizar los beneficios que prometen los nuevos modelos de financiamiento carretero.

2.3 OBJETIVO GENERAL

Realizar una evaluación de la eficiencia productiva mediante el Análisis Envolvente de Datos (Data Envelopment Analysis - DEA), del esquema de Asociaciones Público Privado aplicado al modelo de Mantenimiento, Rehabilitación y Operación (MRO), con la finalidad de obtener los parámetros que se involucran directamente con el desempeño de este tipo de proyectos en función de indicadores técnicos y económicos.

2.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analizar el comportamiento técnico, financiero y operacional de los proyectos de Mantenimiento, Rehabilitación y Operación (MRO).
- b) Utilizar la metodología del Análisis Envolvente de Datos (Data Envelopment Analysis - DEA), para cuantificar la eficiencia en los proyectos MRO.
- c) Implementar una herramienta que permita establecer mejores mecanismos para seleccionar los proyectos MRO.

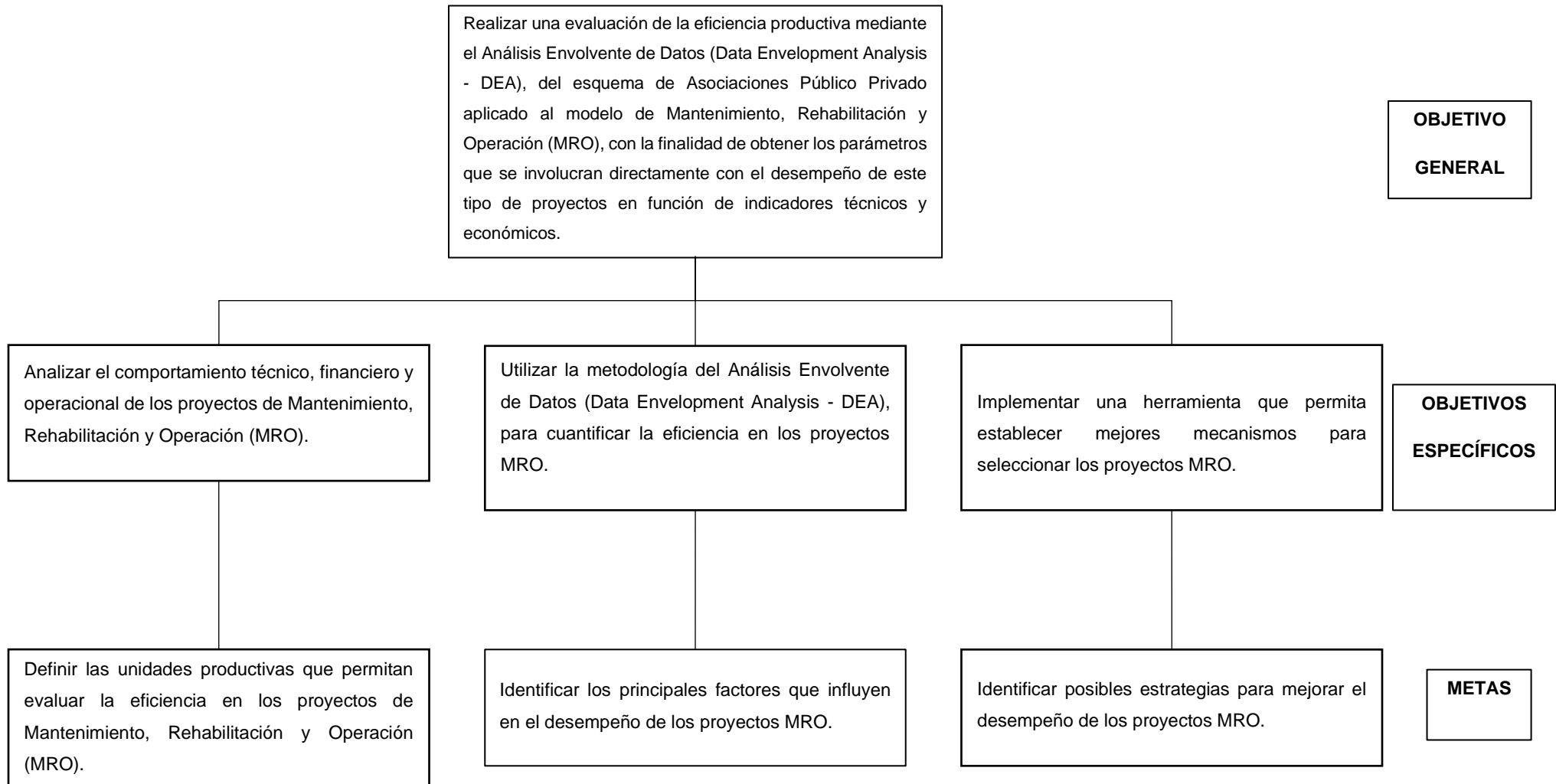
2.5 METAS

- a) Definir las unidades productivas que permitan evaluar la eficiencia en los proyectos de Mantenimiento, Rehabilitación y Operación (MRO).
- b) Identificar los principales factores que influyen en el desempeño de los proyectos MRO.
- c) Identificar posibles estrategias para mejorar el desempeño de los proyectos MRO.

2.6 HIPÓTESIS

El realizar un análisis con la metodología de la envolvente de datos (DEA) para el esquema de Asociaciones Público Privado aplicado al modelo de Mantenimiento, Rehabilitación y Operación (MRO), permitirá obtener indicadores cuantitativos para definir parámetros de desempeño del proyecto, lo que permitirá tener una planeación y toma de decisiones correcta.

2.7 ÁRBOL DE OBJETIVOS



CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL DEL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS (DEA)

3.1 GENERALIDADES DEL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS (DEA)

El método del Análisis Envolvente de Datos (DEA, Data Envelopment Analysis, por sus siglas en inglés), implica el uso de métodos de programación lineal para construir una superficie o frontera no paramétrica envolvente de datos, de un conjunto de unidades tomadoras de decisión conocidas como DMU (Decision Making Units, por sus siglas en inglés), el término DMU se ha extendido para referirse a cualquier tipo de productor o unidad de producción como empresas, sectores, industrias, regiones, países, universidades, bancos, proyectos, personas o incluso subdivisiones o áreas de las mismas, por lo que se considera que el concepto de una DMU es genérico y flexible, lo que permite su uso en una amplia gama de aplicaciones.

El DEA surge como una extensión del trabajo de M.J. Farrell¹¹ en el año de 1957 en Estados Unidos, quien propuso una forma objetiva de medir la eficiencia al tomar como base las unidades analizadas de alguna organización o entidad y considerar todos sus insumos (inputs) o entradas que son los recursos empleados y todos sus productos (outputs) o salidas generadas, dado que todo proceso productivo de bienes o servicios involucra la utilización de recursos para transformar los inputs en outputs con la finalidad de satisfacer las necesidades para los que se crea el bien o servicio.

La técnica del DEA permite construir una superficie envolvente, frontera eficiente o función de producción empírica, a partir de los datos disponibles del conjunto de unidades productivas objeto de estudio y brinda la posibilidad de medir la eficiencia relativa de cada unidad de estudio definida respecto de la DMU más eficiente, de tal forma que las DMUs que determinan la envolvente son denominadas unidades eficientes y aquellas que no permanecen sobre la frontera o superficie envolvente son consideradas unidades no eficientes.

Definición de eficiencia técnica

El concepto de eficiencia¹² se utiliza para caracterizar la utilización de los recursos, se puede considerar que la eficiencia es una relación sobre el desempeño de los procesos que transforman un conjunto de entradas en un conjunto de salidas. La eficiencia es un concepto relativo ya que el desempeño de una unidad debe necesariamente compararse con un estándar y el establecer un estándar implica juicios de valor sobre los objetivos de las actividades. De forma simple, se tiene que la eficiencia indica una relación entre lo que se produce y lo que se debe producir, es decir, para saber si se está produciendo de manera eficiente necesariamente debe existir un marco de comparación.

¹¹ "The measurement of productive efficiency", Farrell. Royal Statistical Society.

¹² JSTOR, "On the Measurement of Productive Efficiency", Finn R. Førsund and Lennart Hjalmarsson. Journal of economic theory.

En otras palabras, la eficiencia técnica se puede definir como la capacidad de una organización para conseguir la máxima producción a partir de un conjunto de inputs, por lo que la medida de la eficiencia puede variar entre 0 y 1, donde 1 indica que la empresa es completamente eficiente y opera en la frontera de producción y un valor menor que 1 representa que la unidad productiva opera por debajo de la frontera eficiente, de tal forma que la diferencia entre 1 y el valor obtenido del análisis establece la ineficiencia técnica.

La eficiencia puede ser medida en diferentes niveles, los cuales se detallan a continuación:

i) Nivel macro

Se utiliza para indicar la eficiencia en el desempeño económico de una unidad observada de recursos en diferentes sectores y se compara con el resultado de alguna asignación ideal; la asignación ideal suele ser una asignación óptima dada la distribución de ingresos existente.

ii) Nivel industria

El propósito es medir el desempeño relativo de las entidades dentro de una industria y brindar una imagen de la estructura de la misma; una función de producción de frontera sirve para medir el desempeño de tal forma que las medidas de eficiencia a este nivel muestran el potencial para un aumento en la producción mediante el empleo de sus recursos.

iii) Nivel micro

La eficiencia a nivel de una sola entidad se concentra en la utilización de los recursos dentro de la misma; las medidas a nivel de industria se basan en conjuntos dados de posibilidades de producción para cada una de las entidades. Los problemas a nivel microeconómico son los problemas administrativos y de ingeniería de alcanzar el máximo rendimiento para un conjunto dado de insumos o entradas.

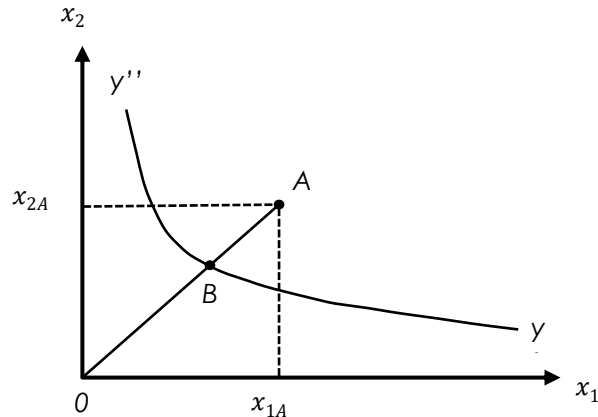
Farrell propuso que la eficiencia de una entidad consta de dos componentes: la eficiencia técnica, que refleja la capacidad de una empresa para obtener el máximo rendimiento de un conjunto de insumos, y la eficiencia de asignación, que refleja la capacidad de una entidad para utilizar los insumos en proporciones óptimas, dados sus respectivos precios y la tecnología de producción; estas dos medidas se combinan para proporcionar una medida de la eficiencia económica total.

Además, estableció que la comparación debe estar en función de la mejor marca o lo que hoy se conoce como benchmarking¹³ o referenciación observada entre un conjunto de entidades o DMU, a las que se desee equiparar, identificó dos formas en las que se produce de manera ineficiente. La primera llamada ineficiencia técnica ocurre cuando se utilizan más insumos de los que se requieren en el proceso de producción de acuerdo con la tecnología existente por lo que es necesario contar con las cantidades utilizadas de insumos y productos; la segunda forma es nombrada ineficiencia de asignación y resulta al no contar con la mejor combinación de insumos, dados los costos de estos.

¹³ El benchmarking es una herramienta de corte administrativo, útil para mejorar los procesos de cualquier organización.

Farell definió la eficiencia técnica como la distancia existente entre la mejor unidad tomadora de decisión y la marca real de la DMU que se desea comparar; esto se puede apreciar en la figura 10, donde se tiene un producto que requiere de los insumos X_1 y X_2 , para su elaboración.

Figura 10. Eficiencia técnica establecida por Farrel.



Fuente: An Introduction To Efficiency and Productivity Analysis, Timoty Coelli, 1998.

La curva $y-y''$, muestra la combinación de insumos necesaria para producir una unidad de producto en condiciones de máxima eficiencia, lo que indica que cualquier punto situado fuera de la frontera definida por la curva trabaja de manera ineficiente; situación que ocurre con el punto A, en el cual se produce la misma cantidad que en el punto B, pero con mayor utilización de insumos; de tal forma que sí se mide la distancia existente entre los puntos A y B, se obtiene la cantidad que puede reducir el consumo de insumos, sin alterar la cantidad producida, lo que permite obtener el índice de eficiencia técnica de la siguiente manera:

$$ET = \frac{\overline{OB}}{\overline{OA}} \in [0,1]$$

En razón de lo anterior, se tiene que Farrel introdujo la medida de eficiencia técnica, con una orientación de conservación de insumos, su medida se define como uno menos la máxima reducción equiproporcional, es decir, radial, en todos los insumos que es factible con tecnología y productos dados. Con una orientación de aumento de productos, su medida se define como la máxima expansión radial en todos los productos que es factible con los insumos dados. En ambas orientaciones, el valor de la unidad indica eficiencia técnica porque no es factible un ajuste radial, y un valor diferente de la unidad indica la gravedad de la ineficiencia técnica. En otras palabras, la eficiencia total se alcanza si y solo si ninguna de sus entradas o salidas puede mejorarse sin empeorar algunas de sus otras entradas o salidas; y la eficiencia relativa de una entidad se obtiene sobre la base de las entidades disponibles si y solo si el desempeño de otras entidades no muestra que algunas de sus entradas o salidas pueden mejorarse sin empeorar algunas de sus otras entradas o salidas.

Una vez definida la eficiencia técnica, se debe determinar la frontera de la misma, lo que corresponde a la curva $y-y^*$; para la medición de la eficiencia técnica en los últimos años se han desarrollado dos enfoques denominados paramétrico y no paramétrico, para cada enfoque existen diversos modelos; el enfoque paramétrico consiste en determinar a través de técnicas econométricas una función de frontera al utilizar una representación paramétrica de la tecnología con un concepto de error compuesto; en la práctica se prefiere utilizar el modelo no paramétrico debido a que se resuelve mediante técnicas de programación lineal, y se calcula la frontera productiva directamente de los datos sin imponer restricciones a priori a la función frontera por lo que sólo es necesario contar con las cantidades utilizadas de insumos y de productos.

Definición de productividad

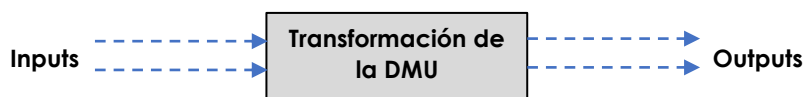
La productividad¹⁴ es el acto de transformar los insumos en productos, ya que el objetivo de los procesos productivos es la creación de valor a través de dicha transformación; de tal forma que los insumos son los recursos con usos alternativos y los productos son los resultados deseables. La cantidad no gastada de cualquier insumo se puede utilizar para producir más del mismo producto o para producir un producto diferente.

En términos generales, se entiende por productividad la relación entre las salidas (outputs) que se producen y las entradas (inputs) que son utilizadas, como se muestra a continuación:

$$Productividad = \frac{salidas}{entradas}$$

Cuando el proceso de producción involucra una sola entrada y una sola salida, este cálculo es un asunto sencillo; sin embargo, en la realidad existe más de un insumo y más de un producto, como se muestra en la figura 11, por lo que se debe utilizar alguna metodología para agregar estos insumos en un solo índice de productividad del total de los insumos para obtener una medida de proporción de la misma, por lo que se tiene que la productividad es una medida descriptiva del desempeño.

Figura 11. Una DMU transforma sus entradas en salidas.



Fuente: The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth, Harold O. Fried C. A. Knox Lovell Shelton S. Schmidt, 2008.

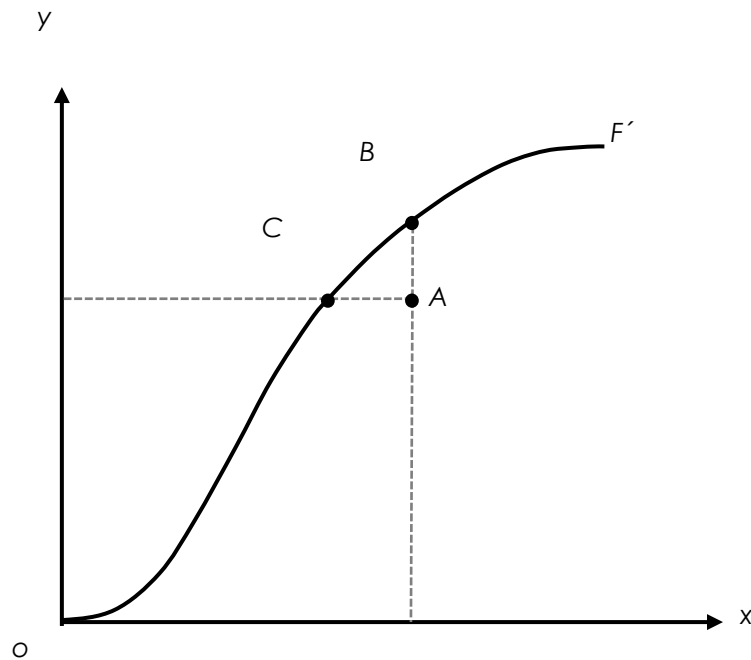
Se considera que la productividad total de los factores es una medida que involucra a todos los factores de producción, sin embargo, también existen otras medidas tradicionales de productividad, denominadas medidas parciales de productividad; estas medidas parciales pueden proporcionar una indicación engañosa de la productividad general cuando se consideran de forma aislada.

¹⁴ Data Envelopment Analysis. Theory and Techniques for Economics and Operations Research. SUBHASH C. RAY University of Connecticut, Cambridge University Press.

En la figura 12, se considera un proceso de producción simple en el que se utiliza un solo insumo (x) para producir un solo producto (y), en donde la línea OF' representa la frontera de producción que puede usarse para definir la relación entre la entrada y la salida. La frontera de producción representa la producción máxima alcanzable de cada nivel de entrada, de tal forma que las entidades operan en esa frontera son técnicamente eficientes, y las unidades que trabajan por debajo de la frontera no son técnicamente eficientes; por lo que el punto A representa un punto ineficiente mientras que los puntos B y C representan puntos eficientes; una empresa que opera en el punto A es ineficiente porque técnicamente podría aumentar la producción al nivel asociado con el punto B sin requerir más insumos.

El concepto de conjunto de producción factible, es el conjunto de todas las combinaciones de insumo-producto que son posibles, este conjunto consta de todos los puntos entre la frontera de producción, OF' y el eje x ; los puntos a lo largo de la frontera de producción definen el subconjunto eficiente de este conjunto de producción factible.

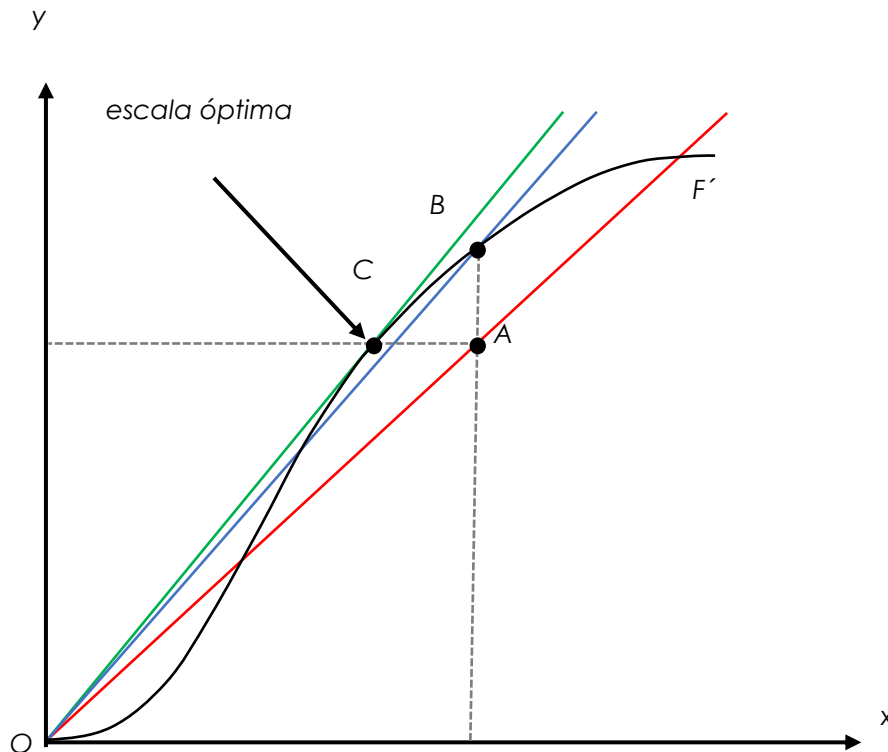
Figura 12. Fronteras productivas y eficiencia técnica



Fuente: An Introduction To Efficiency and Productivity Analysis, Timoty Coelli, 1998.

Los términos productividad y eficiencia han sido utilizados de forma indistinta, pero esto es inadecuado porque son conceptos diferentes, para aclarar la diferencia entre los términos antes mencionados, se tiene la figura 13, en donde se utiliza una línea desde el origen para medir la productividad en un punto de datos particular; la pendiente de esta línea es y/x , por lo tanto, proporciona una medida de la productividad; si el punto A se trasladara al punto técnicamente eficiente B, la pendiente de la línea sería mayor, lo que implicaría una mayor productividad en el punto B, sin embargo, al trasladarse al punto C, la línea desde el origen está en una tangente a la frontera de producción y, por lo tanto, define el punto de máxima productividad posible, el punto C es el punto de escala técnicamente óptima. La operación en cualquier otro punto de la frontera de producción da como resultado una menor productividad, por lo que se tiene que una entidad puede ser técnicamente eficiente, pero aun así puede mejorar su productividad.

Figura 13. Productividad y eficiencia técnica



Fuente: An Introduction To Efficiency and Productivity Analysis, Timoty Coelli, 1998.

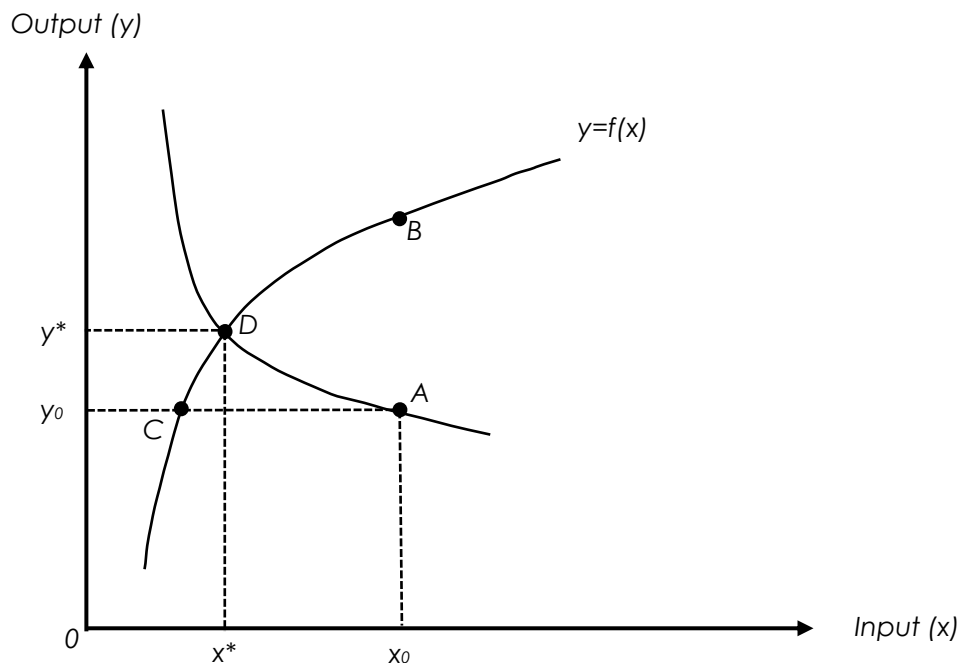
En general los criterios que se emplean para clasificar los modelos DEA son los siguientes:

i) *Radiales*¹⁵ o *proporcionales* y *no radiales*¹⁶, de acuerdo con el tipo de medida de eficiencia que brindan.

El DEA proporciona medidas de eficiencia radial, porque optimiza todas las entradas o salidas de una DMU en una cierta proporción; los modelos radiales se ocupan de cambios proporcionales de las entradas o las salidas como se aprecia en la figura 13; la medida obtenida con el modelo refleja el porcentaje de reducción o expansión de entradas o salidas máxima proporcional que es común a todas las entradas o salidas, según sea el caso; las medidas de eficiencia radial emplean unidades invariantes, es decir, que si se cambian las unidades de medida no cambia el valor de la medida de eficiencia.

Se debe tener en cuenta que, según la orientación del modelo, se puede expandir la salida o conservar la entrada, pero no se pueden realizar ambas consideraciones simultáneamente. En la figura 14, el punto A muestra las cantidades de insumo-producto observadas de una DMU. El punto B verticalmente sobre A es su proyección orientada a la salida en el gráfico, y el punto C es su proyección orientada a la entrada. El aumento simultáneo de la producción y la reducción de la entrada conducirían a algún punto en el cuadrante en la región entre C y B de la figura; por construcción, el punto observado y su proyección eficiente en el gráfico se encuentran en una hipérbola rectangular, llamada medida hiperbólica de la eficiencia técnica.

Figura 14. Modelos radiales



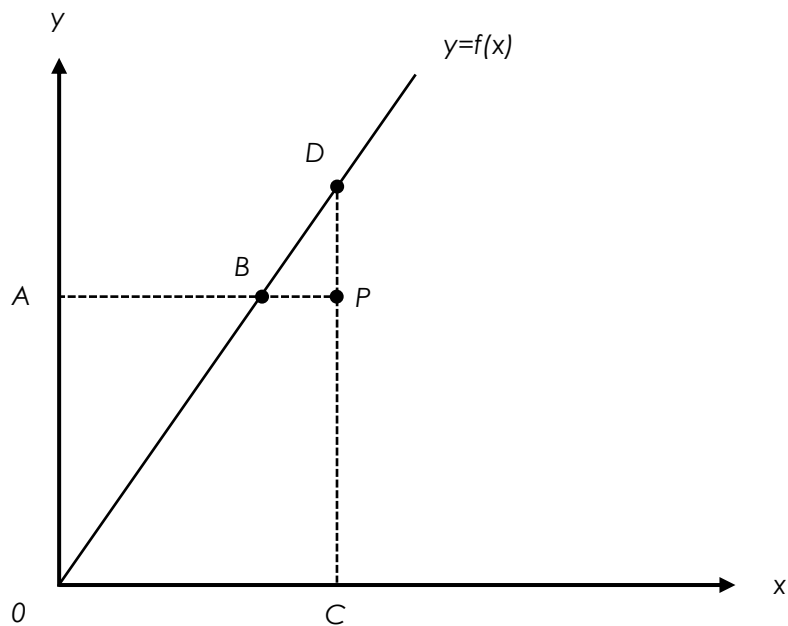
Fuente Data Envelopment Analysis Theory and Techniques for Economics and Operations Research, Subhash C. Ray, 2004.

¹⁵ "The measurement of productive efficiency", Farrell. Royal Statistical Society.

¹⁶ "Measuring the technical efficiency of production", R. Färe y C,A,K. Lovell, Journal of Economic Theory.

En el mundo real, no todas las entradas o salidas se comportan de manera proporcional, por lo que en el año 1978, Färe y Lovell¹⁷ introdujeron la medida de eficiencia no radial denominada medida de Rusell, que permite reducciones no proporcionales en entradas positivas o aumentos en salidas positivas. Una medida no radial, es considerada como la distancia más corta desde el punto eficiente hasta la frontera eficiente, lo que parece intuitivamente atractiva, pero tal medida no es invariable a las unidades de medida, es decir, que las unidades de medida podrían conducir a la identificación de un punto más cercano diferente. Los modelos no radiales, basados en holguras (SBM= slacks-based measure of efficiency, por sus siglas en inglés), dejan de lado la suposición de cambios proporcionales en las entradas y salidas, tratan directamente con las holguras, lo cual se representa en la figura 15; estos modelos están diseñados para utilizar unidades invariantes porque no varían con respecto a las unidades de datos, y son monótonos, ya que decrecen en cada holgura de la entrada y la salida.

Figura 15. Modelos no radiales



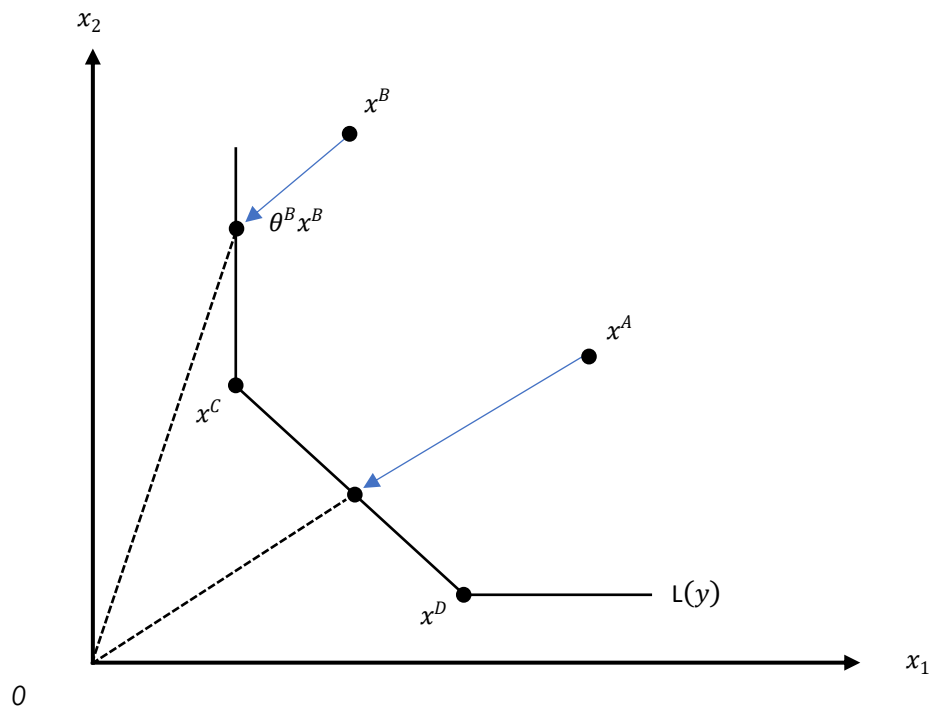
Fuente: An Introduction To Efficiency and Productivity Analysis, Timoty Coelli, 1998.

¹⁷ "Measuring the technical efficiency of production", R. Färe y C,A,K. Lovell, Journal of Economic Theory.

ii) *Orientación del modelo*, de acuerdo con la investigación realizada por Charnes, Cooper y Rhodes en 1981¹⁸, la eficiencia técnica obtenida mediante el modelo DEA se puede caracterizar con relación a las orientaciones o direcciones básicas al considerar los insumos y productos, es decir, se puede enfocar a los insumos (input), a los productos (output) o a los insumos y productos (input-output).

a) *Orientación a insumos*. Dado un nivel de producción establecido, se requiere la máxima reducción proporcional, es decir, minimizar el vector de los insumos mientras se mantiene en la frontera de posibilidades de producción, de tal forma que una DMU no es eficiente si es posible disminuir cualquier insumo sin alterar su producción. Los modelos orientados a la entrada se utilizan para probar si una DMU en evaluación puede reducir sus entradas mientras mantiene las salidas en sus niveles actuales, la figura 16, muestra la orientación del modelo enfocada a los insumos cuyo comportamiento es convexo, donde se aprecia que los vectores de entrada x^A y x^B están en el interior de $L(y)$, y ambos pueden contraerse radialmente y seguir siendo capaces de producir el vector de salida y . Los vectores de entrada x^C y x^D no se pueden contraer radialmente, sin embargo, son capaces de producir el vector de salida y porque se encuentran ubicados sobre la isocuanta¹⁹ de entrada $L(y)$.

Figura 16. Eficiencia técnica orientada a insumos



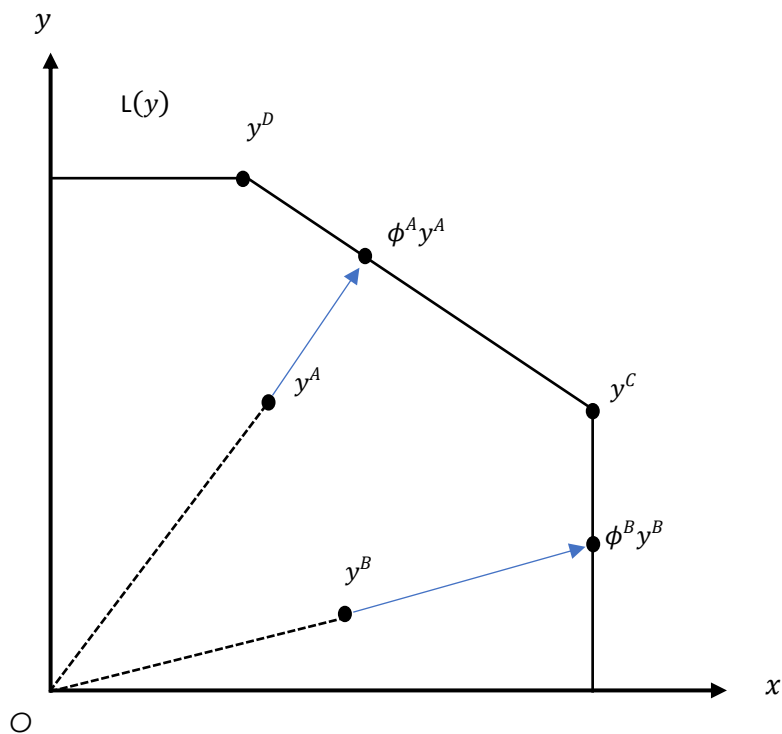
Fuente: The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth, Harold O. Fried C. A. Knox Lovell Shelton S. Schmidt, 2008.

¹⁸ "Measuring the efficiency of Decision Making Units", Charnes, D. W., Cooper, W. and Rhodes, E. (1978). European Journal of Operational Research.

¹⁹ Isocuanta. *Iso significa igual, quantum significa cantidad, lo que se refiere a cantidades iguales, motivo por el cual la isocuanta es la expresión gráfica de la función producción, en la que se busca mostrar las combinaciones alternas de los factores de la producción que se pueden utilizar para obtener un determinado nivel de producción.*

b) Orientación a productos. Dado un determinado nivel de insumos, el máximo incremento proporcional, es decir, maximizar los productos que permanecen dentro de la frontera de posibilidades de producción, una DMU no puede ser considerada como eficiente si es posible incrementar cualquier producto sin incrementar algún insumo y sin disminuir otro producto. Los modelos orientados a la salida se utilizan para probar si una DMU en evaluación puede aumentar sus salidas mientras mantiene las entradas en sus niveles actuales; la figura 17, muestra la orientación del modelo enfocada a los productos cuyo comportamiento es cóncavo, donde se aprecia que los vectores de salida y^C y y^D son técnicamente eficientes dada la utilización del insumo x , y los vectores de salida y^A y y^B no son eficientes porque no se encuentran ubicados sobre la isocuanta o frontera eficiente.

Figura 17. Eficiencia técnica orientada a productos

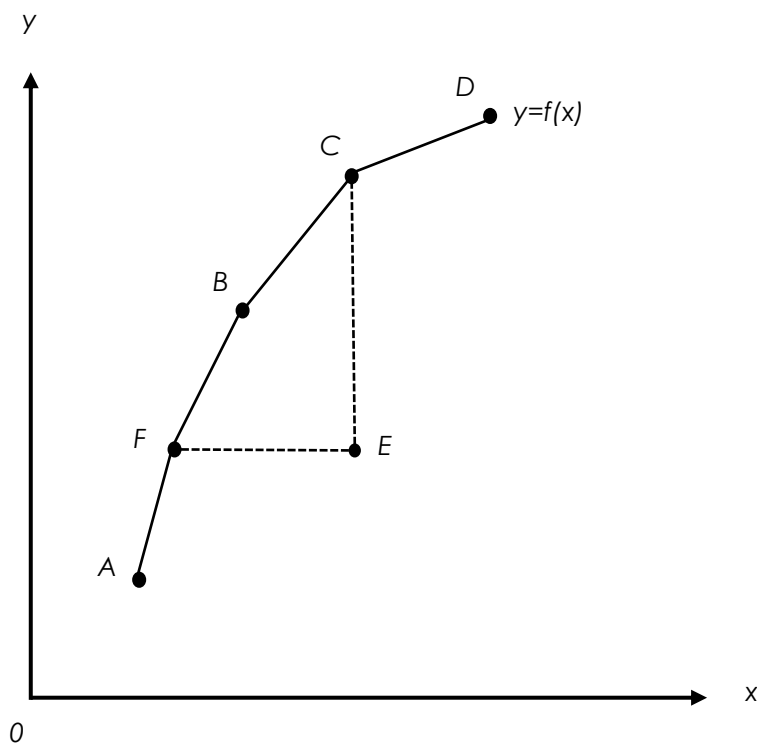


Fuente: The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth, Harold O. Fried C. A. Knox Lovell Shelton S. Schmidt, 2008.

iii) *Rendimientos a escala (RTS)*, (RTS=Returns to Scale, por sus siglas en inglés) constantes (CRS) (CRS = Constant Returns to Scale, por sus siglas en inglés) o variables (VRS) (VRS = Variable Returns to Scale, por sus siglas en inglés); se encuentran en función de la tipología de los rendimientos que caracterizan la tecnología de producción, es decir, de acuerdo con los procedimientos técnicos en los que los factores productivos (inputs) se combinan para obtener un conjunto de productos (outputs) de tal forma que la combinación de factores se caracteriza por la existencia de rendimientos a escala.

En la figura 18, se muestran cinco DMUs (A, B, C, D y E) con una entrada y una salida, la frontera de mejores prácticas se encuentra definida por la superficie envolvente formada por las DMU A, B, C y D. Las DMU AB y exhibe un rendimiento de escala creciente, B presenta un rendimiento de escala constante (CRS), BC y CD exhiben un rendimiento de escala decreciente, lo que genera como resultado que la frontera de mejores prácticas se denomine frontera variable VRS. La DMU E no es eficiente, porque usa demasiada cantidad de inputs y/o no produce suficientes outputs; por lo que existen dos formas de mejorar el rendimiento de la DMU E, la primera es reducir su entrada para llegar a F en la frontera, y la segunda es aumentar su salida para llegar a C en la frontera.

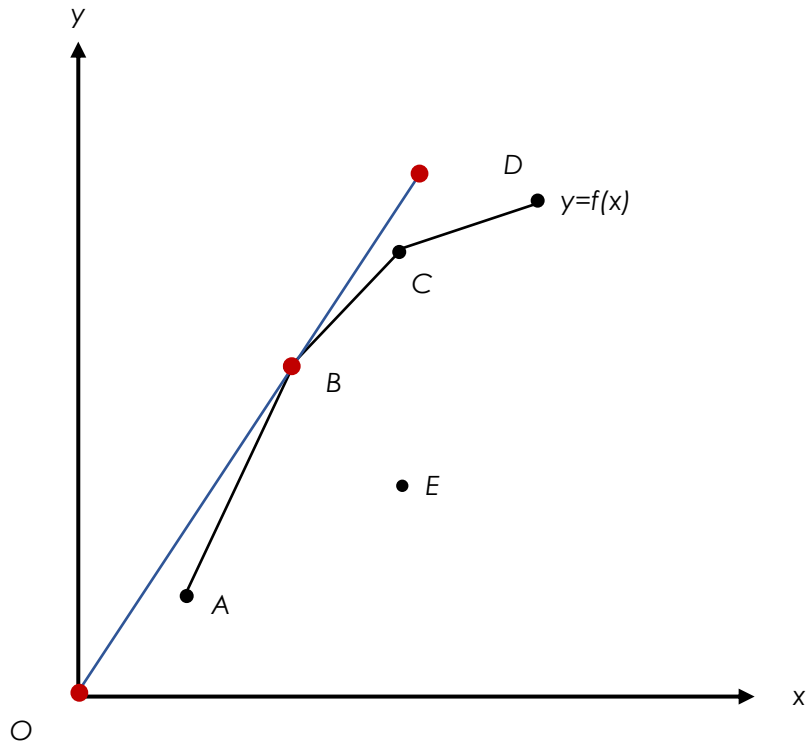
Figura 18. Frontera de rendimientos variables a escala (VRS)



Fuente: Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking Data Envelopment Analysis with Spreadsheets, Joe Zhu, 2003.

La figura 19 muestra una frontera con rendimientos de escala constante CRS, donde la frontera de mejores prácticas se encuentra dada por la línea OB; de tal forma que sobre esta frontera se tiene que sólo la DMU B es eficiente.

Figura 19. Frontera de rendimientos constantes a escala (CRS)



Fuente: Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking Data Envelopment Analysis with Spreadsheets, Joe Zhu, 2003.

Modelos del Análisis Envolvente de Datos

El DEA implica el uso de métodos de programación lineal para construir una frontera o superficie por partes no paramétrica sobre los datos, el modelo puede calcular las medidas de eficiencia en relación con esta superficie del total de los factores; de esta forma es posible realizar la estimación de la eficiencia técnica; dentro de la clasificación de los rendimientos a escala existen opciones que pueden ser considerados como modelos de solución, algunos modelos asumen rendimientos constantes a escala CRS como es el caso del modelo **DEA-CCR** y otros asumen rendimientos variables a escala VRS como el modelo **DEA-BCC**.

Modelo DEA-CCR

El modelo **DEA-CCR**, se denomina de esta forma por haber sido desarrollado por Charnes, Cooper y Rhodes en 1978²⁰, proporciona medidas de eficiencia radiales y pueden ser orientadas a los insumos (input) o productos (output) y con rendimientos constantes de escala CRS.

En razón de lo anterior, se puede tener el modelo **DEA-CCR-I**, que estima la eficiencia técnica orientada a los insumos (TEI = Technical Efficiency Inputs, por sus siglas en inglés) al minimizar la cantidad de insumos utilizados dada la cantidad de productos y al considerar rendimientos constantes a escala. También, existe la variante del modelo conocida como **DEA-CCR-O**, es decir, que estima la eficiencia técnica orientada a los productos (TEO = Technical Efficiency Oputs, por sus siglas en inglés) al maximizar la cantidad de productos dada la cantidad de insumos utilizados y asumir rendimientos constantes a escala CRS.

El modelo supone que se tiene un conjunto de observaciones a evaluar n DMU, cada observación consta de valores de medidas de rendimiento relacionadas con una DMU_j ($j = 1, \dots, n$). El conjunto seleccionado de medidas de rendimiento conocido como $DMU_j = DMU_0$, consume cantidades variables de m entradas x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m$) para producir s salidas diferentes denominadas y_{rj} ($r = 1, \dots, s$); además, se asume que $x_{ij} \geq 0$ y $y_{rj} \geq 0$ y que cada DMU tiene al menos un valor de entrada positivo y un valor de salida positivo.

Las siguientes dos propiedades aseguran que se pueda desarrollar una aproximación lineal por partes a la frontera eficiente y el área dominada por la frontera.

Propiedad 1. Convexidad

Donde:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} (i = 1, 2, \dots, m) \quad y \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} (r = 1, 2, \dots, s)$$

Son posibles niveles de entrada y salida alcanzables por la DMU_j .

Donde λ_j ($j = 1, \dots, n$) son escalares no negativos tales que:

²⁰ "Measuring the efficiency of Decision Making Units", Charnes, D. W., Cooper, W. and Rhodes, E. (1978). European Journal of Operational Research.

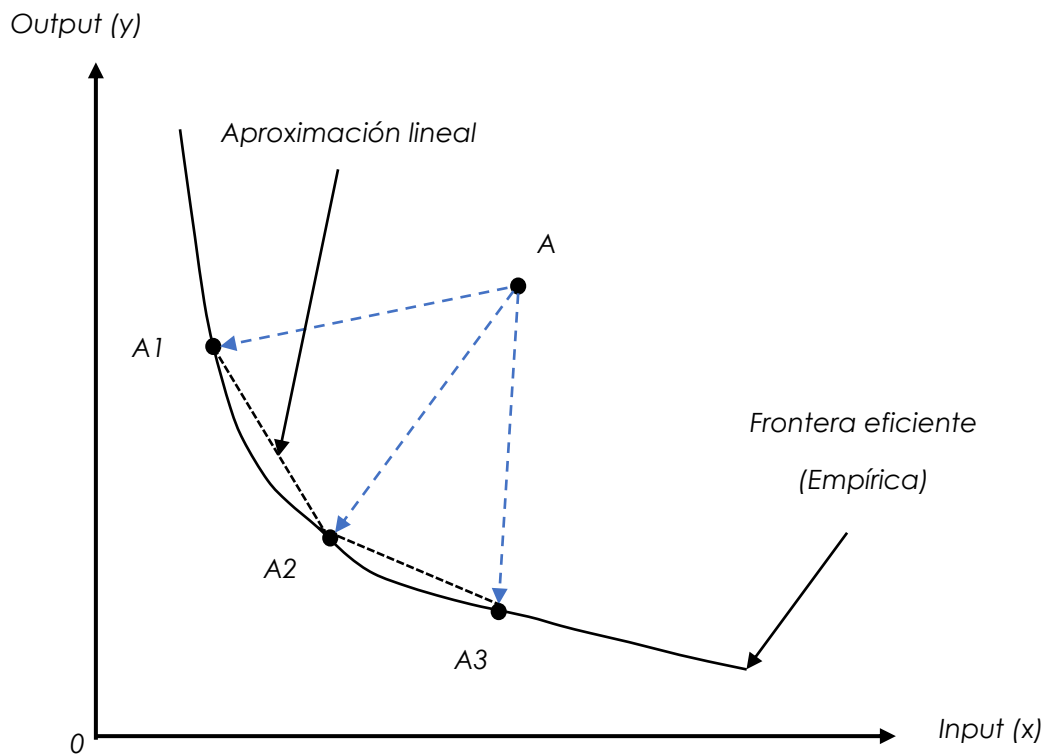
$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

Propiedad 2. Ineficiencia

Se puede obtener el mismo y_{rj} usando \widehat{x}_{ij} , donde $\widehat{x}_{ij} \geq x_{ij}$, es decir, se pueden lograr los mismos niveles de salida usando más entradas; se puede usar el mismo x_{ij} , para lograr \widehat{y}_{rj} , donde $\widehat{y}_{rj} \leq y_{rj}$; es decir, se pueden usar los mismos niveles de entrada para lograr menos salidas.

De tal forma que se si se considera la figura 20, donde se representan dos entradas y se aplica la propiedad de convexidad a la DMU A, se produce la aproximación lineal por partes a la curva que define la frontera eficiente; y la aplicación de ambas propiedades expande los segmentos de línea pertenecientes a A1A2 y A2A3 en el área dominada por la curva.

Figura 20. Frontera de mejores prácticas (eficiente)



Fuente: An Introduction To Efficiency and Productivity Analysis, Timoty Coelli, 1998.

Para los valores específicos de x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m$) y y_{rj} ($r = 1, \dots, s$), se tienen las siguientes expresiones:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_r \quad (r = 1, 2, \dots, s)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

Ahora, la relación de salidas y entradas se usa para medir la eficiencia relativa de la $DMU_j = DMU_0$ que se evalúa en función de las relaciones de todos los DMU_j ($j = 1, \dots, n$). Se puede interpretar la construcción del modelo **DEA-CCR** como la reducción de la situación de múltiples salidas/múltiples entradas para cada DMU a la de una sola salida virtual y una sola entrada virtual.

De tal forma que se tiene que para una DMU en particular, la relación entre esta única salida virtual y una sola entrada virtual proporciona una medida de eficiencia que es una función de los multiplicadores; esta relación debe maximizarse y forma la función objetivo para la DMU particular que se evalúa, de modo que simbólicamente se tiene lo siguiente:

$$\max h_0(u, v) = \frac{\sum_r u_r y_{r0}}{\sum_i v_i x_{i0}}$$

Donde:

y_r = cantidad de producción r

u_r = peso asignado a la salida r

x_i = cantidad de entrada i

v_i = peso asignado a la entrada i

Cabe señalar que las variables a maximizar son u_r y v_i , los valores observados de salida y entrada, son x_{i0} y y_{r0} , respectivamente, de la DMU_0 , que es la DMU a evaluar; además, y_{rj} y x_{ij} son valores de salidas y entradas en las DMUs, $r = 1, \dots, s$ y $i = 1, \dots, m$, para cada $j = 1, \dots, n$, y y_{r0} y x_{i0} en la función objetivo representan las salidas y entradas para que la DMU_0 sea evaluada.

Un conjunto de restricciones de normalización, una para cada DMU, refleja la condición de que la relación de salida virtual a entrada virtual de cada DMU, incluida la $DMU_j = DMU_0$, debe ser menor o igual a la unidad. Por tanto, el problema de programación matemática puede enunciarse como:

Modelo 1

$$\max h_0(u, v) = \frac{\sum_r u_r y_{r0}}{\sum_i v_i x_{i0}}$$

Sujeto a:

$$\frac{\sum_r u_r y_{rj}}{\sum_r v_i x_{ij}} \leq 1 \text{ para } j = 1, \dots, n,$$

$$u_r, v_i \geq 0 \text{ para toda } i \text{ y } r.$$

Con:

$$\frac{u_r}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}, \frac{v_i}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \geq \varepsilon > 0$$

Donde $\varepsilon > 0$, es un elemento no arquimediano definido como más pequeño que cualquier número real positivo, el cual es una propiedad que afirma que todo número real admite un entero mayor que él, lo que garantiza que las soluciones serán positivas en todas las variables, de tal forma que se tendrá algún dato, por pequeño que sea, para cada entrada y salida, el modelo 1 genera un problema no lineal y no convexo, por lo que se realiza la transformación de variables de Charnes y Cooper para convertirlo en un problema de programación lineal equivalente.

El modelo busca obtener el conjunto óptimo de pesos o multiplicadores $\{u_r\}$ y $\{v_i\}$ que maximicen la eficiencia relativa h_0 , de la DMU_0 definida como el cociente de la suma ponderada de productos y la suma ponderada de insumos, sujeto a la restricción de que ninguna DMU puede tener una puntuación de eficiencia mayor a uno, usando los mismos multiplicadores, por lo que los pesos serán diferentes entre las distintas DMU analizadas y la solución óptima es $h_0^* = 1$, lo que indica que la DMU evaluada es eficiente en relación con las otras DMU, y sí el valor obtenido es $h_0^* < 1$, la DMU es ineficiente.

La forma de relación anterior produce un número infinito de soluciones; si (u^*, v^*) es óptimo, entonces $(\alpha u^*, \alpha v^*)$ también es óptimo para todo $\alpha > 0$, sin embargo, la transformación desarrollada por Charnes y Cooper para la programación fraccional lineal selecciona una solución, es decir, la solución (u, v) para la cual:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

En donde se tiene un problema de programación lineal equivalente, en el que el cambio de variables de (u, v) a (μ, v) es el resultado de la transformación realizada al obtener lo siguiente:

Modelo 2

$$\max z = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{r0}$$

Sujeto a:

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

$$\mu_r, v_i \geq \varepsilon > 0$$

Para el cual el problema dual de programación lineal es:

Modelo 3

$$z_0^* = \theta^* = \min \theta$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \leq \theta x_{i0} \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \geq y_{r0} \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

En virtud del teorema dual de programación lineal, tenemos $z^* = \theta^*$; por lo tanto, se puede utilizar en cualquier problema; algunos puntos de la frontera pueden ser débilmente eficientes porque se tienen holguras distintas de cero. Esto puede parecer preocupante porque los óptimos alternativos pueden tener holguras distintas de cero en algunas soluciones, pero no en otras; sin embargo, se pueden evitar tales casos invocando el siguiente programa lineal en el que las holguras se llevan a sus valores máximos, como se muestra a continuación:

Modelo 4

$$\max \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta^* x_{i0} \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = y_{r0} \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad \forall = i, j, r.$$

Donde se nota que las elecciones de s_i^- y s_r^+ no afectan el valor óptimo θ^* , que se determina a partir del modelo 3; además, se observa que en ambos casos, los planteamientos del modelo 1 y modelo 2, incorporan la definición de eficiencia relativa, ya que los planteamientos están relacionados entre sí por la teoría de la dualidad de la programación lineal.

El modelo DEA-BCC

El modelo **DEA-BCC**, denominado así por ser desarrollado por Banker, Charnes y Cooper en 1984²¹, considera rendimientos variables a escala, lo cual permite describir de mejor forma los efectos de economía de escala, al estudiar la eficiencia de un grupo de DMUs es necesario identificar la naturaleza de los rendimientos de escala que caracteriza la tecnología de producción. Los rendimientos de escala indican los incrementos de la producción que son resultado del incremento de todos los factores de producción en el mismo porcentaje.

a) De tal forma que el modelo **DEA-BCC-I**, estima la eficiencia técnica orientada a los insumos TEI al minimizar la cantidad de insumos utilizados dada la cantidad de producción y asumiendo rendimientos variables a escala.

b) Otra variante del modelo es el **DEA-BCC-O**, estima la eficiencia técnica orientada a los productos TEO al maximizar la cantidad de producción dada la cantidad de insumos utilizados y asumiendo rendimientos variables a escala VRS.

El modelo DEA-BCC es la variante más destacada del modelo DEA-CCR, de tal forma que para imponer la condición de que la comparación se realice entre entidades que tengan las mismas características, es necesario incluir una restricción adicional de convexidad en el modelo; por lo que si al modelo DEA-CCR en cualquier orientación input u output, se le agrega la restricción siguiente:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

Se genera el modelo conocido como DEA-BCC, la restricción añadida introduce una variable adicional denominada μ_0 , en los problemas del multiplicador (dual); esta variable extra hace posible efectuar evaluaciones de rendimientos a escala variables pudiendo ser crecientes, constantes y decrecientes; además, asegura que una unidad ineficiente sólo sea comparada con unidades productivas de similares condiciones.

Para la presentación del modelo se supone que se tiene un conjunto de observaciones a evaluar n DMU, cada observación consta de valores de medidas de rendimiento relacionadas con una DMU_j ($j = 1, \dots, n$), la cual produce las mismas s salidas en diferentes cantidades, y_{rj} ($r = 1, \dots, s$), usando las mismas m entradas x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m$), también en cantidades diferentes. La eficiencia de una $DMU_j = DMU_0$ específica puede ser evaluada por el modelo en forma envolvente de la siguiente manera:

Modelo 5

$$\min \theta_0 - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

²¹ "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis", R. D. Banker, Charnes, A. and Cooper, W. (1984). Management Science.

Sujeto a:

$$\theta_0 x_{i0} = \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$y_{r0} = \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$0 \leq \lambda_j, s_i^-, s_r^+ \quad \forall i, r, j$$

Donde $\varepsilon > 0$, es un elemento no arquimediano definido como más pequeño que cualquier número real positivo.

La forma dual o multiplicadora del modelo BCC es la siguiente:

Modelo 6

$$\max \phi = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} - u_0$$

Sujeto a:

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - u_0 \leq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

$$v_i \geq \varepsilon, u_r \geq \varepsilon, u_0 \text{ de libre signo.}$$

Las formulaciones anteriores asumen que $x_{ij}, y_{rj} \geq 0 \quad \forall i, r, j$, además todas las variables están restringidas para que sean no negativas, excepto u_0 , que puede ser positivo, negativo o cero, con consecuencias que hacen posible el uso de valores óptimos de esta variable para identificar los rendimientos de escala.

Una DMU_0 es eficiente sí y sólo sí $\theta^* = 1$ y $s_i^{-*} = s_r^{+*} = 0$ para toda i y r .

Cuando una DMU_0 es eficiente, el valor óptimo de u_0 , es decir, u_0^* , se puede utilizar para caracterizar la situación de los rendimientos de escala. Si una DMU_0 no es eficiente, se pueden utilizar los valores óptimos de la ecuación para proyectar la DMU en la frontera de eficiencia del modelo BCC a través de las siguientes fórmulas:

Modelo 7

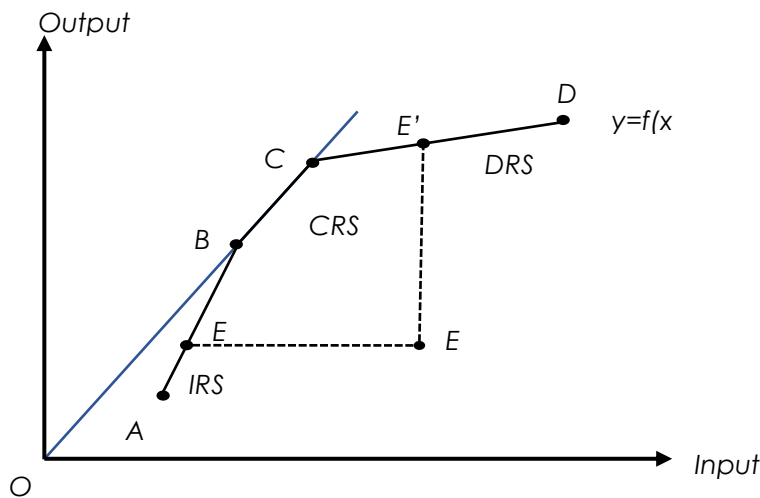
$$\hat{x}_{i0} = \theta_0^* x_{i0} - s_i^{-*} = \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j^*, \quad i = 1, \dots, m$$

$$\hat{y}_{r0} = y_{r0} + s_r^{+*} = \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j^*, \quad r = 1, \dots, s$$

Donde el símbolo (*) denota un valor óptimo; las fórmulas anteriores son denominadas fórmulas de proyección del modelo ya que los $\hat{x}_{i0} \leq x_{i0}$ y $\hat{y}_{r0} \leq y_{r0}$ resultantes corresponden a las coordenadas de un punto en la frontera de eficiencia, porque son las coordenadas del punto utilizado para evaluar DMU_0 cuando se emplea la ecuación del modelo.

Se tienen cinco DMU, A, B, C, D y E, como se muestra en la figura 21, la línea OBC define la frontera de rendimientos constantes a escala CRS; y los segmentos AB, BC y CD constituyen la frontera del modelo BCC con rendimientos de escala crecientes, constantes y decrecientes, respectivamente, B y C presentan rendimientos constantes a escala. En el segmento de línea AB, IRS prevalece a la izquierda de B para el modelo BCC y en el segmento de línea CD, DRS prevalece a la derecha de C. Al aplicar la ecuación anterior al punto E, se genera un punto de frontera E' en la línea segmento AB donde prevalecen los rendimientos de forma creciente IRS; sin embargo, si se utiliza el modelo BCC orientado a la salida, la proyección es sobre E'' donde prevalecen los rendimientos decrecientes DRS. Esto se debe al hecho de que los modelos BCC orientados a la entrada y orientados a la salida producen diferentes puntos de proyección en la frontera BCC y es en la frontera donde se determina el tipo de rendimiento a escala existente.

Figura 21. Retornos a escala.



Fuente: Handbook on Data Envelopment Analysis, William W. Cooper | Lawrence M. Seiford Joe Zhu, 2011.

Las coordenadas $(\hat{x}_{i0}, \hat{y}_{r0})$ del punto de la frontera de eficiencia se obtiene de la evaluación de la DMU_0 mediante la solución de la ecuación; las siguientes condiciones determinan las posibles situaciones de RTS para el modelo BCC, donde se identifican los RTS con la simbología u_0^* mismos que se enuncian a continuación:

- i) el IRS prevalecerá en $(\hat{x}_{i0}, \hat{y}_{r0})$ si y sólo si $u_0^* < 0$ para todas las soluciones óptimas.
- ii) el DRS prevalecerá en $(\hat{x}_{i0}, \hat{y}_{r0})$ si y sólo si $u_0^* > 0$ para todas las soluciones óptimas.
- iii) RTS constante prevalece en $(\hat{x}_{i0}, \hat{y}_{r0})$ si y solo si $u_0^* = 0$ para al menos una solución óptima.

En la tabla 4, se muestra un resumen de las expresiones matemáticas correspondientes a cada uno de los modelos descritos anteriormente.

Tabla 4. Resumen de modelos matemáticos del DEA

Modelo DEA- CCR		
Modelos Envolventes		
Tipo de frontera orientada a los inputs	Tipo de frontera orientada a los outputs	
$\min \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$ <p>Sujeto a:</p> $\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta x_{i0} \quad i = 1, \dots, m;$ $\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = y_{r0} \quad r = 1, \dots, s;$ $\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$	$\max \phi + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$ <p>Sujeto a:</p> $\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = x_{i0} \quad i = 1, \dots, m;$ $\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = \phi y_{r0} \quad r = 1, \dots, s;$ $\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$	
Modelo DEA- BCC		
Tipo de frontera orientada a los inputs		
VRS	IRS	DRS
Se agrega la restricción: $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$	Se agrega la restricción: $\sum_{j=1}^n \lambda_j \leq 1$	Se agrega la restricción: $\sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 1$
Objetivo eficiente		
Tipo de frontera orientada a los inputs	Tipo de frontera orientada a los outputs	
$\begin{cases} \hat{x}_{i0} = \theta_0^* x_{i0} - s_i^{-*}, & i = 1, \dots, m \\ \hat{y}_{r0} = y_{r0} + s_r^{+*} & r = 1, \dots, s \end{cases}$	$\begin{cases} \hat{x}_{i0} = x_{i0} - s_i^{-*}, & i = 1, \dots, m \\ \hat{y}_{r0} = \phi_0^* y_{r0} + s_r^{+*} & r = 1, \dots, s \end{cases}$	

Fuente: Elaboración propia con información de Handbook on Data Envelopment Analysis, William W. Cooper I Lawrence M. Seiford Joe Zhu, 2011 y Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking Data Envelopment Analysis with Spreadsheets, Joe Zhu, 2003.

En la actualidad el DEA se ha convertido en una herramienta muy utilizada, ya que caracteriza cada una de las unidades tomadoras de decisión mediante una única puntuación de eficiencia relativa, proyecta cada unidad ineficiente sobre la envolvente eficiente por lo que permite identificar áreas de oportunidad y proponer acciones de mejora para cada unidad que no logró alcanzar la eficiencia, proporciona la posibilidad de relacionar entradas múltiples y salidas múltiples al considerar diferentes unidades de medida, considera que todos los inputs son empleados se forma conjunta para generar un conjunto de outputs y finalmente no supone una distribución de la ineficiencia sino que determina la frontera de las mejores prácticas e identifica las entidades no eficientes de tal manera que cada una de ellas puede ser comparada con la DMU identificada como eficiente.

Al identificar las bondades que ofrece el DEA y dado que los proyectos bajo estándares de desempeño son complejos desde su planeación y hasta su ejecución, el presente trabajo de investigación emplea el modelo no paramétrico orientado a los insumos y con rendimientos a escala variables VRS definido anteriormente como **DEA-BCC-I** para estimar la eficiencia técnica; se elige al considerarse conveniente porque las formulaciones matemáticas en este caso no presentan conflictos para distinguir entre los cambios de escala y sus combinaciones, lo que permitirá realizar el análisis de la eficiencia relativa de las áreas internas que componen un proyecto MRO.

El estudio se considera necesario ya que al evaluar la eficiencia de las áreas internas del MRO, se podrán identificar aquellas áreas que pudieran generar que el proyecto no tuviese éxito, y en su caso, proponer mejoras para que el funcionamiento de los procesos económicos, operativos y administrativos sean congruentes con la definición de una APP; por lo que se contaría con una herramienta potencial de mejora que ayudaría a los diversos actores que conforman el MRO para la toma de decisiones del proyecto lo que brindaría la posibilidad de promover acciones que mejoren los proyectos MRO del país y permitan proveer un mejor servicio a los usuarios al garantizar la operatividad del proyecto y aumentar la rentabilidad de la empresa.

3.2 ESTADO DEL ARTE DEL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS (DEA)

Existen cuatro métodos principales para el análisis de la eficiencia y la productividad, los cuales son:

1. Modelos de producción econométricos de mínimos cuadrados. Un modelo econométrico se encuentra formado por una o varias ecuaciones en las que la variable explicada depende de una o varias variables explicativas. Este método consiste en minimizar la suma de los cuadrados de los residuos, los cuales son definidos como la diferencia entre el valor observado de la variable que se trata de explicar y el valor estimado por la recta ajustada, de tal forma que se busca estimar en primer lugar una función de producción media por mínimos cuadrados ordinarios y corregir el término independiente añadiéndole el máximo residuo positivo obtenido en la estimación; de esta forma, todas las observaciones se encontrarán por debajo de la frontera, a excepción de la correspondiente al máximo residuo, que es considerada como la más eficiente.

2. Índice de productividad total de los factores (PTF), (TFP= Total factor productivity indices, por sus siglas en inglés). El índice de productividad total es el cociente entre la producción total de un proceso y el gasto o consumo total de todos los factores de dicho proceso, si la producción crece para un mismo nivel de consumo, el índice de productividad crece, indicando que la empresa es más productiva, es decir, administra mejor sus recursos para producir más con la misma cantidad de recursos. Un índice de productividad puede utilizarse para comparar el nivel de eficiencia de la empresa, ya sea en su conjunto, o respecto de la administración de uno o varios recursos en particular.

3. Análisis Envolvente de Datos (DEA). En ese método, la frontera no se construye paramétricamente, sino que se realizan supuestos sobre las propiedades de la producción que permiten definir el conjunto de procesos productivos factibles, cuya frontera envuelve los datos observados. El DEA utiliza algoritmos de programación lineal para estimar las fronteras de producción y evaluación de la eficiencia de una muestra de unidades de producción homogéneas llamadas DMUs; se puede considerar como una generalización de la eficiencia técnica de una entrada y una salida, o si se requiere, es posible considerar múltiples entradas y múltiples salidas. En este tipo de análisis se calcula la eficiencia relativa para cada DMU comparando sus inputs y outputs respecto a todas las demás DMUs evaluadas.

4. Fronteras estocásticas. Este método también es conocido como de error compuesto y es utilizado para estimar los niveles de eficiencia, consiste en definir una función de comportamiento eficiente al involucrar la producción, los costos o los beneficios de una compañía; a la función se le añaden dos condiciones: una simétrica, que establece la posibilidad de tomar valores positivos y negativos y la segunda que refleja la ineficiencia, ya que sólo considera valores no negativos.

Los métodos del modelo de producción econométricos de mínimos cuadrados y el índice de productividad total de los factores PTF, se aplican con mayor frecuencia para agregar datos de series de tiempo y proporcionar medidas de cambio técnico y/o productividad total de los factores; ambos métodos suponen que todas las entidades son técnicamente eficientes; los métodos de análisis envolvente de datos y fronteras estocásticas, se aplican con mayor frecuencia a los datos de una muestra de entidades y proporcionan medidas de eficiencia relativa entre ellas, por lo tanto, estos dos métodos no suponen que todas las entidades son técnicamente eficientes.

Como se mencionó anteriormente, este trabajo se enfoca en el método del DEA, por lo que de acuerdo con la revisión literaria realizada, se observa que en la actualidad existen gran variedad de estudios con diferentes aplicaciones del método, las cuales han utilizado DMUs de diversas formas para medir la eficiencia de empresas, sectores industriales, hospitales, universidades, países, ciudades y regiones, por mencionar algunos.

El hecho de que existan diversas aplicaciones se debe principalmente a que esta técnica permite muy pocas suposiciones, y a que ha brindado la posibilidad de uso en los casos en los que han sido resistentes a otros enfoques debido a la naturaleza compleja de los problemas y de las relaciones existentes entre los múltiples insumos y productos involucrados en las DMUs seleccionadas.

Por lo anterior, resulta importante destacar que en el ámbito de infraestructura, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), realizó en el año 2012 un estudio denominado **“Inversión en infraestructura de transporte terrestre y productividad regional en México, 1980-2000”**²², en donde se realiza un análisis de eficiencia técnica de diversas entidades federativas del país, en el uso de la infraestructura de carreteras y vías férreas para alcanzar los niveles de producción industrial y agrícola utilizando la teoría del DEA. Además, en relación con las APP, en el año 2017, también el IMT realizó un estudio llamado: **“Concesiones carreteras en México, una aproximación a su productividad económica como medida de desempeño”**²³, en donde se emplea la técnica del DEA, para para medir la productividad que pondera la eficiencia en el uso de los insumos utilizados en la producción.

A pesar de lo anterior, en relación con las APP se destaca que los estudios realizados de la eficiencia en las APP, se centra exclusivamente a una modalidad de las mismas, dejando de lado los esquemas presentados en el capítulo 2; por lo que se corrobora que no existen estudios que se enfoquen en la medición del desempeño en proyectos bajo el esquema MRO utilizando la técnica del DEA; de igual manera, en el ámbito internacional no existe una medición de este tipo de proyectos en razón de que el esquema se creó en nuestro país de acuerdo con las condiciones específicas que se presentan en cuanto a infraestructura, por lo que resulta interesante incursionar en este ámbito para identificar los principales factores que influyen en el desempeño de este tipo de proyectos.

²² Instituto Mexicano del Transporte, “Publicación Técnica No. 376. Inversión en infraestructura de transporte terrestre y productividad regional en México, 1980-2000 (un análisis DEA)”.

²³ Instituto Mexicano del Transporte, “Publicación Técnica No. 497. Concesiones carreteras en México, una aproximación a su productividad económica como medida de desempeño”.

CAPÍTULO 4. PROPUESTA METODOLÓGICA

El presente trabajo de investigación para el análisis de la eficiencia emplea el método de la envolvente de datos, conocido como **DEA-BCC** desarrollado por Banker, Charnes y Cooper, este método de programación lineal se considera el método que mejor se apega a las características propias de los proyectos MRO, ya que permite la presencia de múltiples inputs y múltiples outputs, brinda la posibilidad de expresar los inputs y los outputs en unidades de medida diferentes, evita la imposición de una forma funcional determinada para la función de producción por lo que la función de producción está definida por el máximo nivel de producción alcanzable, con una cierta combinación de insumos y se enfoca en la estimación de la eficiencia técnica relativa, por lo que únicamente es necesario contar con las cantidades utilizadas de insumos y productos de cada una de las DMUs a evaluar.

En el capítulo 3, se estableció que el método de la envolvente de datos conocido como **DEA-BCC-I**, estima la eficiencia técnica orientada a los insumos al minimizar la cantidad de insumos utilizados dada la cantidad de productos y asumir rendimientos variables a escala en diferentes puntos de la frontera de producción, los rendimientos de escala indican los incrementos de la producción que son resultado del incremento de todos los factores de producción en el mismo porcentaje, es decir, que al existir un cambio proporcional en las entradas existirá un cambio mayor o menor que dicho cambio proporcional en las salidas.

La metodología se aplica a la evaluación unitaria de unidades homogéneas definidas conocidas como DMU, dicha unidad de toma de decisiones es la que transforma los inputs en outputs, por lo que en cualquier estudio su identificación es un aspecto de suma importancia. De acuerdo con el DEA, el desempeño de una entidad se evalúa en una frontera eficiente que se construye por la combinación lineal de las entidades existentes al utilizar un procedimiento que requiere un modelo matemático definido.

Para este estudio el cálculo de la eficiencia se realiza utilizando el software DEAFrontier²⁴ en su versión gratuita, ya que se encuentra disponible para descarga libre con fines educativos y de investigación, mismo que contiene el modelo envolvente de interés orientado a los insumos y con rendimientos variables a escala; la única desventaja que presenta esta versión es que tiene la restricción de que el número máximo de DMUs permitidas es de veinte, sin embargo, para el caso de estudio en cuestión, esta restricción no representa algún inconveniente dado que las unidades productivas a analizar son las áreas internas que hacen posible el funcionamiento del proyecto MRO, de tal forma que se tienen en total seis DMUs.

²⁴ "Software libre DEAFrontier", disponible en: <http://www.deafrontier.net/deafree.html>

4.1 DEFINICIÓN DEL MODELO

Este trabajo de investigación emplea el modelo **DEA-BCC-I**, orientado a los inputs o insumos y con rendimientos a escala variables VRS para estimar la eficiencia de las áreas internas que componen un proyecto MRO, se debe recordar que en el capítulo 3 se mencionó que este modelo es una variante del modelo DEA-CCR y que para imponer la condición de que la comparación se realice entre las DMUs que tengan las mismas características, se incluye la restricción de convexidad en el modelo; quedando el modelo como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Modelo matemático DEA-BCC-I

Modelo DEA- BCC	
Modelos Envolventes	
Tipo de frontera orientada a los inputs	Rendimientos a escala variables VRS
$\min \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$ <p>Sujeto a:</p> $\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta x_{i0} \quad i = 1, \dots, m;$ $\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = y_{r0} \quad r = 1, \dots, s;$ $\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$	<p>Se agrega la restricción de convexidad:</p> $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$

Fuente: Elaboración propia con información de Handbook on Data Envelopment Analysis, William W. Cooper | Lawrence M. Seiford Joe Zhu, 2011 y Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking Data Envelopment Analysis with Spreadsheets, Joe Zhu, 2003.

El modelo resulta conveniente porque las formulaciones matemáticas no presentan conflictos para distinguir entre las variaciones de escala y sus combinaciones, además, la flexibilidad del modelo para combinar los distintos insumos y productos que existen permite adaptar el enfoque de medición de la eficiencia por lo que es posible considerar las múltiples entradas y múltiples salidas que existen dentro de un proyecto MRO, en este tipo de análisis se calcula la eficiencia relativa para cada DMU comparando sus inputs y outputs respecto a todas las demás DMUs evaluadas, y asegura que una unidad ineficiente sólo se compare con unidades productivas similares; sin esta restricción, la comparación de las DMUs se podría dar entre unidades totalmente diferentes arrojando resultados no apegados al comportamiento real de las unidades pertenecientes al proyecto MRO, lo que enfatiza la utilidad del modelo seleccionado para realizar el cálculo de la eficiencia de las áreas internas que lo componen.

4.2 DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE LAS UNIDADES TOMADORAS DE DECISIÓN (DMUs)

Para realizar el estudio de eficiencia se requiere como primer paso elegir las DMUs, mismas que deben ser entidades en las que se tomen decisiones, donde se transformen insumos en productos o en servicios; para este estudio las DMUs son definidas como las áreas internas que hacen posible el funcionamiento de un MRO, en razón de que se busca conocer la eficiencia calculada desde una perspectiva interna del proyecto.

Definición de unidades tomadoras de decisión (DMU)

Se denomina como DMU a cada una de las unidades tomadoras de decisiones como se explicó a detalle en el capítulo 3; el término DMU puede emplearse para cualquier unidad productiva como son las organizaciones o subdivisiones de las mismas, el hecho de que la definición de una DMU sea genérica y flexible, permite su uso para los proyectos de Mantenimiento, Rehabilitación y Operación; ya que la estructuración de este tipo de proyectos necesita áreas internas para su correcto funcionamiento las cuales son las unidades tomadoras de decisiones a considerar para la utilización de la metodología del DEA en este estudio; por lo que se definen 6 áreas en razón de que son las áreas que participan en la ejecución del proyecto:

- 1. Área de operación.**
- 2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación**
- 3. Área de Accidentes**
- 4. Unidad de Autocontrol**
- 5. Área de Calidad**
- 6. Área de Administración**

Las áreas se mostraron previamente en el capítulo 1, mismas que se pueden apreciar en la tabla 6; se eligen con la finalidad de medir la eficiencia relativa de cada unidad respecto de la DMU más eficiente y tener la posibilidad de comparar cuál de las áreas involucradas en la ejecución del proyecto resulta ser la más eficiente respecto a las demás e identificar cuál o cuáles de ellas requieren especial atención.

Tabla 6. Definición de Unidades Tomadoras de decisión (DMU).

DMU	Descripción	Incluye
1. Área de Operación	Área encargada de mantener la operación de las casetas de cobro y brindar el servicio al usuario que el MRO debe proporcionar, en condiciones aceptables para que los servicios de operación se apeguen a los estándares de cumplimiento y a su programa.	<ul style="list-style-type: none"> • Suministro e instalación del sistema ITS y comunicaciones. • Gestión de peaje. • Supervisión de telepeaje y medios electrónicos. • Servicios al usuario. • Administración del derecho de vía.
2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	Área encargada de realizar el mantenimiento rutinario, el mantenimiento periódico y la rehabilitación de la carretera en apego a los estándares de desempeño MR y a los programas de mantenimiento de conservación rutinario y a los programas de mantenimiento periódico y reconstrucción.	<ul style="list-style-type: none"> • Conservación rutinaria de la carretera. • Conservación periódica de la carretera. • Rehabilitación de la carretera.
3. Área de Accidentes	Área encargada de reparar los daños ocasionados a la infraestructura conferida al MRO, provocados por los usuarios que transitan la carretera; así como valorar los daños y apoyar en los siniestros.	<ul style="list-style-type: none"> • Atención a reportes de accidentes para apoyar a la señalización y evaluar los daños. • Reparación oportuna de daños a la infraestructura provocados por accidentes.
4. Unidad de Autocontrol	Es el área encargada de inspeccionar, verificar y evaluar de manera continua, el grado de cumplimiento del MRO en los estándares de desempeño requeridos y la calidad de las obras de mantenimiento y rehabilitación; así como responsable de diseñar y administrar el sistema de control de calidad.	<ul style="list-style-type: none"> • Asegurar la calidad en la realización de actividades. • Determinación de actividades extraordinarias y/o rehabilitaciones necesarias para mantener los estándares de desempeño. • Determinación del grado de cumplimiento de los estándares de desempeño. • Determinación de acciones correctivas para el cumplimiento de estándares de desempeño.
5. Área de Calidad	Área encargada de cumplir con el sistema de gestión de calidad y medio ambiente y auditorías, apegado a las normas ISO9001:2015 e ISO 14001:2015.	<ul style="list-style-type: none"> • Realización de auditorías. • Cumplimiento del sistema de gestión de calidad y medio ambiente en apego a las normas ISO9001:2015 e ISO 14001:2015.
6. Área de Administración	Área encargada de la gestión, administración y control de los recursos con los que cuenta el MRO para realizar las actividades orientadas al cumplimiento de estándares de desempeño, de tal forma que verifica la congruencia entre el presupuesto de la obra y la realización de los desembolsos y los avances físicos.	<ul style="list-style-type: none"> • Administración de los recursos con los que cuenta el MRO para cumplir del contrato y los programas de ejecución de los trabajos.

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

4.3 DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE LAS VARIABLES DE ENTRADA “INPUTS” Y VARIABLES DE SALIDA “OUTPUTS”

La siguiente etapa de gran importancia en la evaluación para el análisis de la eficiencia al utilizar la técnica del DEA, es la identificación correspondiente al conjunto de variables de interés para el estudio, correspondiente al conjunto de variables de entrada “inputs” y al conjunto de variables de salida “outputs”. Los inputs, representan los factores de producción que se consumen durante el proceso productivo, en otras palabras, reflejan los recursos o insumos utilizados para obtener las salidas de cada DMU evaluada. Los outputs, representan los productos o servicios que se obtienen en un determinado proceso de producción, es decir, los resultados obtenidos a partir de los insumos utilizados.

Para un adecuado funcionamiento del modelo, es necesario que exista una correcta asociación entre los inputs (insumos) y los outputs (productos) utilizados, para garantizar un análisis que represente la realidad del comportamiento de las DMUs definidas se requiere introducir variables relevantes, es decir, aquellas variables en las cuales se tomen decisiones importantes para la correcta ejecución del proyecto, mismas que se pueden apreciar en la tabla 7.

Tabla 7. Selección de variables de entrada “inputs” y salida “outputs”.

1. Eficiencia económica.	
Inputs	Outputs
<ol style="list-style-type: none"> 1. Presupuesto anual. 2. Estimación de concurso. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gastos. 2. Montos reales cobrados de estimación.
2. Eficiencia de prestación de servicio al cliente estipulada en contrato.	
Inputs	Outputs
<ol style="list-style-type: none"> 1. Diferencia de la calificación obtenida de la auditoría respecto a la establecida en contrato. 2. Diferencia entre la calificación real del cliente (BANOBRAS, ASS y Socios) y la máxima permitida por contrato. 3. Gastos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mala calificación de auditorías permitida por contrato del servicio. 2. Mala calificación del cliente permitida por contrato.
3. Eficiencia de confort y seguridad del usuario de la vía.	
Inputs	Outputs
<ol style="list-style-type: none"> 1. Índice de accidentabilidad. 2. Mala calificación proporcionada por el usuario. 3. Gastos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Atención de accidentes. 2. Mala calificación proporcionada por el usuario permitida por contrato.
4. Eficiencia de funcionalidad	
Inputs	Outputs
<ol style="list-style-type: none"> 1. Porcentaje de incumplimiento del programa de actividades. 2. Porcentaje de no atención de las obligaciones del contrato. 3. Gastos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Porcentaje de cumplimiento del programa de actividades. 2. Porcentaje de atención de indicadores del contrato.

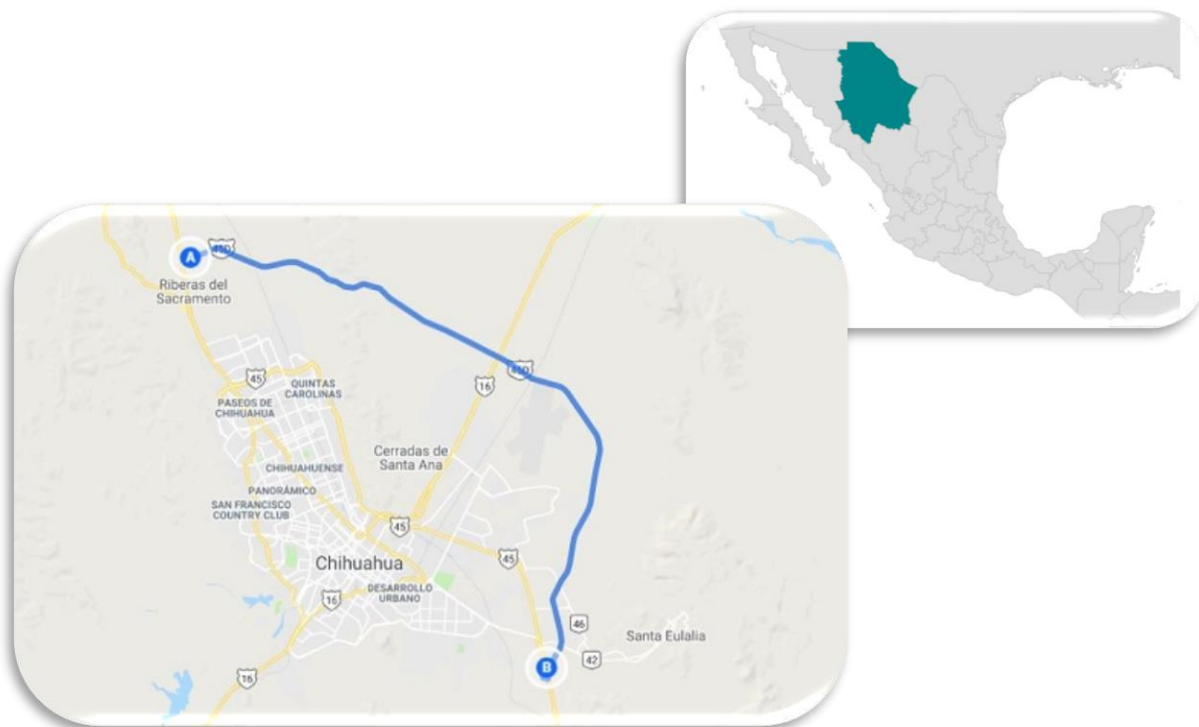
Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

Las variables identificadas influyen en el control y cumplimiento de los estándares de los proyectos MRO tienen impacto considerable en la ejecución de los mismos, por lo que se busca tener una mejor gestión y control de las variables ya que se encuentran relacionadas directamente con las eficiencias que se desean calcular.

CAPÍTULO 5. ESTUDIO DE CASO

El Libramiento Oriente de Chihuahua, mostrado en la figura 22, actualmente se encuentra en operación y brinda servicio principalmente al tráfico de largo itinerario del eje troncal México-Cd. Juárez brindando fluidez vehicular a la zona, tiene una longitud de 42.304 km, y se encuentra ubicado en los municipios de Aquiles Serdán y Chihuahua en el Estado de Chihuahua; con inicio en el km 0+000 en el entronque Jiménez al km 42+304 en el entronque Sacramento de la carretera federal 45 Chihuahua-Ciudad Juárez. Es una vía tipo A2, con un carril por sentido y cuenta con dos plazas de cobro troncales Sacramento y Jiménez, 4 entronques a distinto nivel, 16 pasos inferiores vehiculares PIV, 5 pasos superiores vehiculares PSV, 2 pasos superiores ferrocarrileros PSFFCC y 10 puentes.

Figura 22. Ubicación del Libramiento Oriente de Chihuahua.



Fuente: Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C.

El libramiento tiene gran impacto regional y nacional porque fortalece el sistema carretero de altas especificaciones en la zona norte del país, agiliza los flujos comerciales internacionales, provenientes del centro de México hacia la frontera y de ésta hacia la zona centro de la República, además de brindar continuidad al eje troncal México-Querétaro-Ciudad Juárez el cual es uno de los más importantes del país.

En razón de lo anterior, resulta interesante establecer indicadores cuantitativos que permitan medir la eficiencia en el proyecto de MRO del Libramiento Oriente de Chihuahua el cual incluye el derecho de vía; al emplear el Análisis Envolvente de Datos (Data Envelopment Analysis - DEA), que sirvan de apoyo en la planeación y toma de decisiones internas del proyecto.

5.1 APLICACIÓN DEL MODELO DEA

En este apartado se describe la metodología que se empleó para abordar el caso de estudio: **Medición del desempeño de proyectos con la modalidad de Mantenimiento, Rehabilitación y Operación (MRO).**

El modelo matemático conocido como **DEA-BCC-I**, desarrollado por Banker, Charnes y Cooper fue seleccionado para el cálculo de la eficiencia de los proyectos bajo la modalidad MRO, ya que calcula la eficiencia orientada a los insumos o inputs al minimizar la cantidad de insumos utilizados dada la cantidad de producción y asumir rendimientos variables a escala, es decir, el modelo permite reducir los inputs de la DMU evaluada mientras se mantiene fija la cantidad de productos de la misma; de tal forma que el procesamiento de la información en la utilización del DEA se detalla a continuación.

Como primera instancia, se tiene que las unidades de análisis que identificamos como DMU para el estudio, son todas las áreas internas que hacen posible el funcionamiento de un proyecto MRO, de tal forma que se tienen las DMUs siguientes:

- DMU-1.** Área de Operación
- DMU-2.** Área de Mantenimiento y Rehabilitación
- DMU-3.** Área de Accidentes
- DMU-4.** Unidad de Autocontrol
- DMU-5.** Área de Calidad
- DMU-6.** Área de Administración

Todas las DMUs seleccionadas se pueden considerar homogéneas para los fines del estudio, sin embargo, su forma de operar es particular para cada una de ellas ya que las actividades que desarrollan para el cumplimiento del proyecto son diferentes, por lo que para poder realizar un análisis real de la eficiencia se identificaron variables que existen en cada una de las áreas internas para tener la posibilidad de realizar una comparación entre ellas y así definir si son o no eficientes.

La aplicación de la técnica del DEA al conjunto de unidades de análisis identificadas anteriormente, determina la construcción de la frontera de la eficiencia relativa en la que participan cada una de las unidades evaluadas, de tal forma que el método asigna un valor unitario de eficiencia a las DMUs que son consideradas como eficientes y un valor menor a uno para aquellas que no logran alcanzar la eficiencia.

En razón de lo anterior, el análisis de la eficiencia del proyecto se realiza considerando la forma en la que funcionan las áreas internas del MRO ya que dichas unidades son homogéneas bajo la consideración de que persiguen los mismos objetivos con tareas similares permitiendo la posibilidad de dividir la evaluación en diferentes tipos de eficiencia; para el estudio de caso se propone el análisis de cuatro tipos de eficiencia con la misma importancia o peso con la finalidad de conocer el comportamiento desde diferentes perspectivas del proyecto, las eficiencias a evaluar son:

- I. Económica.
- II. De prestación de servicio al cliente.
- III. De confort y seguridad del usuario.
- IV. De funcionalidad.

I. Eficiencia económica.

Se realizará el cálculo de la eficiencia económica, para identificar si los recursos que se tienen destinados para la ejecución de las actividades relacionadas de un MRO se utilizan de manera óptima alcanzando la mayor producción posible, ya que en la mayoría de las obras de infraestructura los costos presupuestados al inicio de la adjudicación del contrato no coinciden con los reales, debido a factores no previstos durante el proceso de ejecución de las actividades inherentes al proyecto. La existencia de sobrecostos se presenta con gran frecuencia debido a la falta de precisión en el desempeño del proyecto y a la celeridad en el desarrollo del esquema como alternativa para la provisión de los servicios contratados, lo que en ocasiones conlleva a subestimar los costos totales.

Para realizar el análisis de la eficiencia económica, la siguiente etapa dentro de la evaluación del DEA es la correspondiente a la selección del conjunto de inputs y outputs a emplear para el cálculo, es decir, identificar los recursos empleados y las salidas generadas derivadas del proceso productivo del proyecto MRO, de tal manera que las variables para evaluar la eficiencia económica se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Inputs y outputs para la eficiencia económica.

1. Eficiencia económica.	
Inputs	Outputs
1. Presupuesto anual.	1. Gastos.
2. Estimación de concurso.	2. Montos reales cobrados de estimación.

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

Con la finalidad de evaluar el nivel de eficiencia económica en el que se encuentra cada una de las DMUs definidas, se propone realizar dos tipos de análisis, el primero consiste en utilizar la combinación dada por el input 1. Presupuesto anual contra el output 1. Gastos, para lograr identificar el comportamiento que han tenido cada una de las áreas o DMUs en relación con el presupuesto asignado para la ejecución de sus actividades respecto a los gastos que tienen para la realización las mismas, resulta interesante esta comparación ya que se desea conocer si la relación que existe entre ellas es la adecuada para lograr cumplir los requerimientos para los que fue diseñado el proyecto o si en su caso se presentan sobrecostos, por lo que es importante tener conocimiento de las variables definidas para estar en posibilidad de controlarlas y en su caso mitigarlas.

El segundo análisis planteado, emplea la combinación dada por el input conocido como 2. Estimación de concurso vs el output identificado como 2. Montos reales cobrados de estimación, se propone el análisis porque se considera importante identificar si los montos establecidos para ser cobrados en la estimación considerada en concurso se encuentran apegados a la realidad o no respecto a los montos que se están cobrando realmente por los trabajos ejecutados en un periodo determinado, dado que en la estimación real se ven reflejadas la existencia de las deducciones correspondientes a los incumplimientos existentes del proyecto.

A continuación, en las tablas 9 y 10 se define de manera puntual lo que representa cada uno de los inputs, así como en las tablas 11 y 12, se muestra la definición de los outputs considerados para la evaluación de la eficiencia económica, además de los valores a utilizar para la aplicación del modelo; las evaluaciones se realizarán de forma independiente para cada uno de los años con los que se cuenta con información, lo que permitirá observar el comportamiento que ha tenido el proyecto en diferentes periodos del mismo.

Inputs:

1. Presupuesto anual.

Establece el recurso que se determina para ejecutar los trabajos contratados en el que se desglosa el listado de conceptos de trabajo o actividades, unidades de medida, cantidades de trabajo y sus precios relacionados con cada una de las áreas internas del MRO, contando con los presupuestos anuales por área de los años 2019, 2020 y 2021, mostrados en la tabla 9.

Tabla 9. Input presupuesto anual, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Inputs		
		1. Presupuesto Anual		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	\$ 27,170,577.00	\$ 31,318,506.00	\$ 32,927,586.00
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	\$ 12,385,318.00	\$ 13,177,514.00	\$ 14,280,000.00
	3. Área de Accidentes	\$ 1,912,165.00	\$ 1,899,923.00	\$ 1,487,200.00
	4. Unidad de Autocontrol	\$ 2,142,561.00	\$ 2,374,150.00	\$ 2,948,200.00
	5. Área de Calidad	\$ 1,219,391.00	\$ 1,305,051.00	\$ 987,070.00
	6. Área de Administración	\$ 4,767,321.00	\$ 3,045,120.00	\$ 3,948,280.00

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

2. Estimación de concurso.

Se basa en los análisis de precios unitarios incluidos en la proposición del licitante ganador del concurso MRO, por lo que representa la valuación de los trabajos ejecutados en un periodo determinado en la que se aplican los precios, valores o porcentajes establecidos en el concurso, los cuales son constantes para los 3 años estudiados, expuestos en la tabla 10.

Tabla 10. Input estimación de concurso, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Inputs		
		2. Estimación de concurso		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	\$ 31,519,802.00	\$ 31,519,802.00	\$ 31,519,802.00
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	\$ 13,355,848.00	\$ 13,355,848.00	\$ 13,355,848.00
	3. Área de Accidentes	\$ 1,602,701.00	\$ 1,602,701.00	\$ 1,602,701.00
	4. Unidad de Autocontrol	\$ 2,136,935.00	\$ 2,136,935.00	\$ 2,136,935.00
	5. Área de Calidad	\$ 1,068,469.00	\$ 1,068,469.00	\$ 1,068,469.00
	6. Área de Administración	\$ 3,739,639.00	\$ 3,739,639.00	\$ 3,739,639.00

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

Los inputs considerados son fijos, ya que aunque intervienen diversos factores para su obtención se encuentran establecidos de forma externa, porque los valores a considerar para la estimación de concurso de cada año se definen de acuerdo con el concurso, algo similar ocurre con el presupuesto anual asignado para los años de funcionamiento del proyecto MRO, mismo que únicamente se actualiza por razones inflacionarias.

Outputs:

1. Gastos.

Contempla los gastos generales necesarios para la ejecución de las actividades relacionadas con el objeto del contrato, por lo que se consideran los importes correspondientes a los materiales, maquinaria y equipo para construcción, vehículos; además de gastos de administración, organización, dirección técnica, vigilancia, supervisión, capacitación, seguridad e higiene, seguros y fianzas, honorarios, sueldos y prestaciones del personal, consultores, asesores, servicios contratados, laboratorios, estudios mantenimiento, renta, transporte, fletes, soporte y tecnología, mostrados en la tabla 11.

Tabla11. Output gastos, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Outputs		
		1. Gastos		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	\$ 28,942,332.00	\$ 25,194,226.00	\$ 26,693,098.00
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	\$ 14,033,147.00	\$ 13,010,209.00	\$ 12,037,227.00
	3. Área de Accidentes	\$ 3,905,941.00	\$ 2,325,020.00	\$ 3,390,389.00
	4. Unidad de Autocontrol	\$ 1,689,405.00	\$ 1,438,613.00	\$ 1,799,840.00
	5. Área de Calidad	\$ 839,619.00	\$ 1,438,190.00	\$ 832,764.00
	6. Área de Administración	\$ 4,757,842.00	\$ 3,355,778.00	\$ 4,718,996.00

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

2. Montos reales cobrados de estimación.

Representa la valuación de los trabajos ejecutados en un periodo determinado presentada para autorización de pago, en la cual se aplican los precios, valores o porcentajes establecidos en el contrato y considera, en caso de existir, las deducciones por el incumplimiento de los estándares de desempeño e indicadores estipulados en contrato, en otras palabras, es la remuneración real que se recibe por el servicio efectivamente prestado por el MRO de acuerdo con los términos contratados para cada uno de los conceptos pertenecientes a la estimación, indicados en la tabla 12.

Tabla 12. Output Montos reales cobrados de estimación, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Outputs		
		2. Montos reales cobrados de estimación		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	\$ 28,319,241.86	\$ 28,385,137.30	\$ 28,279,022.29
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	\$ 14,623,956.11	\$ 14,657,984.28	\$ 14,603,186.87
	3. Área de Accidentes	\$ 2,613,408.47	\$ 2,619,489.56	\$ 2,609,696.86
	4. Unidad de Autocontrol	\$ 1,617,054.22	\$ 1,620,816.91	\$ 1,614,757.65
	5. Área de Calidad	\$ 1,616,578.75	\$ 1,620,340.34	\$ 1,614,282.85
	6. Área de Administración	\$ 3,772,018.59	\$ 3,780,795.62	\$ 3,766,661.49

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

II. Eficiencia de prestación de servicio al cliente.

Se efectuará el análisis de la eficiencia de prestación de servicio al cliente, porque en toda organización que brinda un servicio es importante contar con el enfoque hacia el cliente, con el fin de asegurar el cumplimiento de los requerimientos solicitados y así tener información que permita identificar los riesgos y las áreas de oportunidad con el propósito de promover el desarrollo de actividades encaminadas a mejorar la prestación del servicio e incrementar la satisfacción del cliente; en el caso particular de los proyectos MRO los clientes a los que se desea satisfacer son: BANOBRAS, el ASS y los socios, por lo que se busca atender sus necesidades y expectativas en función del correcto cumplimiento del contrato de prestación de servicio.

Para realizar la evaluación de la eficiencia de prestación de servicio al cliente utilizando la técnica del DEA, se identifican los inputs y outputs mostrados en la tabla 13.

Tabla 13. Inputs y outputs para la eficiencia de prestación de servicio al cliente.

2. Eficiencia de prestación de servicio al cliente.	
Inputs	Outputs
1. Diferencia de la calificación obtenida de la auditoría respecto a la establecida en contrato.	1. Mala calificación de auditorías permitida por contrato.
2. Diferencia entre la calificación real del cliente y la máxima permitida por contrato.	2. Mala calificación del cliente permitida por contrato.
3. Gastos.	

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

Con la finalidad de evaluar el nivel de satisfacción que tienen los diferentes clientes a los que presta su servicio el proyecto MRO, se realizará el cálculo de la eficiencia de prestación de servicio al cliente, en donde se relacionarán las variables antes identificadas, es decir, en el cálculo se considerarán a la vez los 3 inputs contra los 2 outputs definidos, para conocer que tan cerca o alejado se encuentra de cumplir su objetivo que es lograr la entera satisfacción del cliente, teniendo como elementos las directrices que dicta el contrato y los propios gastos que le genera al proyecto el dar cumplimiento a las solicitudes de los clientes.

Inputs:

1. Diferencia de la calificación obtenida de la auditoría respecto a la establecida en contrato.

Por contrato, BANOBRAS establece la implementación de un sistema de gestión y la mejora continua de su efectividad en apego a las normas internacionales ISO 9001:2015²⁵ e ISO14001:2015²⁶, a través de las auditorías al sistema de gestión relacionado con los procesos necesarios para ejecutar el mantenimiento, operación y rehabilitación del Libramiento Oriente de Chihuahua, y el seguimiento de los indicadores de desempeño por lo que se monitorean, miden y analizan los procesos de gestión; durante dicho análisis se usan diversas técnicas para dar seguimiento a su comportamiento.

²⁵ ISO 9001:2015. Sistemas de gestión de la calidad.

²⁶ ISO14001:2015 Sistemas de gestión ambiental.

El MRO tiene la responsabilidad de obtener en una escala de 100 una calificación mínima del 90 como resultado de las auditorías efectuadas por el AAS, y en caso de que no se cumpla dicha calificación se aplican las deducciones correspondientes por el incumplimiento, dichas deducciones constituyen una reducción o descuento en las contraprestaciones como resultado de una prestación o entrega que no cumple con la totalidad de los términos y condiciones establecidas en el contrato.

Existen dos tipos de auditorías realizadas en el MRO, las internas y las realizadas por el AAS; las primeras son auditorías cruzadas entre áreas funcionales con la finalidad de evaluar el cumplimiento de los requisitos contractuales y legales, la ejecución de la auditoría es realizada por personal ajeno a las actividades a ser auditadas con el fin de asegurar la objetividad e imparcialidad. En el procedimiento de auditorías internas los responsables del área auditada toman o coordinan las acciones requeridas para eliminar las no conformidades y sus causas encontradas en la auditoría sin demoras injustificadas, así mismo el auditor líder coordina las actividades de seguimiento que incluyen la verificación de las acciones tomadas en las áreas y funciones responsables; al final se elabora el reporte de los resultados de la verificación y de la conclusión de la auditoría, el cual se presenta a la dirección general del proyecto para su revisión.

Las auditorías ejecutadas por el ASS verifican el cumplimiento del plan de gestión de calidad y el sistema de gestión de la autopista con la finalidad de elaborar y dar seguimiento a las acciones preventivas y correctivas detectadas como resultado de la evaluación realizada para evitar la existencia de deficiencias sustantivas en el proyecto MRO.

El valor obtenido en esta entrada se genera al restarle al 100% que es la calificación máxima posible de alcanzar, menos la calificación real obtenida en la auditoría, razón por la cual se decide nombrar el input como diferencia, los valores obtenidos se indican en la tabla 14.

Tabla 14. Input diferencia de la calificación obtenida de auditoría respecto a la calificación establecida en contrato, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Inputs		
		1. Diferencia de la calificación obtenida de auditoría respecto a la establecida en contrato.		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	0.70	1.10	1.00
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	4.40	5.10	5.90
	3. Área de Accidentes	0.90	7.50	7.30
	4. Unidad de Autocontrol	1.10	0.60	1.10
	5. Área de Calidad	1.30	0.90	1.90
	6. Área de Administración	0.80	1.10	1.70

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

2. Diferencia entre la calificación real del cliente y la máxima permitida por contrato.

El MRO evalúa la satisfacción del cliente de la autopista mediante la aplicación de encuestas que son analizadas a través de indicadores estadísticos, y permite identificar quejas o situaciones de inconformidad y establecer estrategias de mejora. En una escala del 1 al 5, el MRO tiene la obligación de obtener mínimo 4 puntos en la evaluación del libramiento, donde se involucra a BANOBRAS, el AAS y los socios; la encuesta se efectúa realizando una serie de preguntas a cada uno de los clientes, en donde estos responden desde su propia visión y emiten la calificación real de acuerdo con el servicio ofrecido.

El valor obtenido en este rubro se consigue al restarle a la calificación máxima que es posible conseguir por la prestación del servicio menos la calificación real obtenida por el cliente, misma que para ser satisfactoria y aceptada por BANOBRAS no debe ser mayor a uno, por esta razón se nombra el input como diferencia; la selección de las dos variables antes descritas permite identificar el valor que se obtiene en la realidad por la prestación del servicio ofrecido por el MRO desde una perspectiva del cliente, mostrado en la tabla 15.

Tabla 15. Input diferencia entre la calificación real del cliente (BANOBRAS, ASS y socios) y la máxima permitida por contrato, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Inputs		
		2. Diferencia entre la calificación real del cliente y la máxima permitida por contrato.		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	0.00	0.40	0.70
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	1.00	0.70	1.00
	3. Área de Accidentes	0.70	0.60	0.90
	4. Unidad de Autocontrol	0.30	0.40	0.80
	5. Área de Calidad	0.40	0.50	1.00
	6. Área de Administración	1.00	1.10	0.80

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

3. Gastos.

Considera los gastos generales necesarios para la ejecución de las actividades relacionadas con el objeto del contrato, con la finalidad de dar satisfacción a las necesidades del cliente, porque es importante saber el comportamiento de los gastos para dar cumplimiento a las diversas necesidades y solicitudes del cliente, expuestos en la tabla 16.

Tabla 16. Input Gastos, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Inputs		
		3. Gastos.		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	\$ 28,942,332.00	\$ 25,194,226.00	\$ 26,693,098.00
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	\$ 14,033,147.00	\$ 13,010,209.00	\$ 12,037,227.00
	3. Área de Accidentes	\$ 3,905,941.00	\$ 2,325,020.00	\$ 3,390,389.00
	4. Unidad de Autocontrol	\$ 1,689,405.00	\$ 1,438,613.00	\$ 1,799,840.00
	5. Área de Calidad	\$ 839,619.00	\$ 1,438,190.00	\$ 832,764.00
	6. Área de Administración	\$ 4,757,842.00	\$ 3,355,778.00	\$ 4,718,996.00

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

Los inputs considerados para la eficiencia de prestación de servicio al cliente son controlados, es decir, se encuentran bajo control de la unidad productiva, en este caso de la dirección del proyecto, ya que en función de las medidas que se consideren para su ejecución se puede tener ingerencia sobre la cantidad y calidad de los mismos.

Outputs:

1. Mala calificación de auditorías permitida por contrato del servicio.

Considerando que el valor máximo posible de alcanzar en las auditorías es del 100 puntos y que el MRO está obligado a obtener una calificación mínima de 90 puntos, el valor presentado en la tabla 17, representa la mala calificación permitida por contrato que es posible obtener sin incurrir en alguna falta que afecte al proyecto, razón por la cual el valor autorizado para todas las áreas es de 10 puntos, visto como el mal resultado obtenido proveniente del resultado de las auditorías efectuadas.

Tabla 17. Output mala calificación de auditorías permitida por contrato del servicio, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Outputs		
		1. Mala calificación de auditorías permitida por contrato del servicio.		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	10.00	10.00	10.00
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	10.00	10.00	10.00
	3. Área de Accidentes	10.00	10.00	10.00
	4. Unidad de Autocontrol	10.00	10.00	10.00
	5. Área de Calidad	10.00	10.00	10.00
	6. Área de Administración	10.00	10.00	10.00

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

2. Mala calificación del cliente permitida por contrato.

Simboliza el valor que se obtiene de la diferencia del máximo valor posible a obtener de las encuestas realizadas a los clientes cuyo valor es 5 y el valor considerado como aceptable por contrato que es 4, de tal forma que la mala calificación permitida por contrato para todas las áreas es 1, lo que indica que mientras menor sea la diferencia es mejor la satisfacción que tiene el cliente del proyecto; lo cual se aprecia en la tabla 18.

Tabla 18. Output de mala calificación del cliente permitida por contrato, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Outputs		
		2. Mala calificación del cliente permitida por contrato.		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	1.00	1.00	1.00
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	1.00	1.00	1.00
	3. Área de Accidentes	1.00	1.00	1.00
	4. Unidad de Autocontrol	1.00	1.00	1.00
	5. Área de Calidad	1.00	1.00	1.00
	6. Área de Administración	1.00	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

III. Eficiencia de confort y seguridad del usuario de la vía.

Se realizará el cálculo de la eficiencia de confort y seguridad del usuario de la vía del proyecto, por lo que se propone evaluar la calidad ofrecida por el servicio considerando su estado de conservación, seguridad vial y la calidad de los servicios suministrados por el MRO, donde se considera necesario proporcionar una infraestructura segura, servicios conexos disponibles y en buen estado, cobro preciso y ágil, trato amable, información disponible y oportuna, apoyo en eventualidades, así como facturación del cobro de peaje. Se entiende como usuario a todo el público en general que hace uso de la infraestructura vial operada, de tal forma que al evaluar esta eficiencia se considera el cumplimiento de la atención a las necesidades y expectativas de esta parte interesada del proyecto.

Para calcular la eficiencia de confort y seguridad del usuario de la vía al emplear la metodología del DEA, se consideran los inputs y outputs indicados en la tabla 19.

Tabla 19. Inputs y outputs para la eficiencia de confort y seguridad del usuario de la vía.

3. Eficiencia de confort y seguridad del usuario de la vía.	
Inputs	Outputs
1. Índice de accidentabilidad.	1. Atención de accidentes.
2. Mala calificación proporcionada por el usuario.	2. Mala calificación proporcionada por el usuario permitida por contrato.
3. Gastos.	

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

Con el propósito de calcular el nivel de confort y seguridad que perciben los usuarios del Libramiento Oriente de Chihuahua, se realizará el análisis de la correspondiente eficiencia, considerando las variables antes mencionadas, de tal forma que serán ingresadas al programa para el cálculo al mismo tiempo los 3 inputs contra los 2 outputs identificados, para identificar si el usuario percibe que el proyecto MRO es seguro y cumple los requerimientos que necesitan desde su perspectiva.

Inputs:

1. Índice de accidentabilidad.

Un accidente vial es un suceso imprevisto que altera la marcha normal del desplazamiento en las vías, donde se causan daños a una persona o cosa, de manera repentina ocasionada por un agente externo involuntario, debido generalmente a factores externos e imprevistos que contribuyen la acción riesgosa, negligente o irresponsable de un usuario, como pueden ser fallas mecánicas repentinas, pérdida de atención al camino, cansancio y falta de manejo a la defensiva en condiciones ambientales desfavorables.

El índice de accidentabilidad total, relaciona el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) con el número de accidentes e incidentes totales ocurridos en los últimos tres años 2019, 2020 y 2021, además de la longitud total del libramiento, mediante la siguiente fórmula:

$$IAT_{3 \text{ años}} = \frac{(\text{Núm. Accidentes} + \text{Núm. Incidentes})10^8}{TDPA * 365 * L(km) * 3}$$

Las causas más representativas en la ocurrencia de accidentes del Libramiento Oriente de Chihuahua han sido choques con elementos fijos, choques con objetos sobre la calzada, choques por alcance ya sea frontal o lateral, impacto con semovientes, salida de la vía, incendios, así como accidentes de trabajo.

Cada una de las áreas del MRO intervienen directa o indirectamente en la prevención de los accidentes por ello se puede definir el índice de accidentabilidad por la participación de las áreas en los accidentes y esto se muestra en la tabla 20, en la cual se aprecian los valores que serán considerados para el cálculo de la eficiencia.

Tabla 20. Input índice de accidentalidad, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Inputs		
		1. Índice de accidentabilidad.		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	270.00	402.30	478.70
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	255.00	407.40	482.30
	3. Área de Accidentes	263.40	401.60	475.60
	4. Unidad de Autocontrol	294.00	405.90	482.70
	5. Área de Calidad	281.40	402.10	473.20
	6. Área de Administración	276.30	401.50	479.80

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

2. Mala calificación del usuario.

El MRO tiene la responsabilidad de lograr una calificación proporcionada por el usuario mínima de 85 en una escala de 100, correspondiente a la encuesta de satisfacción aplicada a los usuarios para evitar incumplir con las condiciones estipuladas en contrato y por consiguiente tener deductivas.

El valor obtenido en esta entrada se genera al restarle a los 100 puntos que es el máximo puntaje posible de obtener menos la calificación obtenida en la encuesta realizada al usuario, por lo que en el input se registra con el valor obtenido de la diferencia con la finalidad de que dicho valor sea lo más cercano a los 15 puntos que tiene permitido el contrato, lo anterior se puede apreciar en la tabla 21.

Tabla 21. Input mala calificación del usuario, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Inputs		
		2. Mala calificación del usuario.		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	17.00	19.50	15.20
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	13.00	18.70	11.40
	3. Área de Accidentes	15.00	17.40	15.60
	4. Unidad de Autocontrol	16.00	17.70	15.30
	5. Área de Calidad	14.00	18.30	13.50
	6. Área de Administración	15.00	18.60	13.70

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

3. Gastos.

Contempla los gastos generales necesarios para la ejecución de las actividades relacionadas con el objeto del contrato, mismos que son necesarios para proporcionar el confort y seguridad que el usuario de la vía requiere, indicados en la tabla 22.

Tabla 22. Input gastos, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Inputs		
		3. Gastos.		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	\$ 28,942,332.00	\$ 25,194,226.00	\$ 26,693,098.00
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	\$ 14,033,147.00	\$ 13,010,209.00	\$ 12,037,227.00
	3. Área de Accidentes	\$ 3,905,941.00	\$ 2,325,020.00	\$ 3,390,389.00
	4. Unidad de Autocontrol	\$ 1,689,405.00	\$ 1,438,613.00	\$ 1,799,840.00
	5. Área de Calidad	\$ 839,619.00	\$ 1,438,190.00	\$ 832,764.00
	6. Área de Administración	\$ 4,757,842.00	\$ 3,355,778.00	\$ 4,718,996.00

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

Outputs:

1. Atención de accidentes.

El MRO tiene la responsabilidad de acuerdo con el contrato de dar atención a la totalidad de los accidentes ocurridos en el libramiento de manera oportuna, lo cual se representa en la tabla 23.

Tabla 23. Output atención de accidentes, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Outputs		
		1. Atención de accidentes.		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	100.00	100.00	100.00
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	100.00	100.00	100.00
	3. Área de Accidentes	100.00	100.00	100.00
	4. Unidad de Autocontrol	100.00	100.00	100.00
	5. Área de Calidad	100.00	100.00	100.00
	6. Área de Administración	100.00	100.00	100.00

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

2. Mala calificación del usuario permitida por contrato.

El valor representado en este output se obtienen al realizar la diferencia de la máxima calificación que es posible obtener en la encuesta de satisfacción aplicada a los usuarios cuyo valor es de 100, menos la calificación más baja permitida por contrato que es de 85 puntos, de tal forma que el resultado muestra que únicamente es posible tener un error o una mala calificación de 15 puntos permitida por contrato, con la finalidad de no incurrir en algún incumplimiento, lo anterior se muestra en la tabla 24.

Tabla 24. Output mala calificación proporcionada por el usuario permitida por contrato, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Outputs		
		2. Mala calificación del usuario permitida por contrato.		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	15.00	15.00	15.00
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	15.00	15.00	15.00
	3. Área de Accidentes	15.00	15.00	15.00
	4. Unidad de Autocontrol	15.00	15.00	15.00
	5. Área de Calidad	15.00	15.00	15.00
	6. Área de Administración	15.00	15.00	15.00

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

IV. Eficiencia de funcionalidad.

Se efectuará el cálculo de la eficiencia respecto a la funcionalidad de los proyectos de MRO, ya que al ser esquemas de inversión a largo plazo es necesario analizar si el objetivo por el que se diseñó el esquema está brindando los resultados esperados, dado que la principal función del proyecto es la prestación de servicios al sector público y que los pagos del servicio contemplan factores en función de la calidad del mismo, esquemas de sanciones o deducciones estipuladas en contrato, se tiene la exigencia de contar con proyectos que cumplan con las responsabilidades establecidas durante la vida del mismo con un bajo índice de penalizaciones.

Para el análisis de la eficiencia de funcionalidad se eligen los inputs y outputs mostrados en la tabla 25.

Tabla 25. Inputs y outputs para la eficiencia de funcionalidad.

4. Eficiencia de funcionalidad	
Inputs	Outputs
1. Porcentaje de incumplimiento del programa de actividades.	1. Porcentaje de cumplimiento del programa de actividades de acuerdo a contrato.
2. Porcentaje de no atención de las obligaciones del contrato.	2. Porcentaje de atención de indicadores del contrato.
3. Gastos.	

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

Con el objetivo de evaluar la eficiencia de funcionalidad del proyecto MRO, se realizará el análisis considerando las variables antes indicadas, por lo que se ingresarán al programa a la vez los 3 inputs contra los 2 outputs identificados para el cálculo, para conocer si el proyecto es funcional de acuerdo con las exigencias de contrato.

Inputs:

1. Porcentaje de incumplimiento del programa de actividades.

El MRO tiene la responsabilidad de elaborar un programa de actividades de mantenimiento cada año, mismo que refleja las necesidades que requiere la infraestructura para su correcto funcionamiento. El no cumplir el programa al 100% pone en riesgo el cumplimiento de los indicadores de estándares de desempeño que son muy importantes en los contratos de Mantenedor-Rehabilitador.

El valor considerado en este input, se obtiene al restarle al 100% que es el valor solicitado contractualmente, el valor obtenido del cumplimiento real de las actividades, por lo que en el rubro se registra el porcentaje de incumplimiento total que presenta cada una de las áreas a analizar, por lo que al tener un valor de 0 significa que la DMU se encuentra cumpliendo totalmente sus actividades, mostrado en la tabla 26.

Tabla 26. Input Porcentaje de incumplimiento del programa de actividades, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Inputs		
		1. Porcentaje de incumplimiento del programa de actividades.		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	7.70	1.50	5.60
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	10.30	3.30	11.07
	3. Área de Accidentes	7.70	3.88	12.80
	4. Unidad de Autocontrol	0.00	0.00	0.00
	5. Área de Calidad	2.00	1.50	6.00
	6. Área de Administración	9.90	4.70	10.30

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

2. Porcentaje de no atención de las obligaciones del contrato.

El MRO tiene la responsabilidad de cumplir con la totalidad de las obligaciones del contrato, para evitar las deducciones que resultan aplicables por el incumplimiento de cualquiera de los estándares de desempeño del proyecto.

Para la identificación del valor en este input, ocurre algo similar que en el caso anterior, se registra el número obtenido al realizar la diferencia del valor solicitado contractualmente que es 100% para la atención de los indicadores del contrato menos el valor real de cumplimiento de cada área evaluada, de tal forma que el rubro representa el porcentaje de no atención total que presenta cada una de las áreas a analizar, por lo que el tener un valor de 0 significa que la DMU atiende totalmente sus obligaciones de acuerdo con el contrato, tabla 27.

Tabla 27. Input de porcentaje de no atención de las obligaciones del contrato, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Inputs		
		2. Porcentaje de no atención de las obligaciones por contrato.		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	1.59	0.96	0.66
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	2.24	1.28	1.46
	3. Área de Accidentes	7.50	4.30	2.90
	4. Unidad de Autocontrol	0.00	0.00	0.00
	5. Área de Calidad	1.50	1.90	2.70
	6. Área de Administración	0.50	0.40	0.80

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

3. Gastos.

Contempla los gastos generales necesarios para la ejecución de las actividades relacionadas con el objeto del contrato, indispensables para el correcto funcionamiento del proyecto, expuestos en la tabla 28.

Tabla 28. Input de gastos, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Inputs		
		3. Gastos.		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	\$ 28,942,332.00	\$ 25,194,226.00	\$ 26,693,098.00
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	\$ 14,033,147.00	\$ 13,010,209.00	\$ 12,037,227.00
	3. Área de Accidentes	\$ 3,905,941.00	\$ 2,325,020.00	\$ 3,390,389.00
	4. Unidad de Autocontrol	\$ 1,689,405.00	\$ 1,438,613.00	\$ 1,799,840.00
	5. Área de Calidad	\$ 839,619.00	\$ 1,438,190.00	\$ 832,764.00
	6. Área de Administración	\$ 4,757,842.00	\$ 3,355,778.00	\$ 4,718,996.00

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

Outputs:

1. Porcentaje de cumplimiento del programa de actividades de acuerdo a contrato.

El MRO tiene la obligación de cumplir con el 100% del programa de actividades para el servicio contratado, mismas que son necesarias para que el Libramiento Oriente de Chihuahua tenga un correcto funcionamiento, tabla 29.

Tabla 29. Output porcentaje de cumplimiento del programa de actividades, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Outputs		
		1. Porcentaje de cumplimiento del programa de actividades de acuerdo a contrato.		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	100.00	100.00	100.00
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	100.00	100.00	100.00
	3. Área de Accidentes	100.00	100.00	100.00
	4. Unidad de Autocontrol	100.00	100.00	100.00
	5. Área de Calidad	100.00	100.00	100.00
	6. Área de Administración	100.00	100.00	100.00

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

2. Porcentaje de atención de indicadores del contrato.

El MRO tiene la responsabilidad por contrato de dar atención a la totalidad de indicadores establecidos contractualmente, con la finalidad de que el Libramiento Oriente de Chihuahua funcione correctamente, indicado en la tabla 30.

Tabla 30. Output porcentaje de atención de indicadores del contrato, para los años 2019, 2020 y 2021.

		Outputs		
		2. Porcentaje de atención de indicadores del contrato.		
		2019	2020	2021
DMU	1. Área de Operación	100.00	100.00	100.00
	2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	100.00	100.00	100.00
	3. Área de Accidentes	100.00	100.00	100.00
	4. Unidad de Autocontrol	100.00	100.00	100.00
	5. Área de Calidad	100.00	100.00	100.00
	6. Área de Administración	100.00	100.00	100.00

Fuente: Elaboración propia con información del MRO Libramiento Oriente de Chihuahua.

Cada una de las variables definidas como inputs y outputs fueron cuidadosamente seleccionadas para lograr una correlación adecuada entre las mismas, buscando representar el impacto real que tienen sobre el proyecto para el correcto desempeño del mismo.

5.2 PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se muestran los resultados obtenidos al aplicar la metodología del DEA al proyecto de Mantenimiento, Rehabilitación y Operación perteneciente al estudio de caso Libramiento Oriente de Chihuahua, los valores obtenidos permiten conocer el comportamiento de las unidades productivas seleccionadas e identificar las áreas del proyecto que son eficientes así como aquellas que resultan ser ineficientes en función de los tipos de evaluaciones realizadas considerando los diferentes aspectos del proyecto como son: económico, de prestación de servicio al cliente, de confort y seguridad del usuario y de funcionalidad; los resultados del modelo se presentan de forma independiente por cada una de las eficiencias calculadas.

I. Eficiencia económica.

Para el cálculo de la eficiencia económica se realiza el primer análisis al utilizar la combinación del presupuesto anual contra los gastos de los datos que se tienen para el periodo de estudio que comprende los años 2019, 2020 y 2021, con la finalidad de observar el comportamiento de las variables seleccionadas en cada una de las DMUs estudiadas.

i. Presupuesto Anual vs Gastos

Una vez que se alimentó el software DEA Frontier en su versión gratuita, se obtiene la información que se muestra en la tabla 31.

Tabla 31. Resultados del cálculo de la eficiencia económica con input presupuesto anual y output gastos.

Input-Oriented VRS 1-1. Presupuesto Anual vs Gastos					
DMU No.	DMU Name	Efficiency			Promedio
		2019	2020	2021	
1	Área de Operación	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2	Área de Mantenimiento y Rehabilitación	0.97932	1.00000	0.92112	0.96681
3	Área de Accidentes	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
4	Unidad de Autocontrol	0.65874	0.54981	0.39895	0.53583
5	Área de Calidad	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
6	Área de Administración	0.58138	0.98119	0.83069	0.79775

Fuente: Elaboración propia con utilización del software DEA Frontier versión gratuita.

Anteriormente se dijo que la eficiencia se define como la capacidad de una organización para conseguir la máxima producción a partir de un conjunto de inputs, y que el valor de la eficiencia puede variar entre 0 y 1, donde obtener un valor de 1 significa que la organización es completamente eficiente y opera en la frontera de producción por lo que conseguir un valor menor que 1 representa que se opera por debajo de la frontera eficiente.

Lo anterior se puede corroborar al analizar los resultados obtenidos al realizar la ejecución del software, en donde se observa que durante los tres años de estudio existen tres DMUs que tuvieron un excelente comportamiento por lo que se consideran eficientes ya que consiguen obtener un valor de 1, lo cual significa que las unidades denominadas DMU-1. Área de Operación, DMU-3. Área de Accidentes y DMU-5. Área de Calidad, han conseguido utilizar el presupuesto que les autorizan anualmente de forma adecuada respecto a los gastos que han tenido para la ejecución de sus actividades; sin embargo el caso contrario se presenta en la DMU-4. Unidad de Autocontrol dado que se tiene un comportamiento malo ya que su eficiencia se encuentra muy por debajo del valor deseado.

Retomando el año 2019, se identifica que la siguiente área que presenta un comportamiento bueno es la DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación al conseguir alcanzar una eficiencia de 0.97932, ya que aunque no ha logrado ser completamente eficiente se localiza muy cerca de la frontera, lo cual indica que la dirección del proyecto está a tiempo de realizar las acciones necesarias que le permitan tener un correcto desempeño; para el caso de la DMU-4. Unidad de Autocontrol se tiene que la eficiencia obtenida es de 0.65874, posicionándola en un nivel regular lo que indica que si no se actúa de forma inmediata la relación que se presenta entre su presupuesto y sus gastos existe la posibilidad de que los gastos le sigan superando; finalmente el área que obtiene la peor calificación es la DMU-6. Área de Administración al tener una eficiencia de tal solo 0.58138 lo que indica que se tiene un foco rojo en donde definitivamente se están presentando sobrecostos importantes que pueden generar que el proyecto se vea afectado.

Para el año 2020, el comportamiento de la DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación logró alcanzar la eficiencia al conseguir un valor de 1, la DMU-6. Área de Administración presenta una mejora importante ya que consigue pasar de ser el área con peor eficiencia en el año 2019 a tener un comportamiento bueno con una eficiencia de 0.98119, sin embargo, en este año el área que resulta con la peor calificación es la DMU-4. Unidad de Autocontrol con un valor de eficiencia de 0.54981, lo que denota que no se tomaron las acciones necesarias para que el área tuviera un desempeño adecuado lo que genera un nuevo foco de atención que es importante atender para evitar que el presupuesto anual se siga viendo superado por los gastos generados en el área.

En el caso del año 2021, se tiene que la DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación ve comprometido su nivel de eficiencia dado que presenta una disminución que la lleva a tener un valor de 0.92112 y no logra conseguir la eficiencia total que logró en el año 2020; la DMU-6. Área de Administración obtiene un valor de 0.83069 por lo que se aprecia que su nivel de eficiencia presenta una disminución aunque el valor aún se encuentra dentro del parámetro bueno, es importante comenzar a realizar acciones que eviten que su calificación continúe a la baja, y el peor comportamiento lo tiene la DMU-4. Unidad de Autocontrol con un valor de eficiencia de 0.39895, lo que indica que sigue disminuyendo por lo que ya no existe una relación armoniosa entre el presupuesto asignado y los gastos del área y es urgente la atención del área para evitar que siga teniendo sobrecostos considerables.

ii. **Estimación de concurso vs Montos reales cobrados de estimación**

Para el segundo análisis realizado para el cálculo de la eficiencia económica, en donde se empleó la combinación dada por el input 2 estimación de concurso contra el output 2 montos reales cobrados de estimación, se tienen los resultados mostrados en la tabla 32.

Tabla 32. Resultados del cálculo de la eficiencia económica con input estimación de concurso y output montos reales cobrados de estimación.

Input-Oriented VRS					
2-2. Estimación de concurso vs Montos reales cobrados de estimación					
DMU No.	DMU Name	Efficiency			Promedio
		2019	2020	2021	
1	Área de Operación	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2	Área de Mantenimiento y Rehabilitación	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
3	Área de Accidentes	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
4	Unidad de Autocontrol	0.50012	0.50012	0.50012	0.50012
5	Área de Calidad	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
6	Área de Administración	0.73175	0.73175	0.73175	0.73175

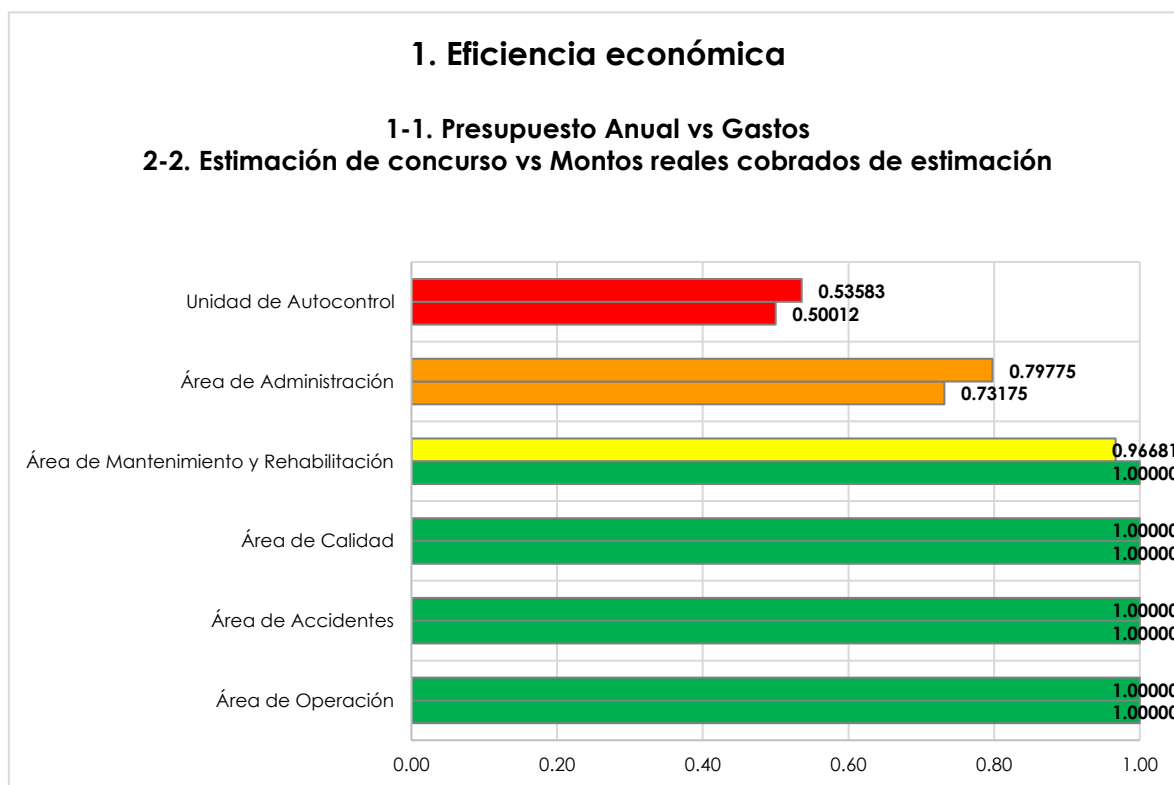
Fuente: Elaboración propia con utilización del software DEA Frontier versión gratuita.

Para este análisis, se observa que durante el periodo de estudio existen cuatro DMUs que presentan un excelente comportamiento al ser completamente eficientes y tener un valor de 1, las unidades eficientes son: la DMU-1. Área de Operación, DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación, DMU-3. Área de Accidentes y DMU-5. Área de Calidad; lo que implica que los montos establecidos para ser cobrados en las estimaciones de concurso se apegan a la realidad por lo que están cobrando la totalidad de los trabajos ejecutados; sin embargo, el caso opuesto se presenta nuevamente en la DMU-4. Unidad de Autocontrol ya que se obtiene un valor muy por debajo del valor deseado de tal manera que la unidad se considera ineficiente.

Continuando con el año 2019, la DMU-6. Área de Administración obtiene un valor regular de eficiencia de 0.73175 mismo que se repite para los años 2020 y 2021, lo que representa que en la unidad se están presentando algunas deducciones correspondientes a los incumplimientos existentes del proyecto lo que genera que el área no logre la eficiencia requerida; algo parecido ocurre con la DMU-4. Unidad de Autocontrol que para los 3 años de análisis es la peor unidad calificada al conseguir una eficiencia únicamente de 0.50012 lo que indica que los montos reales cobrados de estimación son menores a los estimados en concurso debido a la gran cantidad de incumplimientos que se presentan en la unidad por lo que es prioritario aplicar medidas de atención para evitar que el desempeño del proyecto se vea comprometido.

En seguida, se realiza el análisis del compartamiento general que han tenido las DMUs evaluadas en relación con la eficiencia económica, por lo que para apreciar el desempeño de las unidades se decide utilizar el promedio de las eficiencias obtenido en los 3 años valorados para cada una de las áreas, los resultados de representan la gráfica 1.

Gráfica 1. Representación de la eficiencia económica.



Fuente: Elaboración propia.

Al comparar las áreas evaluadas, se desprende que las DMU-1. Área de Operación, DMU-3. Área de Accidentes y la DMU-5. Área de Calidad logran alcanzar la eficiencia económica lo que significa que las 3 unidades productivas emplean correctamente los recursos que destinan para la ejecución de sus actividades esenciales por lo que componen la frontera de la eficiencia relativa al trabajar de forma excelente en el periodo de estudio.

En el caso de la DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación se tiene que su desempeño ha sido bueno al estar muy cerca de conseguir la eficiencia óptima ya que el valor obtenido es de 0.983405 por lo que se encuentra en el momento ideal para generar operaciones que le permitan obtener la eficiencia buscada.

En lo que concierne a la DMU-6. Área de Administración su desempeño es regular dado que su eficiencia se encuentra en un valor 0.76475 lo que indica la existencia de factores adicionales no contemplados en la planeación del proyecto, teniendo como consecuencia que el presupuesto asignado no coincida con los gastos realizados para la ejecución de las actividades necesarias en el área por lo que se deben de realizar cambios que conlleven a mejorar el desempeño de la misma.

Y para la DMU-4. Unidad de Autocontrol se tiene que es la unidad que presenta el peor comportamiento al lograr una eficiencia únicamente del 0.517975, la cual está muy alejada de la frontera eficiente, lo que muestra que el área cuenta con un presupuesto irreal ya que existen sobrecostos considerables al subestimar los gastos reales que ha necesitado el área para su funcionamiento, además de que el área no está cobrando lo que estableció cobraría en las estimaciones producto de sus actividades ejecutadas generando tener un flujo de efectivo mucho menor al planeado inicialmente, por lo que es indispensable realizar modificaciones sustanciales en la forma de utilizar los recursos existentes para la unidad y evitar que el proyecto sea afectado de manera considerable.

II. Eficiencia de prestación de servicio al cliente.

Para el cálculo de la eficiencia de prestación de servicio al cliente, se alimentó en la misma corrida el software DEA Frontier con la combinación de los 3 inputs conocidos como diferencia de la calificación obtenida de la auditoría respecto a la establecida en contrato, diferencia entre la calificación real del cliente y la máxima permitida por contrato y sus gastos contra los 2 outputs identificados como mala calificación de auditorías permitida por contrato y mala calificación del cliente permitida por contrato, para los años 2019, 2020 y 2021 que comprenden el periodo de estudio.

Una vez que se ejecutó el programa se obtuvieron los resultados indicados en la tabla 33.

Tabla 33. Resultados del cálculo de la eficiencia de prestación de servicio al cliente.

Input-Oriented VRS					
DMU No.	DMU Name	Efficiency			Promedio
		2019	2020	2021	
1	Área de Operación	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2	Área de Mantenimiento y Rehabilitación	0.27597	0.57143	0.77000	0.53913
3	Área de Accidentes	1.00000	0.66667	0.88355	0.85007
4	Unidad de Autocontrol	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
5	Área de Calidad	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
6	Área de Administración	1.00000	0.54545	0.98568	0.84371

Fuente: Elaboración propia con utilización del software DEA Frontier versión gratuita.

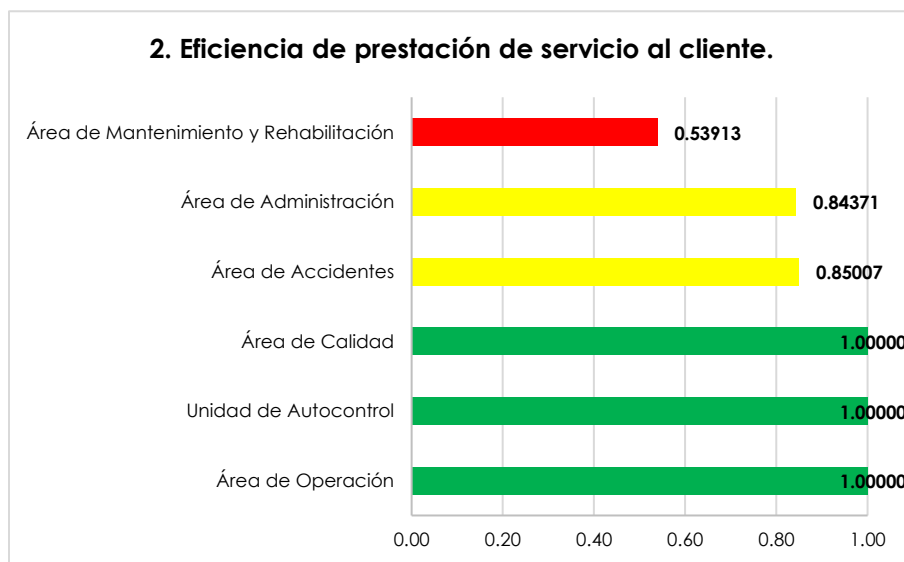
Los resultados obtenidos permiten conocer el nivel de satisfacción que perciben los diferentes clientes del MRO; para los 3 años de estudio se tiene que existen 3 unidades que trabajan de forma eficiente al conseguir un valor de 1 de forma consecutiva en el cálculo de la eficiencia de prestación de servicio al cliente, lo cual indica que las DMU-1. Área de Operación, DMU-4. Unidad de Autocontrol y la DMU-5. Área de Calidad cumplen con los requerimientos solicitados por sus clientes brindándoles el servicio esperado; sin embargo, el caso contrario se presenta en la DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación al tener un comportamiento deficiente ya que el valor que logró alcanzar se encuentra por debajo del esperado.

Por otra parte, resulta interesante destacar que las DMU-3. Área de Accidentes y DMU-6. Área de Administración en el 2019, presentaron un comportamiento ideal al conseguir la eficiencia de 1, sin embargo, para el año siguiente sus eficiencias se ven disminuidas considerablemente ya que para el año 2020 sus valores son de 0.57143 y 0.54545 respectivamente, lo que muestra que se presentaron situaciones externas que les imposibilitaron atender las necesidades de sus clientes; para el mismo año 2019, la unidad que se comportó menos eficiente fue la DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación al conseguir tan solo 0.27597 el cual está muy por debajo del valor deseado; para el año 2020, la unidad presenta una ligera mejora al conseguir un valor de eficiencia del 0.57173, aunque se muestra un incremento considerable el resultado aún denota que los clientes no se encuentran satisfechos con el servicio proporcionado por la unidad, ya que aún se encuentra trabajando por debajo de la frontera eficiente.

Para el año 2021, la eficiencia continúa mejorando para las unidades DMU-3. Área de Accidentes y DMU-6. Área de Administración ya que consiguen tener un comportamiento bueno al presentar valores de 0.88355 y 0.98568 respectivamente, por lo que ya se encuentran cerca de recuperar las condiciones que les llevaron a satisfacer totalmente a los clientes en el años 2019; la DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación continúa siendo el área que peor conducta presenta ya que aunque su eficiencia va en aumento tiene un resultado que se considera regular al conseguir un valor de 0.77000, lo que denota que no ha sido capaz de dar cumplimiento a las solicitudes establecidas en el contrato, razón por la cual es importante prestar mayor atención en dicha DMU ya que se encuentra alejada de cumplir el objetivo que es lograr la entera satisfacción del cliente al atender sus necesidades y expectativas en función del correcto cumplimiento del contrato de prestación de servicio.

Posteriormente, se realiza el análisis del compartamiento general que han tenido las DMUs evaluadas en la eficiencia de prestación de servicio al cliente, al utilizar el promedio de las eficiencias obtenido en cada uno de los años en los que han estado en funcionamiento las unidades estudiadas, los resultados de representan la gráfica 2.

Gráfica 2. Representación de la eficiencia de prestación de servicio al cliente.



Fuente: Elaboración propia.

Al comparar las áreas evaluadas, se desprende que las DMU-1. Área de Operación, DMU-4. Unidad de Autocontrol y la DMU-5. Área de Calidad obtienen la totalidad de la eficiencia de prestación de servicio al cliente, lo que simboliza que las tres unidades productivas atienden correctamente las necesidades de sus clientes en función de lo que solicitan por el servicio contratado. Las DMU-3. Área de Accidentes y DMU-6. Área de Administración han mostrado tener un comportamiento bueno ya que presentan valores de eficiencia de valores de 0.85007 y 0.84371 respectivamente, lo que hace alcanzable el mejorar su desempeño para lograr trabajar en la frontera eficiente. En el caso de la DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación se tiene un comportamiento malo con un valor de eficiencia de 0.53913 generando que los clientes se encuentren insatisfechos con el nivel de servicio ofrecido por la misma, lo que alerta a la dirección del proyecto a realizar cambios urgentes para mejorar el desempeño del área.

III. Eficiencia de confort y seguridad del usuario de la vía.

Para la evaluación de la eficiencia de confort y seguridad del usuario de la vía del proyecto, se ejecutó el software DEA Frontier con la combinación de los 3 inputs definidos como índice de accidentabilidad, mala calificación proporcionada por el usuario y gastos, contra los 2 outputs establecidos como atención de accidentes y mala calificación proporcionada por el usuario permitida por contrato, para cada uno de los años objeto de estudio, de tal manera que se realizó una corrida independiente para cada año evaluado considerando el 2019, 2020 y 2021 con los datos antes mencionados.

Una vez que se alimentó el programa se obtuvieron los resultados indicados en la tabla 34.

Tabla 34. Resultados del cálculo de la eficiencia de confort y seguridad del usuario de la vía.

Input-Oriented VRS					
DMU No.	DMU Name	Efficiency			Promedio
		2019	2020	2021	
1	Área de Operación	0.94444	0.99801	0.98851	0.97699
2	Área de Mantenimiento y Rehabilitación	1.00000	0.98555	1.00000	0.99518
3	Área de Accidentes	1.00000	1.00000	0.99495	0.99832
4	Unidad de Autocontrol	0.94213	1.00000	0.98032	0.97415
5	Área de Calidad	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
6	Área de Administración	0.96489	1.00000	0.98624	0.98371

Fuente: Elaboración propia con utilización del software DEA Frontier versión gratuita.

Del análisis se desprende que únicamente el área DMU-5. Área de Calidad ha tenido un comportamiento ideal al mantener una eficiencia de 1 en los 3 años de estudio, lo que representa que la calidad ofrecida por el servicio al considerar el estado de conservación, seguridad vial y la calidad de los servicios suministrados por el MRO es la esperada por el usuario de la vía, además se destaca que todas las áreas presentan un comportamiento adecuado ya que los valores obtenidos de las eficiencias son aceptables porque trabajan muy cerca de la frontera eficiente.

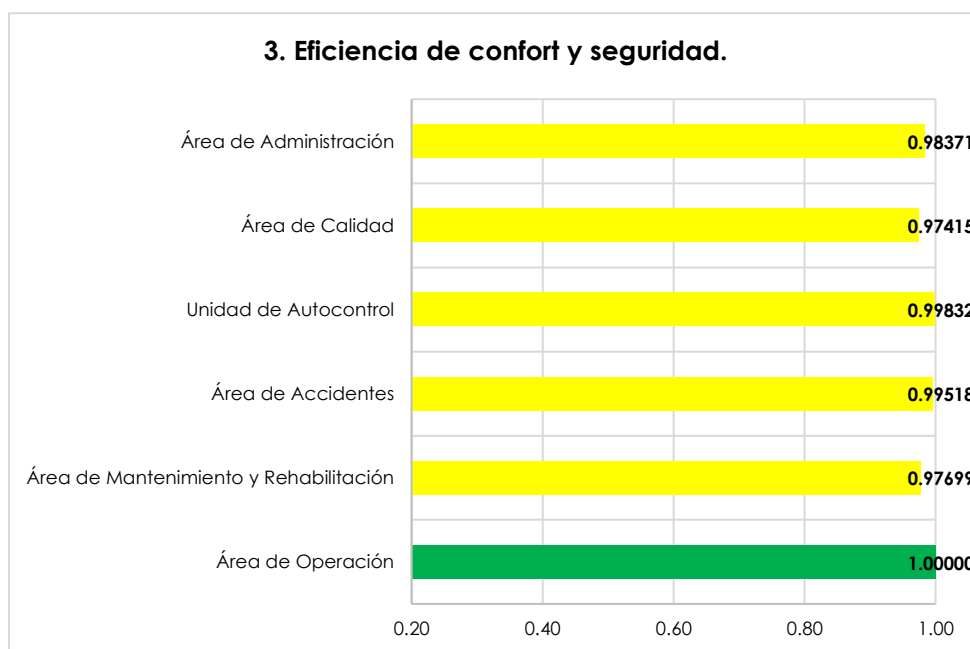
Para el año 2019, además de la DMU-5. Área de Calidad, la DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación y la DMU-3. Área de Accidentes obtienen un comportamiento excelente al tener una eficiencia con valor de 1; se tiene que las unidades restantes evaluadas presentan un comportamiento bueno, ya que las DMU-1. Área de Operación, DMU-4. Unidad de Autocontrol y la DMU-6. Área de Administración consiguen los valores de 0.94444, 0.94213 y 0.96489 respectivamente, lo que denota que se encuentran trabajando muy cerca de la frontera productiva.

En el año 2020, son cuatro las unidades productivas DMU-3. Área de Accidentes, DMU-4. Unidad de Autocontrol, DMU-5. Área de Calidad y DMU-6. Área de Administración que alcanzan el comportamiento deseado al tener una eficiencia de 1; y las DMU -1. Área de Operación y DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación presentan una eficiencia aceptable al obtener valores de 0.99801 y 0.98555, respectivamente, lo que muestra que si se realizan pequeñas acciones orientadas a mejorar su desempeño se conseguirá trabajar en la frontera eficiente para conseguir dar atención a las necesidades y expectativas de los usuarios del proyecto.

Para el año 2021, se observa que existe una ligera disminución en las eficiencias obtenidas en los años anteriores, ya que únicamente las DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación y DMU-5. Área de Calidad consiguen obtener la eficiencia de 1, y el resto de las unidades DMU -1. Área de Operación, DMU-3. Área de Accidentes, DMU-4. Unidad de Autocontrol y DMU-6. Área de Administración presentan una conducta buena ya que presentan eficiencias 0.98851, 0.99495, 0.98032 y 0.98624, respectivamente, muy cercanas a uno, por lo cual dichas unidades tienen gran posibilidad de poder alcanzar la eficiencia total si la dirección del proyecto implementa acciones para obtener la mejora de las áreas con la finalidad proporcionar una infraestructura segura, servicios conexos disponibles y en buen estado, cobro preciso y ágil, trato amable y apoyo en eventualidades.

A continuación, se realiza el análisis del compartamiento general que han tenido las DMUs evaluadas en la eficiencia de confort y seguridad del usuario de la vía del proyecto, se emplea el promedio de las eficiencias de los tres años de funcionamiento de las áreas evaluadas, los resultados se muestran en la gráfica 3.

Gráfica 3. Representación de la eficiencia de confort y seguridad del usuario de la vía.



Fuente: Elaboración propia.

Al realizar la comparativa de las DMUs evaluadas, se destaca que todas las áreas presentan un desempeño adecuado ya que se tiene que la DMU-1. Área de Operación alcanza la eficiencia total con el valor esperado de 1, seguida del resto de las áreas DMU-4. Unidad de Autocontrol, DMU-3. Área de Accidentes, DMU-6. Área de Administración, DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación y DMU-5. Área de Calidad cuyos valores obtenidos de eficiencia son 0.99832, 0.99518, 0.98371, 0.97699 y 0.97415, respectivamente, lo que indica que no existen áreas que sean deficientes y la dirección del proyecto únicamente requiere realizar cambios menores para lograr trabajar sobre la frontera eficiente.

IV. Eficiencia de funcionalidad.

Para el cálculo de la eficiencia de funcionalidad, se alimentó en la misma corrida el software DEA Frontier con la combinación de los 3 inputs conocidos como porcentaje de incumplimiento del programa de actividades, porcentaje de no atención de las obligaciones del contrato y gastos, contra los 2 outputs definidos como porcentaje de cumplimiento del programa de actividades de acuerdo con el contrato y porcentaje de atención de indicadores del contrato, para los años 2019, 2020 y 2021 que comprenden el periodo de evaluación.

Una vez que se ejecutó el programa se obtuvieron los resultados indicados en la tabla 35, mismos que permiten conocer el nivel de funcionamiento que tiene el proyecto MRO.

Tabla 35. Resultados del cálculo de la eficiencia de funcionalidad.

Input-Oriented VRS					
DMU No.	DMU Name	Efficiency			Promedio
		2019	2020	2021	
1	Área de Operación	0.05661	0.05710	0.06684	0.06018
2	Área de Mantenimiento y Rehabilitación	0.11040	0.11057	0.14330	0.12142
3	Área de Accidentes	0.23537	0.61857	0.40637	0.42010
4	Unidad de Autocontrol	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
5	Área de Calidad	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
6	Área de Administración	0.33513	0.42869	0.35957	0.37446

Fuente: Elaboración propia con utilización del software DEA Frontier versión gratuita.

De los resultados se desprende que únicamente existen dos unidades productivas que trabajan de forma eficiente al lograr mantener el valor deseado de 1 durante los tres años de estudio, las unidades eficientes son la DMU-4. Unidad de Autocontrol y la DMU-5. Área de Calidad. Por otra parte, resulta importante destacar que las DMU-3. Área de Accidentes y DMU-6. Área de Administración, presentan un pésimo comportamiento al tener valores de eficiencia por debajo de la mitad del valor esperado, lo que denota que se requieren acciones urgentes para conseguir un cambio favorable en el desempeño de las unidades, y finalmente el resto de las áreas conocidas como DMU-1. Área de Operación, DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación las cuales son la esencia del proyecto son completamente ineficientes ya que los valores que obtienen de eficiencia al trabajar con las condiciones actuales son números muy cercanos a cero, lo que enfatiza que las áreas no están siendo funcionales.

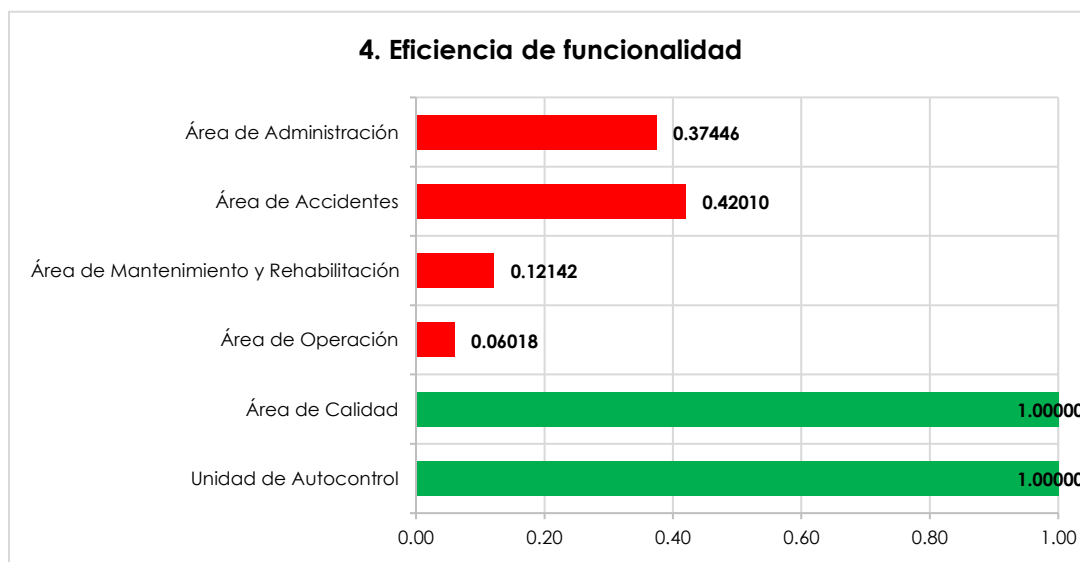
Para el año 2019, se destaca que las DMU-4. Unidad de Autocontrol y la DMU-5. Área de Calidad son totalmente eficientes, el resto de las unidades presenta valores inaceptables ya que obtienen eficiencias de 0.33513, 0.23537, 0.11040 y 0.05661 valores que pertenecen a las DMU-6. Área de Administración, DMU-3. Área de Accidentes, DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación y DMU-1. Área de Operación, respectivamente; de tal forma que la ineficiencia de las unidades resulta evidente lo que denota que no se están consiguiendo los resultados esperados para los que fue diseñado el proyecto MRO.

El comportamiento anterior es similar para el año 2020, dado que los resultados muestran que las DMU-4. Unidad de Autocontrol y la DMU-5. Área de Calidad conservan su eficiencia total, en esta evaluación la DMU-3. Área de Accidentes presenta una mejora al obtener una eficiencia de 0.61857 sin embargo a pesar de mejorar sus condiciones de trabajo su comportamiento es regular al encontrarse trabajando alejada de la frontera eficiente, y para el resto de las unidades estudiadas su desempeño es considerado malo al tener valores de 0.42869, 0.11057 y 0.05710 correspondientes a las DMU-6. Área de Administración, DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación y DMU-1. Área de Operación, respectivamente; lo que denota que la mayoría de las DMU están presentando un alto número de penalizaciones que les afectan directamente en la ejecución de sus funciones.

En el 2021, las DMU-4. Unidad de Autocontrol y la DMU-5. Área de Calidad continúan siendo completamente eficientes, y el resto de las unidades estudiadas son totalmente ineficientes pues los valores que obtienen al ser evaluadas son 0.40637, 0.35957, 0.14330 y 0.06684 pertenecientes a las DMU-3. Área de Accidentes, DMU-6. Área de Administración, DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación y DMU-1. Área de Operación, respectivamente; la información obtenida muestra que es necesario implementar acciones inmediatas para corregir el funcionamiento de las áreas, ya que de continuar trabajando como lo han realizado hasta el momento afectarán directamente el objetivo del esquema en razón de que la principal función del proyecto es la prestación del servicio contratado y no se está cumpliendo en su totalidad.

En seguida, se analiza el compartamiento general que han tenido las DMUs evaluadas respecto a la eficiencia de funcionalidad, se utiliza el promedio de las eficiencias de los tres años de actividad de unidades, de donde se desprende que las DMU-4. Unidad de Autocontrol y la DMU-5. Área de Calidad trabajan en la frontera eficiente y el resto de las unidades son ineficientes al presentar valores de 0.42010, 0.37446, 0.12142 y 0.06018 pertenecientes a las DMU-3. Área de Accidentes, DMU-6. Área de Administración, DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación y DMU-1. Área de Operación, respectivamente; los resultados se muestran en la gráfica 4.

Gráfica 4. Representación de la eficiencia de funcionalidad.



Fuente: Elaboración propia.

En seguida, se realiza un resumen de los resultados obtenidos correspondientes a las cuatro eficiencias evaluadas para cada una de las DMUs, el cual se muestra en la tabla 36.

Tabla 36. Resumen de resultados de las eficiencias evaluadas para las DMUs.

Input-Oriented VRS					
DMU No.	DMU Name	Eficiencia			
		Económica	Prestación de servicio al cliente	Confort y seguridad del usuario de la vía	Funcionalidad
1	Área de Operación	1.00000	1.00000	0.97699	0.06018
2	Área de Mantenimiento y Rehabilitación	0.98341	0.53913	0.99518	0.12142
3	Área de Accidentes	1.00000	0.85007	0.99832	0.42010
4	Unidad de Autocontrol	0.51798	1.00000	0.97415	1.00000
5	Área de Calidad	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
6	Área de Administración	0.76475	0.84371	0.98371	0.37446

Fuente: Elaboración propia con utilización del software DEA Frontier versión gratuita.

De los resultados se identifica que sólo la unidad productiva conocida como DMU-5. Área de Calidad es totalmente eficiente al conseguir el valor deseado de 1 en el cálculo de las cuatro eficiencias consideradas en el análisis que son: económica, de prestación de servicio al cliente, de confort y seguridad del usuario de la vía y de funcionalidad, la unidad logra mantener durante los tres años de estudio.

Para el caso de la DMU-1. Área de Operación, se tiene que la unidad productiva trabaja de manera eficiente en los aspectos económico y de prestación de servicio al cliente porque consigue el valor buscado de 1 en el cálculo de las respectivas eficiencias; además, presenta un comportamiento bueno en la eficiencia de confort y seguridad del usuario de la vía al trabajar muy cerca de la frontera eficiente y tener un valor de 0.97699; sin embargo, el área es completamente ineficiente en el aspecto funcional, ya que el valor que se tiene al evaluar su eficiencia es de 0.06018, el cual es inaceptable al ser casi 0, también es el valor más bajo de todas las áreas evaluadas, por lo que es indispensable que se realicen acciones encaminadas a mejorar de manera inmediata su funcionalidad.

En cuanto a la DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación, en ninguna de las eficiencias analizadas logra alcanzar el valor óptimo, a pesar de no obtener el valor de 1, la unidad consigue en sus evaluaciones de eficiencia económica y eficiencia de confort y seguridad del usuario valores de 0.98341 y 0.99518, respectivamente, los cuales se consideran aceptables ya que se encuentran trabajando muy cerca de la frontera eficiente; en la eficiencia de prestación de servicio al cliente el valor es de 0.53913 lo que indica que no se trabaja adecuadamente y es momento de actuar para evitar que su comportamiento siga siendo deficiente; en cuanto a la eficiencia de funcionalidad proporciona un valor muy bajo de 0.12142, lo que denota que el área trabaja de forma ineficiente y es necesaria la pronta intervención de la dirección del proyecto para establecer mecanismos que modifiquen el comportamiento de la unidad productiva.

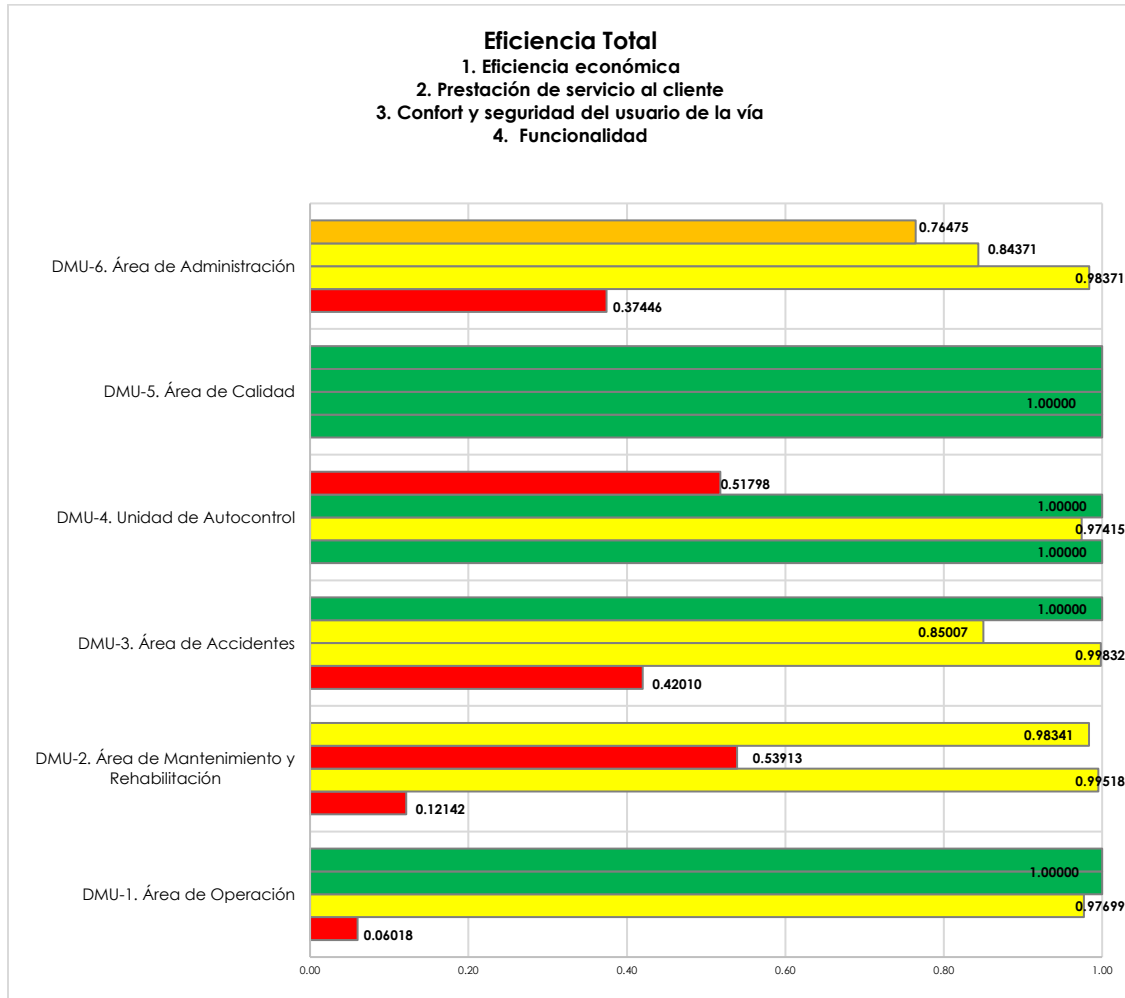
En la DMU-3. Área de Accidentes, se muestra que logra la eficiencia económica al conseguir el valor esperado de 1; presenta un comportamiento bueno en sus eficiencias de prestación de servicio al cliente y de confort y seguridad del usuario ya que obtiene valores de 0.85007 y 0.99831, respectivamente, sin embargo, no se descarta la posibilidad de mejorar su desempeño para obtener el valor deseado de 1 y así ser completamente eficiente en ambas eficiencias; el peor comportamiento se encuentra en la eficiencia de funcionalidad al tener un resultado de 0.42010 el cual expresa que el área trabaja alejada de la frontera eficiente y es urgente la implementación de estrategias que modifiquen su funcionamiento en beneficio del proyecto.

En cuando a la DMU-4. Unidad de Autocontrol, los resultados indican que logra trabajar de forma eficiente en los aspectos de prestación de servicio al cliente y de funcionalidad ya que en ambas eficiencias consigue el valor esperado de 1; presenta un comportamiento bueno en la eficiencia de confort y seguridad del usuario de la vía al tener un valor de 0.97415 el cual se encuentra cerca de la frontera eficiente; sin embargo, en el aspecto económico su conducta no es aceptable ya que consigue un valor de 0.51798 de tal manera que la unidad productiva es deficiente al emplear los recursos con los que cuenta para realizar sus actividades, por lo que se requiere poner en práctica planes dirigidos a mejorar el desempeño del área.

Finalmente, la DMU-6. Área de Administración, muestra que en ninguna de las evaluaciones realizadas logra alcanzar el valor ideal de 1; en el cálculo de la eficiencia de prestación de servicio al cliente y eficiencia de confort y seguridad del usuario de la vía los valores obtenidos son de 0.84371 y 0.98371, respectivamente, por lo que a pesar de que los valores son considerados como buenos por estar cerca de la frontera eficiente es necesario realizar algunas modificaciones menores para conseguir trabajar de forma eficiente; la eficiencia económica presenta un comportamiento regular al obtener un valor de 0.76475 por lo que es el momento ideal para efectuar cambios ya que de no hacerlo se corre el riesgo de que las condiciones empeoren y como consecuencia la eficiencia de la unidad productiva se vea afectada; la peor conducta se presenta en la eficiencia de funcionalidad al tener un valor de 0.37446 por lo que es necesario que la dirección del proyecto actúe de forma inmediata para establecer mecanismos que modifiquen la ineficiencia existente en el área.

Para fines de visualización en la gráfica 5, se puede apreciar el desempeño de las DMUs evaluadas.

Gráfica 5. Representación de la eficiencia total.



Fuente: Elaboración propia.

Al realizar la evaluación de la eficiencia de las seis DMUs objeto de estudio, los resultados permiten conocer el comportamiento de las unidades productivas del modelo de Mantenimiento, Rehabilitación y Operación, ya que el valor obtenido muestra el éxito o fracaso de cada una de las áreas internas pertenecientes al MRO, en lo referente a la ejecución de sus actividades esenciales considerando las condiciones particulares que se presentan en los análisis propuestos.

En este sentido, para conocer el desempeño global del proyecto MRO se calcula la eficiencia total de cada una de las áreas internas del MRO al emplear los promedios de los resultados obtenidos en el cálculo de las eficiencias conocidas como: económica, de prestación de servicio al cliente, de confort y seguridad del usuario y de funcionalidad; posteriormente se obtienen el promedio de las eficiencias de las seis DMUs, de tal forma que se tiene que el proyecto de forma general logra obtener una eficiencia de 0.80848, mostrado en la tabla 37.

Tabla 37. Eficiencia del Proyecto MRO.

<i>DMU</i>	<i>Eficiencia Total</i>	<i>Eficiencia Proyecto MRO</i>
DMU-1. Área de Operación	0.75929	0.80848
DMU-2. Área de Mantenimiento y Rehabilitación	0.65979	
DMU-3. Área de Accidentes	0.81712	
DMU-4. Unidad de Autocontrol	0.87303	
DMU-5. Área de Calidad	1.00000	
DMU-6. Área de Administración	0.74166	

Fuente: Elaboración propia con utilización del software DEA Frontier versión gratuita.

En razón de lo anterior, se tiene que desde una visión interna del proyecto se consigue una eficiencia buena, ya que el proyecto no trabaja tan alejado de lo que se conoce como frontera eficiente cuyo valor es 1; por lo que las condiciones particulares del proyecto y del entorno en el que se desarrolla son favorables para brindar parte de los beneficios que asegura puede dar el esquema, sin embargo, para conseguir una eficiencia completamente satisfactoria es necesario implementar acciones encaminadas a mejorar su desempeño y evitar que en un futuro el éxito del proyecto se vea afectado.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

México necesita incrementar con urgencia la inversión en proyectos carreteros para lograr que la infraestructura se convierta en un motor que impulse la competitividad y el crecimiento económico del país, razón por la cual, hoy en día es fundamental contar con proyectos bajo la modalidad de APP más eficientes como una opción para conseguir capital privado y ejecutar los proyectos prioritarios para la población.

Para conseguir que la inversión sea cada vez mayor, es necesario que nuestro país supere los obstáculos administrativos y presupuestarios que afectan, retrasan e inclusive perjudican los proyectos de inversión, para ello, existen acciones que podrían generar cambios significativos en la calidad y cobertura de la red carretera, por lo que se requiere generar la información necesaria para analizar la factibilidad económica, técnica y funcional de los proyectos de infraestructura carretera y contar con métricas que permitan evaluar la eficiencia que se tiene en los procesos y actividades necesarios para su actuación, además, de la pertinencia en el uso de los recursos destinados para la ejecución de los mismos ya que se encuentran en juego capital público y privado.

Esta tesis, presenta un método de evaluación enfocado en la medición del desempeño en proyectos bajo el esquema de mantenimiento, rehabilitación y operación MRO, el analizar el comportamiento que presentan estos proyectos mediante la técnica del DEA permitió identificar los principales factores que influyen en su desempeño, brinda las herramientas necesarias para tener una planeación y toma de decisiones correctas durante el desarrollo del proyecto, al conocer cuáles son las áreas críticas del mismo e implementar mecanismos de control que mitiguen sus riesgos.

La metodología empleada, permitió cuantificar la eficiencia de esta modalidad de APP brindando la posibilidad de contar con indicadores de eficiencia relacionados con el comportamiento real de los mismos, y confirma la utilidad de contar con una herramienta que muestre que estos proyectos requieren acciones encaminadas a mejorar su funcionamiento para cumplir con la totalidad de condiciones para las cuales fueron diseñados y dar atención a los requerimientos que tiene México en cuanto a infraestructura.

Los resultados obtenidos brindan la posibilidad de considerar al DEA como un método para evaluar la eficiencia interna de las áreas que hacen posible la ejecución de un MRO, ya que proporciona información valiosa que facilita la toma de decisiones para el funcionario y para el privado, debido a la premisa de contar con información precisa del funcionamiento del proyecto utilizando insumos y productos reales provenientes del ejercicio real que ha tenido el MRO; al funcionario le puede servir para ubicar las áreas que deben componer las propuestas de concurso de proyectos similares y al privado para darse cuenta donde puede mejorar sus propuestas de concurso y en el proceso de ejecución en mejorar las áreas durante la vida del proyecto, ya que se demostró que no todas las áreas internas que se involucran en el funcionamiento del MRO utilizan sus insumos del forma adecuada al trabajar de forma ineficiente.

La evaluación realizada brinda el beneficio adicional de permitir, en caso de ser necesario, la introducción de nuevos inputs y outputs pertenecientes a la ejecución del proyecto, de tal forma que, el modelo se podría ajustar para incluir factores adicionales que los funcionarios o técnicos responsables consideren que puedan afectar directamente el desempeño del proyecto.

Utilizar un método para evaluar la eficiencia productiva en los nuevos modelos de operación conocidos como MRO pertenecientes a los esquemas de APP, brinda la posibilidad de analizar desde una perspectiva interna el proyecto MRO del Libramiento Oriente de Chihuahua, ya que después de emplear la metodología del DEA para realizar el cálculo de las eficiencias económica, de prestación de servicio al cliente, de confort y seguridad del usuario y de funcionalidad, se tienen los elementos necesarios para determinar que la implementación mediante dicha modalidad es exitosa, ya que las DMUs evaluadas en su conjunto obtienen en términos generales una eficiencia buena, al trabajar cerca de la frontera eficiente; evidenciando que las condiciones particulares del proyecto y del entorno en el que se desarrolla son adecuadas pero no suficientes para brindar la totalidad de los beneficios que asegura puede proporcionar el nuevo esquema de financiamiento, por lo que para conseguir la eficiencia deseada de 1, es necesario contar con mejores mecanismos de control relativos a las tareas que ejecutan cada una de las áreas internas del MRO, orientados a mejorar el desempeño de cada unidad productiva y evitar que continúen trabajando de forma ineficiente y como consecuencia que el proyecto fracase en su cometido.

Del análisis interno se determina que el área de calidad tuvo el mejor comportamiento, ya que fue la única unidad productiva que obtuvo la eficiencia total de 1; el caso opuesto se presentó en el área de mantenimiento y rehabilitación ya que funcionalmente el área no proporcionó los resultados esperados, ya que presenta notables incumplimientos en su programa de actividades, así como un alto porcentaje de no atención a las obligaciones de su contrato, por lo que las sanciones que le aplican son elevadas, situación que afectó notablemente su desempeño; y en consecuencia, no logra dar entera satisfacción a las necesidades y expectativas de sus clientes, por lo que su eficiencia se encuentra muy por debajo de la frontera eficiente definida con la técnica del DEA.

La evaluación de la eficiencia de los nuevos modelos de operación como el MRO debe ser considerada para su futura implementación en otros tramos carreteros, ya que se demostró que el contar con una herramienta que proporcione información acerca del desempeño económico, técnico y funcional del proyecto es viable, porque permite conseguir una gestión más eficiente de las áreas involucradas en el proyecto.

Finalmente, dado que el proyecto presenta algunas deficiencias, y en áreas de mejorar para que el proyecto pueda seguir considerándose como una alternativa conveniente de inversión pública para la provisión de servicios, se mencionan algunas propuestas que pueden ser consideradas para lograr incrementar la eficiencia obtenida en los diferentes análisis realizados, como son:

- Las áreas de administración, operación y mantenimiento que resultaron ser las menos eficientes económicamente, deben realizar un presupuesto más acertivo para apegarse a sus gastos reales, así como ejercer los recursos necesarios para cumplir sus objetivos.
- El área de mantenimiento es muy sensible a tener eficiencia baja ya que es una de las áreas medulares en este proyecto, por tal motivo debe contar con un monitoreo constante en el cumplimiento de sus programas de ejecución y en la calidad de su trabajo, ya que sus actividades impactan directamente en la prestación del servicio.

- El área de accidentes deberá poner mayor atención en reparar de manera inmediata los daños provocados por los accidentes para aumentar la eficiencia en funcionalidad.
- El área de operación deberá ser más estricta en sus procedimientos para ejecutar correctamente sus actividades y cumplir al 100% sus indicadores de desempeño.

IV. GLOSARIO

AAS. Agente Administrador Supervisor.

APP. Asociaciones Público Privadas.

Banderero. Persona encargada de proteger la vida de los trabajadores que se encuentran llevando alguna obra en la carretera que represente un suceso inesperado para el público en general, previenen con anticipación al conductor de la existencia de algún peligro orientándolo al aproximarse a la zona de obra y guiándolo con seguridad a través del área de trabajo, sin dejar de protegerse a sí mismo.

BANOBRAS. Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C.

BESOP. Bitácora Electrónica y Seguimiento a Obra Pública.

BID. Banco Interamericano de Desarrollo.

DEA. Análisis envolvente de datos (Data Envelopment Analysis – DEA por sus siglas en inglés).

DMU. Unidades Tomadoras de Decisiones (Decision Making Units – o DMU por sus siglas en inglés).

DOF. Diario Oficial de la Federación.

Estimación. Es la valuación de los trabajos ejecutados en un periodo determinado presentada para autorización de pago, en la cual se aplican los precios, valores o porcentajes establecidos en el contrato en atención a la naturaleza y características del mismo, considerando, en su caso, la amortización de los anticipos, los ajustes de costos, las retenciones económicas, las penas convencionales y las deducciones; así como, la valuación de los conceptos que permitan determinar el monto de los gastos no recuperables.

FONADIN. Fideicomiso Fondo Nacional de Infraestructura.

IMT. Instituto Mexicano del Transporte.

ISO 9001:2015. Sistemas de gestión de la calidad. La adopción de un sistema de gestión de la calidad es una decisión estratégica para una organización que le puede ayudar a mejorar su desempeño global y proporcionar una base sólida para las iniciativas de desarrollo sostenible. Esta Norma Internacional emplea el enfoque a procesos, y el pensamiento basado en riesgos, lo que permite a una organización planificar sus procesos y sus interacciones, para asegurarse de que sus procesos cuenten con recursos y se gestionen adecuadamente, y que las oportunidades de mejora se determinen y se actúe en consecuencia.

ISO 14001:2015. Esta norma internacional especifica todos los requisitos necesarios para establecer un Sistema de Gestión Ambiental en una organización, esto puede ser utilizado para mejorar su desempeño ambiental. La norma es utilizada por la organización para gestionar sus responsabilidades ambientales de forma sistemática que contribuya con la sostenibilidad.

MRO. Modelo de Mantenimiento, Rehabilitación y Operación.

ITS. Sistemas Inteligentes de Transporte.

PPD. Pago Por Disponibilidad.

PUM. Pago Unitario Mensual.

SCT. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Sobrecosto. Es un costo inesperado que incurre sobre una cantidad presupuestada debido a una subestimación del costo real durante el proceso de cálculo del presupuesto lo que genera un incremento del costo previamente establecido.

TDPA. El tránsito diario promedio anual o TDPA por sus siglas, es el volumen de tránsito anual dividido entre los 365 días del año, si el aforo periodo es limitado el TDPA se estima corrigiendo el número de vehículos dividido en el número de días de conteo.

Telepeaje. Corresponde a un sistema de comunicación remota entre una antena situada en el pórtico de peaje y un dispositivo TAG (Transmitter & responder por sus siglas en inglés).

Vialetas. Son dispositivos que se colocan en la superficie de rodamiento de la carretera o en el cuerpo de las estructuras adyacentes a la vialidad. Las vialetas se usan para complementar las marcas del pavimento como parte del señalamiento horizontal, mejorando la visibilidad de la geometría de la vialidad, cuando prevalecen condiciones climáticas adversas y/o durante la noche.

V. BIBLIOGRAFÍA

1. Cooper, W. C., M. Seiford, L., & Tone, K. (2006). "Data Envelopment Analysis, A Comprehensive Text with Models.", New York: Springer.
2. Cooper, W. C., M. Seiford, L., & Zhu, J. (2011). "Handbook on Data Envelopment Analysis", New York: Springer (Vol. 164).
3. Farrell, M. J. (1957). "The Measurement of Productive Efficiency", Journal of the Royal Statistical Society, Vol. 120, No. 3.
4. Subhash C. Ray, (2004). "Data Envelopment Analysis Theory and Techniques for Economics and-Operations-Research.
5. Zhu, J. (2009). "Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking, Data Envelopment Analysis with Spreadsheets", New York: Springer.

Publicaciones

1. Academia de Contratación Pública de México, A.C., "Apuntes sobre las Asociaciones Público Privadas", disponible en: http://www.contratacionpublica.mx/static/articulos/asociaciones-publico-privadas/01_Apuntes_Asoc_Pub-Priv.pdf, fecha de consulta 17 agosto de 2020.
2. Banco Interamericano de Desarrollo (BID), "Asociaciones públicas privadas para la prestación de servicios. Una visión hacia el futuro", disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Asociaciones-p%C3%ABlico-privadas-para-la-prestaci%C3%B3n-de-servicios-Una-visi%C3%B3n-hacia-el-futuro.pdf>, fecha de consulta 12 de septiembre de 2020.
3. Banco Interamericano de Desarrollo, "Evaluación de Asociaciones Público-Privadas en Infraestructura", disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Evaluaci%C3%B3n-de-asociaciones-p%C3%ABlico-privadas-en-infraestructura.pdf>, fecha de consulta 21 agosto de 2020.
4. Banco Interamericano de Desarrollo, "Experiencia mexicana en Asociaciones Público-Privadas para el desarrollo de Infraestructura y la provisión de servicios públicos", disponible en: <https://piappem.org/Document.php?q=Experiencia+mexicana+en+Asociaciones+P%FAblico-+Privadas+para+el+desarrollo+de+Infraestructura+y+la+provisi%F3n+de+servicios+p%FAblicos>, fecha de consulta 21 agosto de 2020.
5. Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S. N. C. "111 Preguntas sobre Concesiones de Autopistas en México", disponible en: <http://dictyg.fi-c.unam.mx/~disyp/lecturas/111preguntas.pdf>, fecha de consulta 25 octubre de 2022.

6. Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S N C, “Aplicación de la tecnología para el programa 2019 del Fondo Nacional de Infraestructura”, disponible en: https://cicm.org.mx/wp-content/files_mf/presentaci%C3%B3nherramientasprogramafni201926.01.19.pdf, fecha de consulta 21 agosto de 2020.
7. Banco Interamericano de Desarrollo, “Efectos de la corrupción en los contratos de APP”, disponible en: <http://www.ampres.com.mx/assets/efectos-de-la-corrupcion-en-los-contratos-de-asociaciones-p%C3%BAblico-privadas-consecuencias-de-un-enfoque-de-tolerancia-cero.pdf>, fecha de consulta 21 agosto de 2020.
8. Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S. N. C. “Mantenimiento, Rehabilitación y Operación de las autopistas y puentes internacionales que integran el paquete noreste concesionado al Fondo Nacional de Infraestructura”, disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/517145/Conveniencia_CPP_PAQUETE_NORESTE_VP.pdf, fecha de consulta 22 agosto de 2020.
9. Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S N C, “Modelo de Operación por Estándares Mantenimiento, Rehabilitación y Operación Paquete Noreste”, disponible en: <https://www.proyectosmexico.gob.mx/wp-content/uploads/2019/10/Paquete-Noreste-October-2019.pdf>, fecha de consulta 16 agosto de 2020.
10. Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S N C, “Programas y su impacto social: Modelo de Operación por Estándares de Desempeño (MOE)”, disponible en: <https://www.gob.mx/banobras/es/articulos/programas-y-su-impacto-social-modelo-de-operacion-por-estandares-de-desempeno-moe?idiom=es#:~:text=Otros%20de%20los%20beneficios%20derivados,buen%20estado%20para%20su%20uso>, fecha de consulta 20 agosto de 2020.
11. Cruz Guizar, Roberto Antonio. (2012) “La Asociación Público-Privado. Una opción para el desarrollo en México”. Universidad Iberoamericana”, disponible en: <http://ri.ibero.mx/bitstream/handle/ibero/367/015623s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, fecha de consulta 20 agosto de 2020.
12. Diario Oficial de la Federación (DOF), “Decreto por el que se ordena la creación del Fideicomiso Fondo Nacional de Infraestructura”, disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5029526&fecha=07/02/2008, fecha de consulta 10 agosto de 2020.
13. Diario Oficial de la Federación, “Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las mismas”, disponible en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/56_200521.pdf, fecha de consulta 20 agosto de 2020.
14. Diario Oficial de la Federación, “Nueva Ley de Asociaciones Público Privadas”, disponible en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAPP_150618.pdf, fecha de consulta 17 agosto de 2020.
15. Diario Oficial de la Federación, “Nuevo Reglamento de la Ley de Asociaciones Público Privadas”, disponible en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LAPP_200217.pdf, fecha de consulta 17 agosto de 2020.

16. Diario Oficial de la Federación, “Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las mismas”, disponible en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LOPSRM.pdf, fecha de consulta 20 agosto de 2020.

17. FONADIN, “Decreto por el que se ordena la creación del Fideicomiso Fondo Nacional de Infraestructura”, disponible en: <https://www.fonadin.gob.mx/acerca-del-fonadin/decreto-creacion-fonadin/#:~:text=El%20d%C3%ADa%207%20de%20febrero,Obras%20y%20Servicios%20P%C3%ABlicos%2C%20S.N.C>, fecha de consulta 18 agosto de 2020.

18. FONADIN, “Decreto por el que se reforma y adiciona el Decreto por el que se ordena la creación del Fideicomiso Fondo Nacional de Infraestructura”, disponible en: <https://www.fonadin.gob.mx/acerca-del-fonadin/decreto-creacion-fonadin/#:~:text=El%20d%C3%ADa%207%20de%20febrero,Obras%20y%20Servicios%20P%C3%ABlicos%2C%20S.N.C>, fecha de consulta 18 agosto de 2020.

19. Instituto Mexicano del Transporte, “Publicación Técnica No. 376. Inversión en infraestructura de transporte terrestre y productividad regional en México, 1980-2000 (un análisis DEA)”, disponible en: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt376.pdf>, fecha de consulta 20 de septiembre de 2020.

20. Instituto Mexicano del Transporte, “Publicación Técnica No. 497. Concesiones carreteras en México, una aproximación a su productividad económica como medida de desempeño”, disponible en: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt497.pdf>, fecha de consulta 20 de septiembre de 2020.

21. Instituto Nacional de Administración Pública, S.A., “De los modelos a los instrumentos de reforma administrativa”, disponible en: <https://biblio.juridicas.unam.mx/bjv/detalle-libro/5727-de-los-modelos-a-los-instrumentos-de-reforma-administrativa-coleccion-inap>, fecha de consulta 17 agosto de 2020.

22. International Financial Services, London, “Asociaciones Público Privadas, Experiencia del Reino Unido para los Mercados Internacionales”, disponible en: <https://silo.tips/download/public-private-partnerships-asociaciones-publico-privadas-experiencia-del-reino>, fecha de consulta 15 agosto de 2020.

23. ISO, “ISO 9001:2015. Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos, disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>, fecha de consulta: 02 de agosto 2022.

24. ISO, “ISO 14001:2015. Sistemas de gestión ambiental — Requisitos con orientación para su uso, disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:es>, fecha de consulta: 02 de agosto 2022.

25. The Economist Intelligence Unit, “El líder mundial en inteligencia empresarial”, disponible en: <https://www.eiu.com/n/>, fecha de consulta 2 de octubre de 2020.

26. The Economist Intelligence Unit, "Evaluando el entorno para las asociaciones público-privadas en América Latina y el Caribe Infrascopes 2010", disponible en: <https://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=35434944>, fecha de consulta 10 de octubre de 2020.

27. The Economist Intelligence Unit Limited 2019, "INFRASCOPIO 2019. Evaluando el entorno para las Asociaciones Público-Privadas en América Latina y el Caribe", disponible en: https://infrascopes.eiu.com/wp-content/uploads/2019/04/EIU_2019-IDB-Infrascopes-Report_FINAL_ESP.pdf, fecha de consulta 30 de noviembre de 2020.

28. Proyectos México. Oportunidades de inversión, "Construcción, operación, mantenimiento, conservación y explotación del Libramiento Oriente de Chihuahua en el Estado de Chihuahua.", disponible en: https://www.proyectosmexico.gob.mx/proyecto_inversion/344-libramiento-oriente-de-chihuahua/, fecha de consulta 30 julio de 2020.

29. VISE, "¿Sabes qué es el coeficiente de fricción?", disponible en: <https://blog.vise.com.mx/sabes-que-C3%A9-es-el-coeficiente-de-fricci-C3%B3n>, fecha de consulta: 30 de mayo de 2021.

Tesis

1. Hernández Rangel, Marisol (2010). "Metodología para la medición del desempeño en los sistemas municipales de distribución de agua potable de México a través del Análisis Envolvente de Datos." Tesis para obtener el título de Maestría en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, UNAM. México.

2. López Bautista, Germán (2019). "Jerarquización de asignaciones de PEMEX exploración y producción en términos de eficiencia, aplicando la técnica de Análisis Envolvente de Datos (DEA)". Tesis para obtener el título de Maestría en Ingeniería en Exploración y Explotación de Recursos Naturales, UNAM. México.

3. Márquez Pérez, Aquilo (2012). "Uso de Análisis Envolvente de Datos para medir la eficiencia en la construcción de obras eléctricas en el Valle de México". Tesis para obtener el título de Maestría en Ciencias, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México.

4. Medina Vera, José Benjamín (2007). "Análisis de eficiencia a través de fronteras no paramétricas: DEA. Aplicación al mercado de las AFORES". Tesis para obtener el título de Matemático, Facultad de Ciencias, UNAM. México.

5. Montes Romero, Grissel (2015). "Análisis Envolvente de Datos para medir la eficiencia económica de las distribuidoras de gas natural en México". Tesis para obtener el título de Maestría en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, UNAM. México.

6. Sandoval Reyes, Leslie Vanessa. (2013) "PPS para mantenimiento de infraestructura carretera en el Estado de Guanajuato". Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, UNAM. México.

Revistas

1. Becerril-Torres, Osvaldo U., & Álvarez-Ayuso, Inmaculada C., & Nava-Rogel, Rosa María (2012). "Frontera tecnológica y eficiencia técnica de la educación superior en México. Revista Mexicana de Investigación Educativa, disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=140/14023127006>, fecha de consulta; 17 de febrero de 2021
2. UNAM Vol 7, No 14 (2015), "Benchmarking, una herramienta útil para mejorar las prácticas educativas a distancia." disponible en: <http://revistas.unam.mx/index.php/rmbd/article/view/65255/57185>, fecha de consulta: 10 de junio de 2021.