



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
División de Estudios de Posgrado**

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA JERARQUIZACIÓN  
DE INVERSIONES EN CORREDORES FERROVIARIOS.**

# **T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA  
(TRANSPORTE)**

**P R E S E N T A**

**PABLO CRUZ ARMENTA**

**DIRECTOR DE TESIS**

**Dr. Laurent Yves George Dartois Girard.**



**México D.F**

**Abril 2010.**

*Consagro este trabajo a las tres mujeres que llenan de armonía, fuerza y valor mi vida. Y que contribuyeron directamente para la realización de este logro.*

*A Maribel, mi entrañable compañera y a mis amadas hijas Daniela y Meztli,*

*Pero también a la memoria de hombre que me impulsó a vivir y por haber sido, un padre, mi maestro, mi galeno y mi guía por estos senderos de la humanidad. Al Dr. Héctor H. Chavarría Caro †.*

# **Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.**

Bibliografía

---

## ***Agradecimientos.***

Debo agradecer a todos quienes de una u otra forma contribuyeron a la materialización de este proyecto. En primer lugar al Dr. Laurent Dartois, por su valiosa colaboración y por la fe depositada en mi.

A Maribel, mi compañera, quien tuvo el valor y el coraje de apoyarme en estos tiempos tan difíciles.

A mi querido hermano David Salazar, quien además de apoyarme me brindó una amistad, profunda y genuina.

Al Ing. Francisco Javier Vázquez Patiño, quien generosamente me inició en el apasionante mundo ferroviario, por su valiosas opiniones vertidas a este trabajo y por su amistad de casi una década.

Al Ing Carlos López Díaz, por sus valiosos comentarios, y sus enseñanzas durante su estancia en México.

Nuevamente a la Universidad Nacional Autónoma de México, mi *alma mater* que me brindó nuevamente la oportunidad de crecer en el vasto campo del conocimiento humano.

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

---

## Contenido

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>1</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.</b>	<b>2</b>
<b>II. SITUACIÓN ACTUAL DEL TRANSPORTE FERROVIARIO EN MÉXICO</b>	<b>3</b>
<b>EFICIENCIA DEL SERVICIO FERROVIARIO .....</b>	<b>8</b>
<b>III. PROBLEMÁTICA DE LA EFICIENCIA.</b>	<b>10</b>
<b>PROBLEMÁTICA EN LAS OPERACIONES.....</b>	<b>10</b>
<b>PROBLEMÁTICA EN LA INFRAESTRUCTURA .....</b>	<b>11</b>
Capacidad de vías auxiliares y patios. ....	11
Cruces de ciudad. ....	12
Mantenimiento mayor y mejoras a la red de vías .....	13
<b>IMPACTO DE LA PROBLEMÁTICA Y SOLUCIÓN .....</b>	<b>14</b>
Tipos de proyecto.....	16
<b>IV. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>18</b>
<b>NATURALEZA DEL PROBLEMA DE DECISIÓN. ....</b>	<b>18</b>
<b>HERRAMIENTAS DISPONIBLES.....</b>	<b>20</b>
Análisis costo - beneficio .....	20
Análisis multidimensional de datos.....	20
Métodos de análisis multicriterio. ....	21
<b>SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....</b>	<b>28</b>
<b>ANTECEDENTES DE INVESTIGACIONES RELACIONADAS .....</b>	<b>29</b>
<b>V. PROPUESTA METODOLÓGICA.</b>	<b>31</b>
<b>DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS. ....</b>	<b>33</b>

Descripción de las alternativas de solución por tipos de proyecto.....	34
<b>DEFINICIÓN DE CRITERIOS. ....</b>	<b>35</b>
<b>MATRIZ DE DECISIÓN. ....</b>	<b>38</b>
Pesos específico para cada grupo de criterios .....	39
Construcción de la matriz de decisión para cada criterio. ....	40
<b>DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA.....</b>	<b>42</b>
Escala de calificación a proyectos. ....	42
Descripción del método de la suma ponderada. ....	45
<b>APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LA SUMA PONDERADA A LA METODOLOGÍA. ....</b>	<b>46</b>
Proceso de jerarquización .....	49
Diagrama conceptual de la metodología. ....	50
Clasificación de proyectos.....	51
Análisis de consistencia y compatibilidad de proyectos. ....	52
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	<b>53</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>54</b>

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Abstract

---

## Resumen

El transporte ferroviario en México, ha cambiado, desde 1995, cuando el Gobierno Federal, permitió la inversión privada en este sector. Las compañías concesionarias del ferrocarril, tienen que buscar nuevas formas de explotar la red ferroviaria, frente al incremento verde la demanda en este modo de transporte.

La jerarquización de inversiones en mejoras y ampliaciones de la infraestructura la industria ferroviaria, puede plantearse como un problema de análisis multicriterio, debido a que generalmente existen dos o más objetivos (internos o externos) en conflicto. Este proceso de jerarquización implica la evaluación de una conjunto de alternativas técnicamente posibles con respecto a los objetivos en conflicto.

Este documento es una propuesta que pretende ofrecer una herramienta metodológica para facilitar a las empresas ferroviarias en la toma de decisiones al invertir en la ampliación y mejoras de su infraestructura para aumentar la eficiencia operativa, utilizando herramientas de análisis multicriterio de jerarquización. Esta herramienta considera, los diversos puntos de vista de los actores clave en la dinámica actual de la industria ferroviaria en México.

## Abstract

*The rail transportation in México, was changed, since 1995, when de Federal Government, allowed, private investment in this sector. The rail companies, have look new ways for explode the rail network.*

*The prioritization of investments in improvements and extensions of the rail industry infrastructure may arise as a problem of multi-criteria analysis, because there are usually two or more goals (internal or external) conflict. This ranking process involves the evaluation of a set of technically feasible alternatives with respect to conflicting objectives.*

*This paper is a proposal that seeks to provide a methodological tool to facilitate railway undertakings in decision making when investing in enlargement and improvements of its infrastructure for increase the operative efficiency, using multicriteria analysis tools. This tool collects all the views of key actors in the current dynamics of the rail industry in Mexico.*



# **Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.**

Bibliografía

---

## **I. Introducción.**

En los últimos años, el país ha sufrido cambios drásticos y transformaciones políticas, económicas y sociales, prácticamente todas las áreas de la vida nacional se han visto inmersas en este proceso, sin faltar, por supuesto, el sector de las comunicaciones y transportes.

El sistema ferroviario mexicano, cuya red actual alcanza los 26.7mil kilómetros ha sufrido innumerables cambios desde los inicios formales de su operación en 1873, y ha sido objeto de múltiples concesiones, hasta que a partir de marzo de 1995 entra en vigor la reforma constitucional que permite la participación de capitales privados en los ferrocarriles en el esquema de concesiones.

Bajo este nuevo esquema, las empresas ferroviarias, se ven obligadas a buscar mayor eficiencia en la explotación de la red, lo que trae consigo la búsqueda de nuevas formas de operar los ferrocarriles.

Lo anterior implica hacer inversiones en proyectos de infraestructura de la red orientados a incrementar la eficiencia ferroviaria.

Si se asumen que todos los proyectos que puedan plantearse para resolver la problemática, son técnicamente factibles, queda pendiente por resolver qué proyectos de los paquetes de alternativas son más prioritarios, más importantes, y sobre todo que intenten satisfacer los objetivos de los actores clave implicados en la dinámica del transporte ferroviario.

# **Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.**

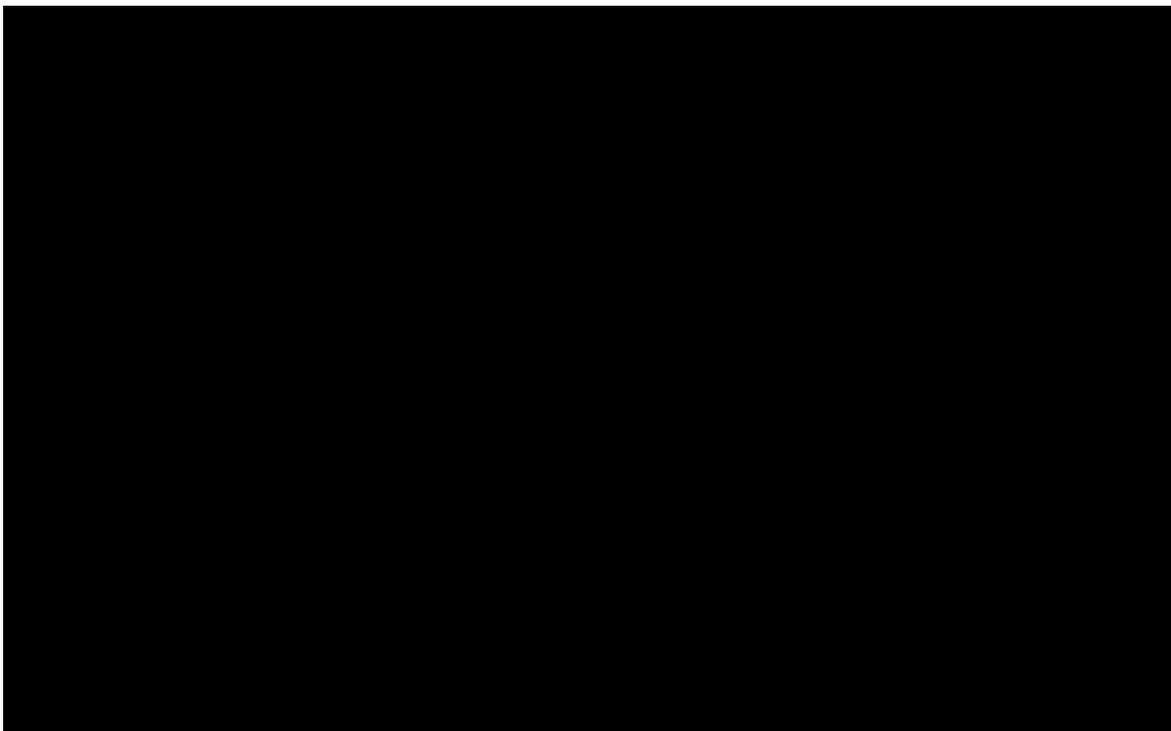
Situación actual del transporte ferroviario en México

---

## **II. Situación actual del Transporte ferroviario en México**

A partir de la reestructuración del sistema ferroviario en 1995, que permitió la participación de la inversión privada, se aceleró el desarrollo y modernización de la infraestructura y equipo ferroviarios. El sistema ferroviario nacional está compuesto por un total de 26,662 kilómetros de vías, de las cuales, el 77.6%, corresponden a vía principal, es decir troncales y ramales, 16.6 % a vía secundaria (laderos, patios, y demás vía complementaria) y 5.8 % a vías particulares (espuelas).

Cabe señalar que del total de vía principal, el 85.9 %, está concesionada o asignada a las empresas concesionarias y asignatarias que se muestran en el siguiente cuadro:



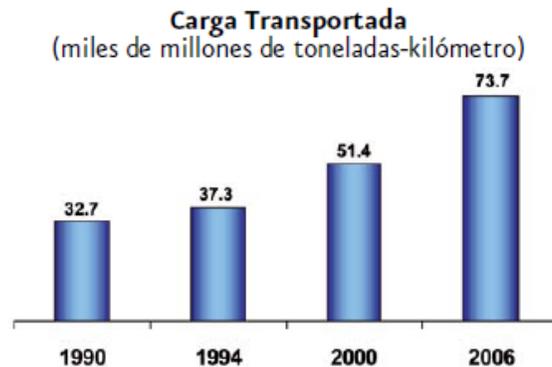
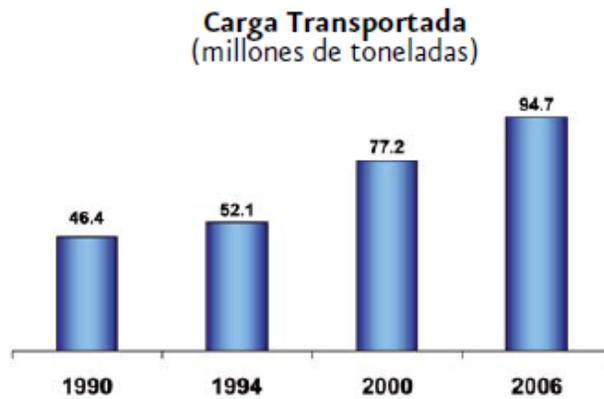
# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Situación actual del transporte ferroviario en México

---

Actualmente, la red ferroviaria es operada por cinco empresas concesionarias y dos empresas asignatarias. La flota total en el sistema está compuesta por 1,245 locomotoras y 33,443 equipos de arrastre (33,383 carros de carga y 60 coches de pasajeros).

El sistema ferroviario nacional ha mantenido un gran dinamismo en el transporte de mercancías, alcanzando ritmos de crecimiento altos y niveles de carga históricos, llegando a 73.7 miles de millones de toneladas-kilómetro en el año 2006.



# **Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.**

Situación actual del transporte ferroviario en México

---

Ello se reflejó en una mayor participación en el transporte terrestre, pasando del 19.6 % en 1996 a 26.1 % en el año 2006.

Sin embargo, aún se está por debajo de los estándares internacionales, toda vez que en América del Norte, el ferrocarril participa con alrededor del 35 % de la carga total transportada.

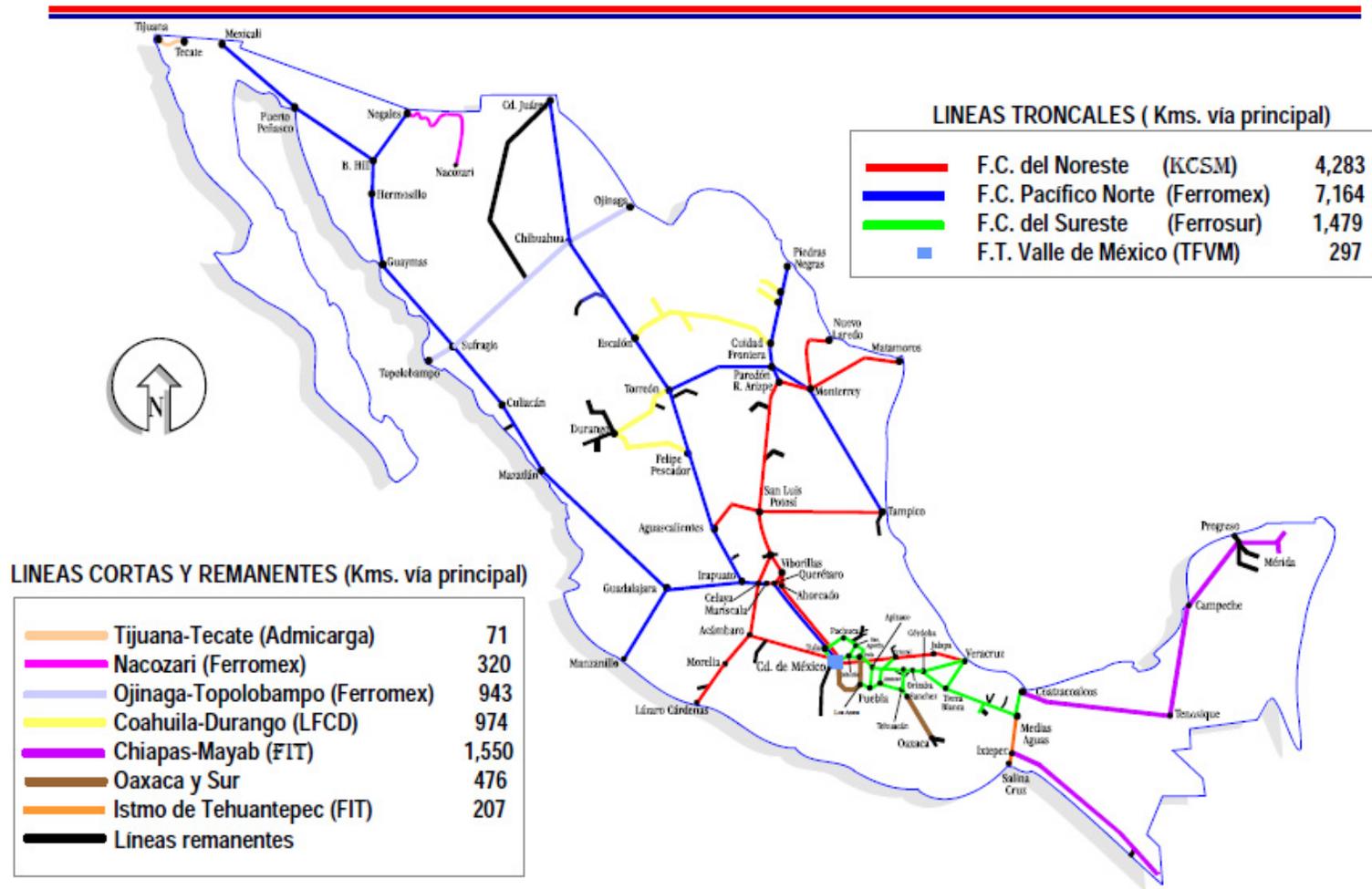
Con relación al transporte ferroviario de pasajeros, en los años referidos, continuó la tendencia decreciente al pasar de 5 millones en 1997 a sólo 260 mil pasajeros transportados en 2006. Dicha situación tuvo su origen en la propia reestructuración del sistema ferroviario nacional que se orientó a restituir la importancia del ferrocarril como eje central del sistema de transporte terrestre de carga, además del deterioro de los niveles de calidad, puntualidad y eficiencia del servicio, así como los elevados subsidios que se requerían para la prestación del servicio.

Ante esta situación, se han impulsado nuevos proyectos para revitalizar el servicio ferroviario de pasajeros en zonas suburbanas, como el Sistema 1 del Tren Suburbano de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), que es un sistema de transporte moderno, electrificado y confinado, que brinda como principal beneficio la reducción en el tiempo de recorrido por pasajero de Cuautitlán a Buenavista en viaje redondo (ahorro total de 2:40 horas), así como el abatimiento del tráfico y los congestionamientos vehiculares y de emisiones contaminantes, todo lo cual incide en el mejoramiento de la calidad de vida en la Zona Metropolitana del Valle de México.

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Situación actual del transporte ferroviario en México

## SISTEMA FERROVIARIO MEXICANO



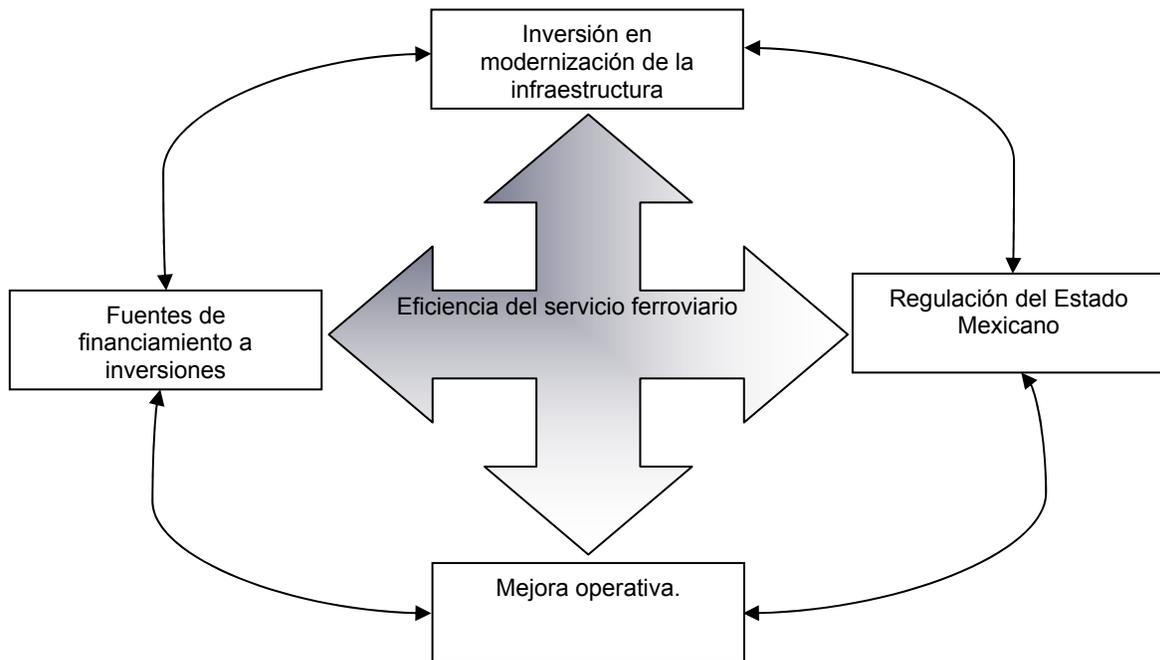
# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Situación actual del transporte ferroviario en México

La tendencia en la demanda del servicio ferroviario es a incrementarse, pues de cara a las crisis energética y económica, representa una alternativa de transporte ecológica y mucho más eficiente, en grandes volúmenes de carga a largas distancias, pues tiene 500 veces mayor capacidad de carga que el autotransporte.

Así mismo la configuración de la red actual, permite mejorar el desempeño de en las cadenas logísticas, permitiendo el desarrollo de plataformas logísticas intermodales, localizadas en puntos geográficamente estratégicos, así como el impulso al uso de puentes terrestres para carga de transbordo internacional, favoreciendo la competencia con otros corredores internacionales.

Bajo el esquema descrito y ante el incremento de la demanda del servicio, la industria ferroviaria nacional, para el transporte de mercancías, tiene de frente el reto de ganar más terreno en el transporte terrestre, esto implica mejorar la eficiencia del servicio ferroviario, básicamente en 4 direcciones estratégicas, vinculadas entre sí, como se ilustra en la figura y se describe a continuación:



# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Situación actual del transporte ferroviario en México

---

## ***Eficiencia del servicio ferroviario***

El incremento de la demanda en el servicio de transporte ferroviario, trae consigo el crecimiento de la flota de tracción y de arrastre, así mismo, se están incrementando las frecuencias de los trenes, la longitud de estos y el peso de la carga por unidad de arrastre.

Esto obliga a la búsqueda de nuevas maneras de hacer que la explotación de la red ferroviaria sea más eficiente, que permitan:

- Correr a mayor velocidad a lo largo de los corredores
- Incrementar el número de carros por tren.
- Transporte seguro de mercancías.
- Incrementar la capacidad de carga de la red de vías.
- Sustentabilidad, económica, ambiental y social.

Todo lo anterior, orientado a la reducción de tiempos de recorrido, que impactan directamente en:

- Satisfacción al cliente
- Optimización en el uso de la flota (disponibilidad de equipo)
- Optimizar costos operativos, (demoras, car hire, combustibles, tripulaciones, etc)
- Aportar mayor competitividad nacional e internacional al transporte ferroviario,

# **Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.**

Situación actual del transporte ferroviario en México

---

Ante este crecimiento de la demanda del servicio y sus nuevos esquemas de explotación, la capacidad operativa de la infraestructura actual ha quedado limitada y potencialmente será rebasada en los próximos años, tanto en la extensión de la red, como en la capacidad de carga de la misma y la capacidad operativa de las vías auxiliares (patios y laderos). Esto impacta directamente, la velocidad en la red y por tanto los tiempos de recorrido en los corredores del sistema nacional.

A continuación se hace una descripción detallada de la problemática generada a partir de la pérdida de capacidad en la infraestructura actual.

# **Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.**

Problemática de la eficiencia

---

## **III. Problemática de la eficiencia.**

Para describir mejor las todas las causas que inciden en la pérdida de eficiencia operativa en los corredores ferroviarios se han separado en dos grupos que se describen a continuación

### ***Problemática en las operaciones.***

En este apartado se consideran los problemas que no están directamente relacionados con la infraestructura, es importante señalar que este trabajo está orientado hacia resolver los problemas con esta, por lo tanto, el nivel de profundidad para el tratamiento de los temas que afectan la operación es somero.

Existen diversos problemas asociados a las tripulaciones, en primer lugar la disponibilidad de estas, pues la cantidad de personal capacitado es limitada y escasa, esto genera huecos en la disponibilidad y por tanto demoras de trenes.

Así mismo en algunos casos el personal de las tripulaciones adolece de algunas habilidades en la operación de los trenes, esto provoca desde demoras por malos manejos de tren, hasta accidentes ferroviarios con impactos negativos en la operación y por tanto en la eficiencia.

Por lo que respecta a los equipos, la problemática está asociada a problemas mecánicos tanto en los equipos de tracción y todos sus sistemas como en los equipos de arrastre, que al presentar averías tienen que, o salir del servicio para no generar problemas y accidentes en línea, o ser rescatados si sufren las averías en camino. Esto genera demoras y pérdida de disponibilidad de los mismos

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Problemática de la eficiencia

---

## ***Problemática en la infraestructura***

### **Capacidad de vías auxiliares y patios.**

Ante el crecimiento de la demanda del servicio de transporte ferroviario, ha surgido la necesidad de incrementar el número de carros por tren y por tanto la longitud de estos, sin embargo la capacidad instalada de las vías auxiliares y patios, en muchos casos no es suficiente, de donde se detectan los problemas que a continuación se describen:

- ***Longitud de laderos insuficiente:*** muchos carros tiene que esperar en patios pues por necesidades operativas, asociadas al libramiento de trenes que se encuentran líneas de vía sencilla, la longitud de los trenes queda limitada a la capacidad de los laderos y vías auxiliares a lo largo de los corredores.
- ***Saturación de patios y vías auxiliares:*** todos los carros que tiene que esperar, ocupan espacio en los patios o en las vías auxiliares, lo que genera saturación local, que a su vez, inicia un ciclo de demoras de todos los trenes que tienen que esperar para ocupar ese espacio en la infraestructura. Esto trae consigo un efecto de demora en toda la línea del corredor en estudio.
- Es muy común que los patios estén localizados dentro de las zonas urbanas, esto limita el crecimiento, incrementa la contaminación local por ruido, vibraciones y emisiones y favorece el vandalismo a trenes.

Para este problema, la empresa ferroviaria ya no es la única afectada, comienzan a intervenir asuntos relacionados con problemas ambientales, de seguridad pública y protección civil, por lo tanto, aparece la intervención de los gobiernos federales, estatales y municipales.

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Problemática de la eficiencia

---

## Cruces de ciudad.

El desaforado crecimiento de las zonas urbanas en México en las últimas décadas, ha provocado que las instalaciones ferroviarias, queden integradas a las manchas urbanas. En estos casos, para reducir el riesgo asociado a la convivencia ferroviaria en la zona y la dinámica urbana, el gobierno mexicano obliga a las empresas ferroviarias a reducir la velocidad a 20kph al cruce por zonas urbanas y a hacerlo en horarios restringidos, esto trae consigo la problemática que se describe a continuación:

1. Incremento de los tiempos de recorrido.
2. Mayor riesgo de accidentes en los cruces a nivel
3. Incremento de la contaminación por ruido en la zonas urbanas
4. Incremento de las emisiones contaminantes a la atmosfera, por el equipo tractivo y por los automóviles detenidos en los cruces a nivel cuando un tren está en movimiento.
5. Congestionamientos viales en las ciudades.
6. Incremento de la incidencia de vandalismo a trenes

Para los municipios se generan problemas como; congestión de vialidades, tiempos perdidos de usuarios, incremento de la emisión de contaminantes, accidentes y decesos en los cruces ferroviarios a nivel y caos vial.

# **Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.**

Problemática de la eficiencia

---

## **Mantenimiento mayor y mejoras a la red de vías**

El Mantenimiento de la infraestructura ferroviaria permite conservarla en buen estado físico, lo que se traduce en términos operativos a; seguridad a la carga y equipos, minimización y eliminación de demoras por restricciones de velocidad provocadas por escollos en la infraestructura, aumento de la velocidad de operación y reducción de tiempos de recorrido. Consecuentemente se obtienen ahorros económicos, y se evitan gastos mayores en reparaciones y rehabilitaciones innecesarias.

Algunos problemas de mantenimiento crean demoras que están asociadas a restricciones de velocidad generadas por, problemas sistemáticos en la red de vías; que permanecen por largos periodos de tiempo, mismos que requieren de mantenimiento mayor y/o rehabilitación, que obligan a reducir la velocidad de los trenes.

Así mismo, en algunas líneas, es conveniente incrementar la capacidad de carga de las vías para hacer más seguro el tráfico, correr a mayor velocidad y con trenes más largos y más pesados. Aprovechando así la característica principal del transporte ferroviario, de ser capaz de transportar grandes volúmenes de carga en largas distancias.

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Problemática de la eficiencia

---

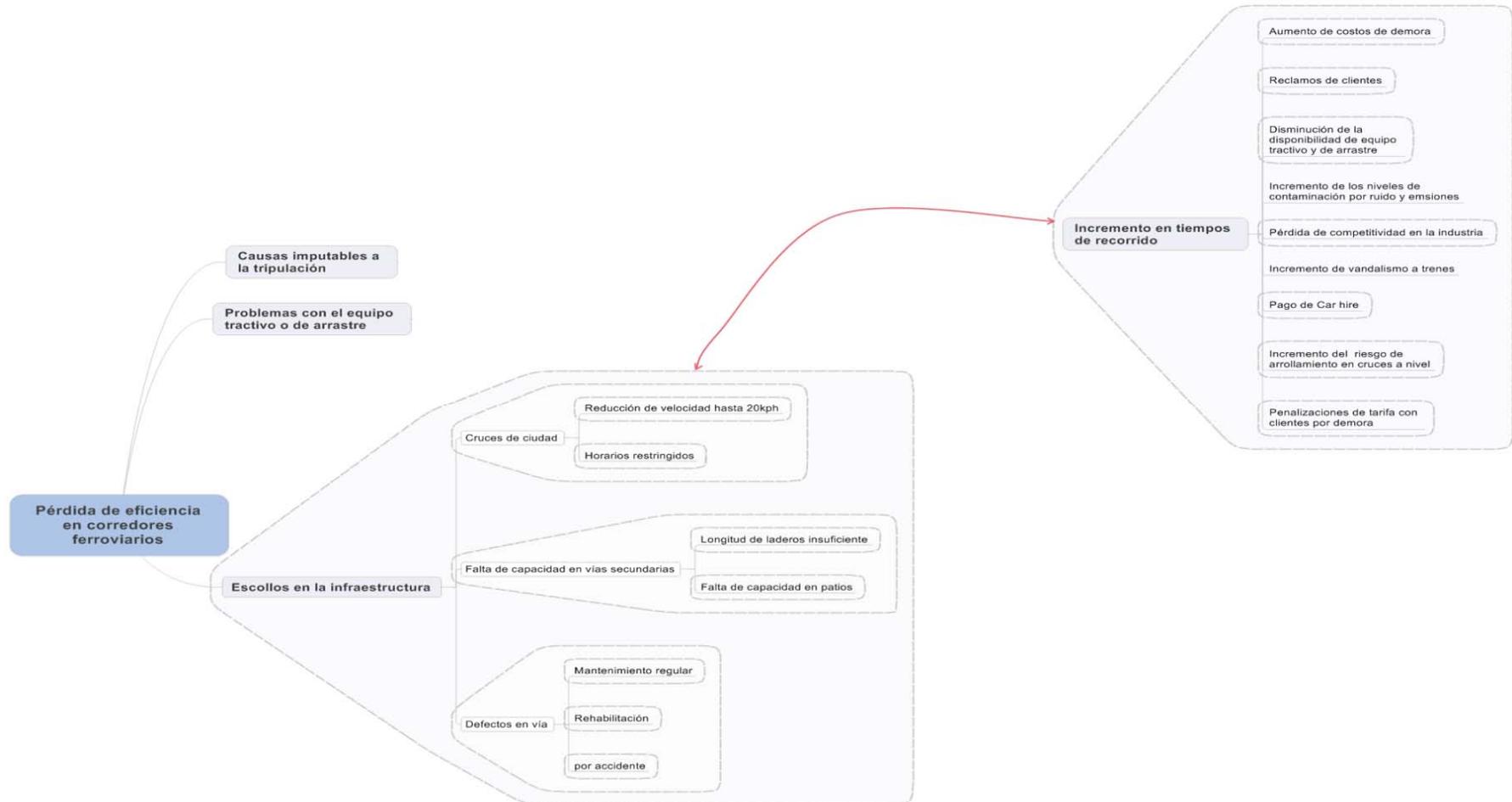
## ***Impacto de la problemática y solución***

Como consecuencia de la problemática descrita anteriormente se tiene una pérdida importante de velocidad en los corredores ferroviarios y se socava la eficiencia del servicio en:

- Incremento en los tiempos de recorrido.
- Aumento en los costos de demora para la empresa ferroviaria
- Reclamos de clientes y/o penalizaciones económicas en los contratos de transporte.
- Disminución de la disponibilidad de equipo de arrastre y tractivo
- Pago de *car - hire*
- Incremento de los niveles de contaminación por ruido y emisiones a la atmósfera.
- Pérdida de competitividad en la industria
- Aumento de vandalismo a trenes
- Incremento del riesgo e incidencia de arrollamientos en cruces a nivel

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Problemática de la eficiencia



# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Problemática de la eficiencia

---

Para mitigar la pérdida de eficiencia y evitar que esta se vuelva crónica se requiere hacer inversiones en ampliación y modernización de la infraestructura ferroviaria.

Para dar solución a la problemática se plantean diversas alternativas de solución, las cuales se han agrupado en cuatro categorías por tipos de proyecto, enfocados a dar solución a los problemas mencionados

## Tipos de proyecto

1. **Capacidad de las infraestructuras de destino final:** en este tipo de proyectos están orientados a mitigar el efecto de la falta de capacidad en las vías secundarias, técnicamente contempla las soluciones de: ampliación de laderos existentes y construcción de nuevos laderos.
2. **Resolución de conflictos en cruces urbanos:** En esta categoría, el objetivo principal es incrementar la velocidad de cruce por las zonas urbanas, que puede resolverse con proyectos de: construcción de libramientos ferroviarios y construcción de obras de infraestructura vial.
3. **Mejoras operativas para el traslado de mercancías:** Para agilizar las operaciones, el tiempo de estancia de carros y trenes en patios y por tanto incrementar la velocidad de los corredores, se consideran soluciones de: ampliación de patios (en casos donde sea posible) y construcción de patios nuevos.
4. **Rehabilitación de infraestructuras.** Son proyectos de rehabilitación de la red ferroviaria cuya necesidad surge, una vez que se han detectado demoras sistemáticas por problemas asociados al estado físico de la red ferroviaria existente

# **Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.**

Problemática de la eficiencia

---

Una vez planteadas, las alternativas de solución, surge otro problema; que consiste en jerarquizar cuáles y qué tipos de proyecto son más prioritarios.

Para jerarquizar estos es necesario definir los enfoques que se van a considerar dependiendo el tipo de problemática a atacar, los beneficios sociales, ambientales económicos y financieros esperados y los impactos desfavorables de cada uno.

Aquí surgen las preguntas de: ¿Quién o quiénes deben hacer estas inversiones? ¿A quién benefician? ¿De qué manera impactan en la eficiencia? ¿Cuáles son más prioritarias? Las inversiones mencionadas requieren ser analizadas y jerarquizadas a través de una herramienta metodológica que incluya las perspectivas de todos enfoques posibles, y que permita establecer políticas y canales de negociación entre concesionarios, gobierno, usuarios , e inversionistas, que es el objetivo principal de este trabajo.

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Bibliografía

---

## IV. Estado del Arte

Se ha visto hasta ahora, que dentro del contexto de la problemática de la pérdida de eficiencia por infraestructura en el transporte ferroviario, existen varias necesidades a cubrir, razón por la que el *decisor* se encuentra en disposición de escoger entre varias soluciones; descritas en el apartado de tipos de proyecto. Para escoger en este *conjunto de elección*, el decisor tiene diversos puntos de vista, denominados *criterios*. *Estos criterios, son al menos parcialmente contradictorios* en el sentido de que si el decisor adopta uno de dichos puntos de vista, no escogerá la misma alternativa que si se basa en otro criterio. Por tanto, nos encontramos frente a un problema de decisión.

### ***Naturaleza del problema de decisión.***

Un problema de decisión es aquel en el que se considera un conjunto de acciones potenciales (soluciones posibles, decisiones factibles) entre las cuales el decisor debe:

- Escoger una única acción considerada como la mejor
- Seleccionar un conjunto de acciones conceptuadas como *buenas* u
- Ordenar (jerarquizar) las acciones “desde la mejor a la peor”

El conjunto de acciones puede ser definido de manera enumerativa por medio de una lista o restricciones matemáticas; puede ser finito o infinito, fijo o evolutivo.

Antes del advenimiento del análisis multicriterio, los problemas de decisión tomaban usualmente la forma de una optimación, de una función objetivo o de una función de utilidad. Este enfoque tiene la ventaja de basarse en problemas matemáticos bien definidos, aunque no siempre representativos de la realidad; de hecho, la comparación entre varias decisiones posibles es escasamente realizada conforme a un

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Estado del Arte.

---

único punto de vista, y por otro lado las preferencias bajo cierta consideración son modeladas con dificultad con una función.

En casos reales se aplica un conjunto de criterios (o un criterio con múltiples componentes), con diferente significación entre ellos conocida o no, con métricas frecuentemente no comparables, y la evaluación puede resultar de un conjunto de evaluadores, distintos para cada criterio, que asesoran al decisor final.

## *Etapas metodológicas para la solución de un problema de decisión*

Se distinguen cuatro etapas fundamentales

1. La definición de acciones que deben ser tomadas en consideración y la formulación del problema (escoger una acción, seleccionar un subconjunto de ellas, y ordenar las acciones.
2. La determinación de la opinión que debe examinarse y el modelado de las preferencias del decisor.
3. La síntesis de la información existente en un modelo global que implique una agregación de las preferencias de los diversos modos de ver
4. La aplicación de algún procedimiento matemático con el propósito de resolver el problema de decisión.

Nótese que estas cuatro etapas no son necesariamente consecutivas. Tanto correcciones como vueltas atrás no son solo posibles sino frecuentemente necesarias

Finalmente debe recordarse que toda modelación para apoyo en la toma de decisiones deberá ayudar a comprender las diferentes alternativas, facilitar la reflexión sobre las preferencias existentes y contribuir a un desarrollo más completo de la formación de predilecciones descubriendo posibilidades no consideradas.

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Estado del Arte.

---

## ***Herramientas disponibles***

Existen numerosos métodos de análisis de decisiones, cada uno con sus ventajas e inconvenientes, a continuación se ofrece un panorama encaminado a seleccionar el mejor enfoque para el desarrollo de la propuesta metodológica.

## **Análisis costo - beneficio**

El análisis costo-beneficio es una técnica importante dentro del ámbito de la teoría de la decisión. Pretende determinar la conveniencia de un proyecto mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de todos los costos y beneficios derivados directa e indirectamente de dicho proyecto. Este método se aplica a obras sociales, proyectos colectivos o individuales, empresas privadas, planes de negocios, etc., prestando atención a la importancia y cuantificación de sus consecuencias sociales y/o económicas

## **Análisis multidimensional de datos**

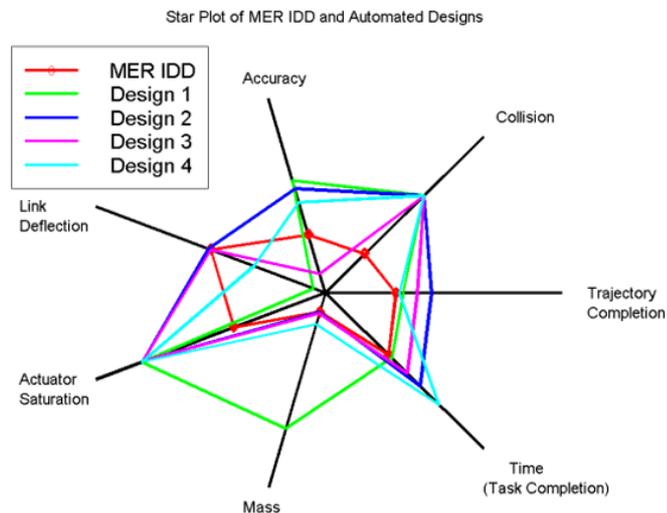
### ***Método de Kiviat***

El Método de KIVIAT, consiste en una representación gráfica radial basándose en las  $n$  dimensiones que pueden definir la prioridad de un proyecto, estas dimensiones representan los criterios de medición, a los cuales, previamente se les han asignado pesos normalizados según los criterios de medición. Se crea una superficie limitada por un poliedro llamada *estrella de Kiviat*, cuyos vértices son los valores de peso correspondientes.

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Estado del Arte.

En este método el proyecto que ocupa la superficie mayor en la estrella de Kiviat es el más importante según los criterios establecidos.



Es posible aplicar esta técnica para analizar la problemática de la eficiencia en la infraestructura ferroviaria en todas las dimensiones posibles, sin embargo al ser una técnica gráfica, cuando se tiene una gran cantidad de criterios como es el caso tratado, se vuelve ilegible, pues hay que agregar una gran cantidad de ejes así como de proyectos.

## Métodos de análisis multicriterio.

El análisis multicriterio (AMC) es un tipo de herramienta de decisión que es particularmente aplicable a casos donde el enfoque uni-criterio (como el análisis costo-beneficio) no evalúa todos los costos y beneficios, especialmente cuando no es posible asignar un valor monetario a ciertos tipos de impactos ambientales, estratégicos, técnicos, sociales, etc.

Cuando existen beneficios o costos que no han sido monetizados, los indicadores de rentabilidad económica tales como el VPN, la TIR, B/C, pueden no ser un buen indicador y no deberían usarse de manera unilateral para la toma de decisiones.

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Estado del Arte.

---

La *Teoría de decisiones multicriterio* considera todos los criterios descritos y facilita la jerarquización de los proyectos que existan en el conjunto de elección determinado para cada caso. Las ventajas de la modelización multicriterio deben ser valoradas en relación con la modelización clásica, en la que el objetivo consiste en llegar a un *problema de maximización con restricciones en el que la solución óptima representa la mejor elección*. En este caso ocurre, que *ciertos aspectos de las decisiones son muy difíciles de evaluar en términos de costos*.

El análisis multicriterio tiene a su favor el realismo y la legibilidad, lo que son activos importantes en la organización en un momento en el que la complejidad de las decisiones es reconocida por la mayor parte de los actores, aún cuando no todos ellos muestren la misma sensibilidad ante los diferentes criterios. Sabemos ya que toda decisión incluso individual, es un compromiso entre diversas aspiraciones imposibles de satisfacer en toda su plenitud<sup>1</sup>. El análisis multicriterio intenta modelizar el problema sin ocultar ningún aspecto de este, lo que abre la posibilidad de poder utilizarlo como instrumento de búsqueda del consenso y servir de base para la formulación e implantación de políticas públicas y privadas asociadas a las inversiones en infraestructura ferroviaria.

Debido a la naturaleza de la problemática ya descrita y en virtud de que el número de alternativas es finito, la aplicación de la teoría de decisiones multicriterio se acota a la decisión multicriterio discreta.

---

<sup>1</sup> BARBA R Sergio. *Decisiones Multicriterio* Fundamentos y aplicaciones.

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Estado del Arte.

---

## *Enfoques metodológicos básicos*

El análisis multicriterio se ha desarrollado en varias direcciones, y son significativas: la teoría de utilidades multiatributo (Keeney, R L, Raiffa, H, 1976) y las relaciones binarias de sobreclasificación (Roy, B, 1985)

### Teoría de utilidades multiatributo.

Se basa en la hipótesis de que en cualquier problema de decisión existe una función real  $U$  definida sobre el conjunto de acciones potenciales  $A$  la cual el decisor desea (conscientemente o no) maximizar. La función  $U$  agrega en uno solo los criterios  $g_1, g_2, \dots, g_n$  con los que se evalúan las acciones. El problema reside en determinar  $U$ .

En el marco de esta teoría se ha trabajado en tres problemas

- Cuáles deben ser las propiedades de las preferencias del decisor para que  $U$  sea una determinada función de  $g_1, g_2, \dots, g_n$  (por ejemplo  $U = \sum g_i$ )
- Cómo probar e identificar esas propiedades
- Cómo construir la función  $U$

La idea fundamental sobre la que reposan los trabajos es la de independencia de preferencias. Sea  $F = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$  y  $K \subset F$ :  $K$  es preferencialmente independiente en  $F$  si las preferencias entre acciones que difieren solo en los criterios en  $K$  no dependen de sus valores en los criterios en  $F \setminus K$ .  $K$  es preferencialmente independiente en  $F$  si la preferencia del decisor para  $a$  en relación con  $c$  implica lo mismo en  $b$  en relación con  $d$ .

El teorema básico señala que si existen  $n$  funciones reales  $U_1, U_2, \dots, U_n$  tales que  $U = U_1(g_1) + U_2(g_2) + \dots + U_n(g_n)$  entonces para todo  $K \subset F$ ,  $K$  es preferencialmente independiente en  $F$ . El teorema inverso es válido siempre que se cumplan varias

## Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Estado del Arte.

condiciones adicionales. Un teorema derivado señala que si  $K_1$  y  $K_2$  son preferencialmente independientes en  $F$  y si  $K_1 \cap K_2 \neq \emptyset$  entonces  $K_1 \cup K_2$  y  $K_1 \cap K_2$  son preferencialmente independientes en  $F$ .

Otro concepto fundamental en la teoría de utilidades multiatributo es el de la tasa de sustitución (trade off). Desde que existe una función  $w_{ij}$  que mide el monto que el decisor concede sobre el criterio  $j$  para obtener una unidad en el criterio  $i$  (cantidad que puede variar según el punto considerado en el espacio de criterios);  $w_{ij}$  es la tasa de sustitución entre los criterios  $i$  y  $j$ . En la práctica es frecuente encontrar serias dificultades en medir los  $w_{ij}$  especialmente si no existe una métrica común a todos los criterios. Si las funciones son lo suficientemente regulares,  $w_{ij} = (\partial U / \partial g_j) / (\partial U / \partial g_i)$ . Para determinar  $w_{ij}$  puede establecerse un sistema de consultas entre los técnicos y el decisor. Un teorema demuestra que  $K$  es preferencialmente independiente en  $F$  si y solo si  $\partial w_{ij} / \partial g_k = 0$ , para todo  $i, j \in k$ , para todo  $k \in F \setminus K$ .

Las hipótesis sobre las que se basa la teoría de utilidades multiatributo frecuentemente no se verifican en casos reales; no siempre las métricas de las escalas pueden ser compatibles y regulares, la condición de independencia preferencial no siempre se satisface, y la determinación de las tasas de sustitución no es sencilla.

### Relaciones binarias de sobre clasificación

Se basa en construir una relación binaria a partir de la comparación de acciones potenciales por pares conforme a alguna definición de relación binaria, y a la explotación de esta relación para construir un ordenamiento; las métricas de cada criterio se respetan, pudiendo no ser comparables entre sí.

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Estado del Arte.

---

## *Modelación de preferencias mediante relaciones binarias*

Dado un conjunto de acciones potenciales  $A = (a_i/i = 1, 2, \dots, n)$ , las preferencias pueden modelarse con una o varias relaciones binarias definidas sobre  $A \times A$ .

a) Modelación con una relación binaria (un esquema “robusto”)

- Si se define  $aRb$  como “*a es al menos tan buena como b*” tres situaciones fundamentales pueden ser modeladas:

1. Preferencia:  $aPb \Leftrightarrow (aRb, \text{no } bRa)$ , es decir que *a se prefiere a b*

2. Indiferencia:  $aIb \Leftrightarrow (aRb, bRa)$ , es decir que *a y b son indiferentes*

3. Incomparabilidad:  $aHb$  (*no aRb, no bRa*), es decir que, *a y b no son comparables*

A veces se utiliza una notación simplificada

$\geq$  en lugar de  $R$

$>$  en lugar de  $P$

$\sim$  en lugar de  $I$

## *Modelación con varias relaciones binarias (hacia un esquema borroso)*

(1) Si se definen dos relaciones de preferencia, una **P** estricta y una **Q** débil, se modelan cuatro situaciones *Preferencia estricta o fuerte (P)*, *preferencia débil (Q)*, *indiferencia (I)*, de *incomparabilidad (H)*.

(2) Con el propósito de introducir ambigüedades en las preferencias del decisor pueden reagruparse situaciones creando la siguiente tipología:

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Estado del Arte.

---

- *No preferencia:*  $aIb$  o  $aHb$  sin distinción posible
- *Preferencia:*  $aPb$  o  $aQb$  sin distinción posible.
- *Presunción de preferencia:*  $aQb$  o  $aIb$  sin distinción posible
- *K-Preferencia:*  $aPb$  o  $aHb$  sin distinción posible
- *Sobreclasificación:*  $aPb$  o  $aQb$  o  $aIb$  sin distinción posible (se acostumbra denotarla  $aSb$ )

*Características del empleo de relaciones binarias de sobreclasificación en problemas de evaluación multicriterio.*

Fichefet (1985) las resume así:

- Los aspectos cualitativos de un problema de decisión son fácilmente manejados
- Dos acciones potenciales pueden ser comparables en el sentido de que no domina ni la preferencia estricta ni la indiferencia, nótese que en esta situación es bastante frecuente en el curso de un proceso de toma de decisiones donde la información disponible no permite una suficiente discriminación, en el caso de que el decisor está compelido a remover las incomparabilidades, se ve forzado a ver hacia atrás sobre las relaciones acción – consecuencia; por otro lado, las situaciones de no comparabilidad no son consideradas en la teoría clásica de toma de decisiones.
- En la medida en que las situaciones de no comparabilidad son tomadas en cuenta, la no transitividad es permitida; lo cual corresponde más a las situaciones prácticas.

## Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Estado del Arte.

- El axioma de estabilidad generalmente no es satisfecho (este axioma, clásico en la teoría de decisiones, establece que si  $S_A$  y  $S_{A'}$  son relaciones de sobreclasificación en  $A$  y  $A'$ , con  $A \subset A'$ , entonces  $aS_A b \Leftrightarrow aS_{A'} b$ ; la práctica muestra que este axioma no siempre es realista)

### *Métodos de ponderación*

En este método, se deben especificar claramente los objetivos deseables e identificar los criterios o indicadores adecuados.

Es bastante común en la decisión multicriterio que unos criterios tengan para el decisor más relevancia que otros. Por circunstancias muy diversas, el decisor puede considerar más o menos importante a un criterio que a los restantes. Se denominan pesos (o ponderaciones) a estas medidas de la importancia relativa que los criterios tienen para el decisor.

La medición de los indicadores no necesita estar en términos monetarios pero sí debe estar basada en un análisis cuantitativo por medio de **ponderación y priorización** para un amplio abanico de criterios.

### *Métodos de relaciones de superación*

Las relaciones de superación usan como mecanismo básico el de las relaciones binarias de alternativas, es decir comparaciones de dos en dos de las alternativas, y de dos en dos de los criterios. De esta forma puede construirse un coeficiente de concordancia asociado con cada par de alternativas.

Existen dos métodos de la escuela francesa: ELECTRE y PROMETHEE. Del método ELECTRE (Elimination et Choix Traduisant la Réalité) se encuentran disponibles varias versiones que usan pseudocriterios y la teoría de conjuntos difusos y está muy enfocado a problemas de selección, clasificación y ordenación. El método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) se ha aplicado, con predicción para problemas de ubicación.

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Estado del Arte.

## Selección de la metodología

En la tabla siguiente se muestra una comparativa de ventajas y desventajas de cada una de las herramientas descritas,

Método	Tipos de problemas de decisión	Ventajas	Desventajas
Kiviat	Selección	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un método gráfico de fácil interpretación.</li> <li>• Permite una asignación de pesos relativos a los criterios objetiva y sencilla.</li> <li>• Permite comparar los proyectos en todos los criterios seleccionados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El número de criterios que permite visualizar es muy limitado</li> <li>• Se vuelve ilegible cuando se el número de criterios que se agregan crece.</li> </ul>
Análisis costo –beneficio	Factibilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evalúa con indicadores, la factibilidad económica y financiera de los proyectos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al tener un enfoque unicriterio, no alcanza a evaluar integralmente todos los costos y beneficios (especialmente cuando no es posible asignar un valor monetario a ciertos tipos de impactos que no considera)</li> </ul>
AMC superación	Selección, clasificación y ordenación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparación de dos alternativas respecto a todos los criterios mediante el uso de relaciones binarias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Método, simultáneamente práctico y ambiguo,</li> </ul>
AMC ponderación	Jerarquización	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se apoya en teoría de utilidades multiatributo.</li> <li>• Intuitivo y simple de aplicar versa sobre la base de si las ventajas de un determinado atributo o criterio pueden ser intercambiadas por las desventajas de otro atributo, o si este intercambio no es posible.</li> <li>• Enfoque estratégico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es muy sensible a la aplicación de los pesos en los criterios.</li> <li>• Requiere algunas iteraciones para ajustar los pesos de los criterios.</li> </ul>

# **Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.**

Estado del Arte.

---

Después de repasar las herramientas disponibles, se concluye que la herramienta de análisis multicriterio por métodos de ponderación es la que mejor modela el problema descrito en los capítulos anteriores, pues pueden hacerse ponderaciones múltiples que permiten jerarquizar los proyectos, además es de utilidad para elaborar programas en los cuales todos los proyectos no pueden “medirse con la misma vara” pero son complementarios para implantar cualquier programa de conjunto y dar una perspectiva de planeación estratégica.

## ***Antecedentes de investigaciones relacionadas***

Como antecedente Nacional, en 1996, José Elías Jiménez Sánchez y Alberto Díaz Mendoza del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) elaboran la publicación técnica 82 “*Evaluación económica de mejoras a la infraestructura del sistema nacional ferroviario*”. Este trabajo busca generar recomendaciones que contribuyan a que el Sistema Ferroviario Nacional se convierta en un modo de transporte más eficiente y competitivo, que afronte convenientemente las necesidades de la demanda. Los análisis realizados se basan fundamentalmente en las características físicas de la red ferroviaria existente (geometría, capacidad de los arcos, etc) obtenidas a partir de planos e inventarios de FNM-SCT y en información contenida en el "Informe de Tráfico de Flete Comercial por Artículos Clasificados por Estaciones Remitentes y Receptoras (E-2)" de FNM para 1993. A partir del segundo tipo de información, se generan matrices de origen y destino (O-D) para este modo, en términos del tonelaje y del valor económico de la carga. Estas, y en general toda la información de la demanda ferroviaria, se analizan detalladamente. Las dos informaciones anteriores permiten realizar una simulación de los flujos a través de los distintos componentes de la red (proceso de asignación de flujos) y evaluar el impacto de una serie de mejoras a la misma. Estas evaluaciones se realizan ante dos diferentes escenarios de demanda, la demanda actual (contenida en las matrices origen-destino antes mencionadas) y una demanda incrementada que toma en cuenta un mejor reparto modal. Las alternativas de mejoramiento del sistema ferroviario se evalúan mediante criterios de carácter económico (de tipo beneficio/costo). Los análisis anteriores también

## **Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.**

Estado del Arte.

---

permiten determinar el nivel de mejoramiento que deberá experimentar el sistema ferroviario para alcanzar un nivel adecuado de competitividad en relación con el autotransporte. Esta investigación tiene como objetivo principal identificar algunas de las medidas que más pudieran incidir en el mejoramiento operativo e infraestructural del sistema ferroviario nacional. Tiene también por objeto servir como marco de referencia para planear y jerarquizar las mejoras del sistema. Lo anterior, respaldado con criterios de evaluación de la factibilidad económica de una serie de acciones que se analizan

En el ámbito internacional existe un estudio realizado en 1985, en el Institute of Transportation Studies, University of California, U.S.A. por Genevieve Giuliano, donde se plantea un método multicriterio de planeación de inversiones en infraestructura del transporte.

La planificación de las inversiones en transporte puede ser descrito como un problema de decisión multicriterio, porque la planificación de los proyectos suelen tener dos o más objetivos. La planificación del transporte que implica el proceso de la evaluación de un conjunto de alternativas con respecto a estos objetivos. Este documento sostiene que, puesto que en estas circunstancias no existen soluciones óptimas, el resultado del proceso de evaluación debe ser la identificación de un pequeño conjunto de alternativas, el denominado *mejor paquete de alternativas*, que son más cercanas a la obtención de los objetivos establecidos. En concordancia al análisis, un método de evaluación multicriterio discreta, se utiliza para identificar las mejores alternativas, definidas como aquellas alternativas que son dominados a través de una gama de pesos objetivo. Una aplicación empírica del método se realiza utilizando los datos para el estudio del corredor de transporte de un condado de Orange, California. Los resultados empíricos muestran que el método identifica un pequeño conjunto que presenta las mejores alternativas de inversión.

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Propuesta metodológica.

---

## V. Propuesta metodológica.

Una vez que se ha seleccionado el método de Análisis multicriterio por ponderación, se procede a hacer el desarrollo de la propuesta metodológica, para lo cual, es menester desarrollar un modelo, para el cual, el fundamento metodológico de soporte, irá acompañando a cada proceso de definición técnica de la metodología.

La decisión multicriterio discreta DMD supone la existencia de un decisor. Este decisor es evidentemente un elemento del modelo, y por tanto una abstracción. El término corresponde en la práctica a una única persona enfrentada a una decisión, o a un grupo de individuos.

No se discutirá aquí la validez del modelo respecto a esta cuestión. Dicho de otra manera, supondremos siempre la existencia de un decisor aún cuando este no represente más que una abstracción idealizada de situaciones reales o el decisor sea difícil de identificar.

Para identificar a los posibles decisores que pueden estar involucrados en el modelo desarrollado para esta metodología, se describen los actores clave en el contexto actual, del transporte ferroviario.

Los actores clave son:

- **Las empresas ferroviarias.** Son las empresas concesionarias que explotan directamente la red ferroviaria. Responsables de mantener la infraestructura en buen estado y emprender acciones y obras que incrementen la capacidad operativa y longitud de la red. Las concesiones otorgadas son de largo plazo, y prorrogables, motivo por el cual son los principales interesados en emprender mejoras en la red ferroviaria y por tanto los principales actores, para invertir con recursos propios o financiados en la infraestructura concesionada, pues son los

## Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Propuesta metodológica.

---

principales beneficiados, además de, influir con o en el resto de los actores clave para buscar políticas o acciones conjuntas mejoren la eficiencia de los sistemas. Cabe destacar, que la metodología aquí propuesta tiene como enfoque principal el de la empresa concesionaria, sin dejar al margen los otros actores.

- **Usuarios.** Son las empresas que utilizan en transporte ferroviario, pueden ser industriales que usan el ferrocarril como medio de transporte para mover sus productos terminados y sus materias primas, u operadores y prestadores de servicios logísticos. Por tanto, generan la demanda de transporte ferroviario, en base a sus volúmenes de producción y también a la confianza que va ganando el transporte ferroviario sobre el transporte carretero.
- **Gobierno Federal;** La Secretaría de Comunicaciones y Transporte a través de su Dirección de Transporte Ferroviario y Multimodal que tiene la función de regulación sobre todos los ámbitos del transporte ferroviario. Tiene entre sus facultades dictar políticas públicas orientadas a favorecer las convivencias entre empresas ferroviarias, gobiernos y usuarios. Así como emprender obras o acciones que favorezcan la sana competencia entre concesionarios y entre los territorios por donde atraviesa la red ferroviaria.
- **Gobiernos estatales y municipales,** Son los gobiernos estatales y municipales por donde atraviesa la red ferroviaria. cuya operación ferroviaria trae consigo beneficios y afectaciones en sus territorios y comunidades. Entre los beneficios destacan la generación de empleos directos, y el incremento de las actividades económicas. Así mismo se generan problemas de vandalismo, invasiones a los derechos de vía, accidentes y congestionamientos viales y sus pérdidas económicas asociadas. Su papel en el contexto ferroviario, es; gestionar ante la autoridad federal, acciones, políticas y obras que incrementen el impacto positivo y que mitiguen la problemáticas generadas.

## **Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.**

Propuesta metodológica.

---

Cada uno de los actores claves descritos, tiene intereses particulares, no siempre compatibles con el resto, esto hace que la convivencia entre ellos sea complicada. De aquí surge la necesidad de que la metodología propuesta considere todos los enfoques posibles, estableciendo criterios que intenten involucrar la perspectiva de todos los implicados, y proporcione herramientas para establecer políticas de convivencia e inversión.

### ***Definición de alternativas.***

Supongamos que la elección del decisor debe ejercerse con respecto a un número finito de alternativas. Al conjunto de alternativas le denominamos *conjunto de elección* y constituye el segundo elemento de nuestro modelo. En nuestro caso las alternativas corresponden a proyectos orientados a dar solución a la problemática descrita en el capítulo II. Designaremos por  $A_i, i = 1, 2, \dots, m$  a las alternativas y por  $A$  al conjunto de elección  $\{A_1, A_2, \dots, A_m\}$  y suponemos que *las alternativas son diferentes, excluyentes y exhaustivas*.

Estas últimas hipótesis son fuertes, por lo que vale la pena explicarlas con un poco más de profundidad. Según ella, se prohíbe que el decisor escoja una solución mixta, es decir intermedia entre dos alternativas. Se le prohíbe así mismo escoger una alternativa que no pertenece el conjunto de elección en estudio. Si el decisor introduce una nueva alternativa es preciso reiniciar el análisis con un nuevo conjunto de elección que la incluya.

Para hacer la aplicación al problema de la pérdida de eficiencia en la infraestructura ferroviaria, en la tabla siguiente se describe sintéticamente la problemática y las alternativas genéricas de solución; en las que se agrupan a todas las soluciones técnicas posibles, que apunten a dar solución al problema descrito.

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Propuesta metodológica.

Problemática	Alternativas de solución por tipo de proyecto <i>(Conjunto de elección A)</i>
Limitaciones en la capacidad operativa de vías auxiliares y patios.	<p><b>A<sub>1</sub></b> Proyectos que incrementen la capacidad de las infraestructuras de destino final</p> <p><b>A<sub>2</sub></b> Proyectos orientados a mejoras operativas para el traslado de mercancías</p>
Cruces de ciudad	<p><b>A<sub>3</sub></b> Proyectos de inversión orientados a la resolución de conflictos en cruces urbanos</p>
Mantenimiento mayor a la red de vías	<p><b>A<sub>4</sub></b> Inversiones en trabajos de mantenimiento mayor y mejoras en la red de vías.</p>

## Descripción de las alternativas de solución por tipos de proyecto

**A<sub>1</sub> Proyectos que incrementen la capacidad de las infraestructuras de destino final:** en este tipo de proyectos están orientados a mitigar el efecto de la falta de capacidad en las vías secundarias, técnicamente contempla las soluciones de: ampliación de laderos existentes y construcción de nuevos laderos.

**A<sub>2</sub> Proyectos orientados a mejoras operativas para el traslado de mercancías:** Para agilizar las operaciones, el tiempo de estancia de carros y trenes en patios y por tanto incrementar la velocidad de los corredores, se consideran soluciones de: ampliación de patios (en casos donde sea posible) y construcción de patios nuevos.

**A<sub>3</sub> Proyectos orientados a la resolución de conflictos en cruces urbanos:** En esta categoría, el objetivo principal es incrementar la velocidad de cruce por las zonas urbanas, que puede resolverse con proyectos de: construcción de libramientos ferroviarios y construcción de obras de infraestructura vial o ferroviaria.

## Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Propuesta metodológica.

---

***A<sub>4</sub> Inversiones en trabajos de mantenimiento mayor a la y mejoras a la red ferroviaria.*** Son proyectos de mantenimiento mayor (rehabilitación) de la red ferroviaria cuya necesidad surge, una vez que se han detectado demoras sistemáticas por problemas asociados al estado físico de la red ferroviaria existente; cambios de riel, sustitución de durmientes, rehabilitación de terraplenes, etc.

### ***Definición de criterios.***

Para llevar a cabo su elección entre las alternativas del conjunto de elección, se supone que el decisor posee varios (o al menos un eje de evaluación). Estos ejes de evaluación son las características de las alternativas, a las que llamaremos *criterios*. Cuando se añaden a estos criterios un mínimo de información relativa a las preferencias del decisor, los atributos se convierten en sub\_criterios. Dicho de otra manera, un criterio expresa con mayor o menor precisión, las preferencias del decisor respecto a un cierto sub-criterio. *Siempre supondremos que los criterios y sub criterios  $C_1, C_1, \dots, C_n$  son en número finito.*

Para este trabajo se han considerado tres tipos de criterios (ejes de evaluación), a través de los cuales se evaluará en qué medida, las alternativas de solución descritas, atienden la mitigación de la problemática de pérdida de eficiencia en la infraestructura ferroviaria. Cada uno de estos criterios, está integrado con un grupo de sub criterios  $c_i$  que son las direcciones de análisis para cada criterio establecido. Los criterios son:

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Propuesta metodológica.

---

1. **Criterios Estratégicos.** $C_1$  Sirven para evaluar en qué medida los proyectos coinciden con estrategias y objetivos del negocio en el corto, mediano y largo plazo, para lo cual se definen los siguientes sub criterios:

1.1. Minimización de pago de *car hire* y penalizaciones. $c_{11}$

1.2. Fortalecimiento de la relación comercial con las grandes cuentas. $c_{12}$

1.3. Solución a restricciones en la operación y/o capacidad de la infraestructura actual.  $c_{13}$

1.4. Desarrollo sustentable del negocio: en este sub criterio se orienta el fomento a la sinergia entre modos de transporte, y los impactos favorables sobre el medio ambiente, la economía y el bienestar social.  $c_{14}$

1.5. Traslado seguro de mercancías.  $c_{15}$

2. **Criterios de perfil de proyecto**  $C_2$ : para definir su grado de prioridad en función de la problemática de transporte atendida, y del tipo actores involucrados.

2.1 Evolución de flujos de carga en corredores ferroviarios  $c_{21}$

2.2 Horizonte de ejecución y/o aplicación. (ya programado, 2008 – 2012, 2012 - 2018, después de 2018)  $c_{22}$

2.3 Actores clave identificados (gobiernos, clientes finales, prestadores de servicios logísticos)  $c_{23}$ .

2.4 Estado de desarrollo del proyecto (idea del proyecto, anteproyecto, proyecto ejecutivo)  $c_{24}$

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Propuesta metodológica.

---

## 3. Criterios de factibilidad .C<sub>3</sub>:

- 3.1 Beneficios financieros directos. (VPN, TRS, múltiple de la inversión). .c<sub>31</sub>
- 3.2 Beneficios económicos y sociales asociados (integración productiva, equilibrio regional desarrollo urbano sustentable) .c<sub>32</sub>
- 3.3 Fuentes de financiamiento públicas y privadas ya identificadas y/o comprometidas (interno y externo). .c<sub>33</sub>
- 3.4 Riesgos NO financieros (técnicos de mercado, aceptación social, impacto ambiental). .c<sub>33</sub>

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Propuesta metodológica.

---

## **Matriz de decisión.**

Antes de empezar a discutir sobre la expresión de las preferencias de decisor, vamos a suponer (hipótesis bastante fuerte) que el decisor es capaz de dar, para cada uno de los atributos considerados y para cada alternativa del conjunto de elección, un valor número o simbólico  $a_{ij}$  que expresa una evaluación de la alternativa  $A_i$  respecto al atributo  $j$ .

La matriz  $[a_{ij}]$  se llama *matriz de decisión*. Cada fila de esta matriz expresa las cualidades de la alternativa  $i$  con respecto al atributo  $j$ .

$$\begin{array}{c} \text{Alternativas} \\ \text{Criterios} \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \end{array}$$

El paradigma de la decisión multicriterio postula que con los ingredientes básicos hasta ahora descritos, es posible hasta ahora encontrar cual deber ser la mejor decisión.

Es bastante común en la decisión multicriterio que, unos criterios tienen más relevancia que otros. Por circunstancias muy diversas, entre las que lógicamente están las preferencias personales (razonablemente objetivables o completamente subjetivas), el decisor puede considerar más o menos importante a un criterio que a los restantes. Se denominan *pesos* (o ponderaciones) a estas medidas de la importancia relativa que tiene los criterios para el decisor.

Para normalizar el valor de los pesos, se ha decidido usar una escala de porcentajes, pues lo hace más claro y permite asignar de manera más objetiva el valor que se asigna de cada sub criterio.

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Propuesta metodológica.

## Pesos específico para cada grupo de criterios

El primer paso consiste en la asignación de pesos específicos a los criterios (ejes de evaluación) y se asignará un valor numérico, que intenta medir la importancia de cada uno de estos. El resultado es un vector de pesos específicos  $W_a$  que permitirá tener una perspectiva global de la importancia que tiene cada proyecto de un conjunto dado, (como se describe a lo largo del desarrollo de la metodología)

La siguiente tabla muestra el peso que se le ha dado a cada grupo de criterios para esta propuesta metodológica.

<i>Grupo de criterios</i>	<i>Peso específico</i> $W_a$	<i>Justificación</i>
Criterios estratégicos	50%	Se les da el mayor peso, pues se asume que estos criterios están orientados a favorecer cumplimiento de objetivos estratégicos de desarrollo del negocio o del sector, contemplados por decisor en el corto, mediano y largo plazos.
Criterios de perfil de proyecto.	20%	Se considera este peso debido a que estos criterios están orientados a fortalecer el desarrollo particular de cada proyecto y las preferencias de los actores clave,
Criterios de factibilidad de proyecto.	30%	Se les da este peso, considerando que estos criterios contemplan todos los aspectos relacionados con las fuentes de financiamiento, el uso de los recursos, la amortización de estos y la rentabilidad de los proyectos. <sup>1</sup>

El valor de estos pesos, puede cambiar, dependiendo de la experiencia y preferencias del decisor, o de las circunstancias, externas e internas en cada caso.

---

<sup>1</sup> Esta consideración puede ser enfocada a un proyecto en particular, o un grupo de estos.

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Propuesta metodológica.

## Construcción de la matriz de decisión para cada criterio.

El siguiente proceso, consiste en construir una matriz de decisión para cada criterio (eje de evaluación) Los valores que integran esta matriz, muestran el peso relativo de cada criterio, asociado al tipo de solución que atienden. Sirven para definir una perspectiva particular de la importancia de cada proyecto según el tipo de problemática a mitigar.

A continuación se muestran las matrices propuestas a partir de un análisis cualitativo la suma de los pesos por cada tipo solución integra el 100%.

Cabe destacar que estos valores pueden variar, dependiendo de la experiencia del decisor, de las circunstancias particulares de cada caso, de las políticas individuales de cada empresa ferroviaria o de cualquier otro factor interno o externo que pueda afectarlos.

### *Criterios estratégicos.*

	Capacidad de las infraestructuras de destino final	Resolución de conflictos en cruces urbanos	Mejoras operativas en el traslado de mercancías	Rehabilitación de infraestructura y equipos
Minimización del pago de Car -hire y penalizaciones	10%	N.A.	20%	<b>30%</b>
Fortalecimiento de la realación comercial con las grandes cuentas	<b>30%</b>	20%	<b>30%</b>	20%
Solución a las restricciones de operación y/o capacidad de la infraestructura actual (aumento de la velocidad comercial)	<b>30%</b>	<b>40%</b>	10%	<b>30%</b>
Desarrollo sustentable del negocio (fomento a la sinergia, entre modos de transporte, contaminación ambiental,.. Etc)	20%	10%	10%	N.A.
Traslado seguro de mercancías (reducción del vandalismo, reducción de accidentes en cruces, disminución de reclamos de clientes)	10%	<b>30%</b>	<b>30%</b>	20%

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Propuesta metodológica.

## *Criterios de perfil de proyecto.*

	Capacidad de las infraestructuras de destino final	Resolución de conflictos en cruces urbanos	Mejoras operativas en el traslado de mercancías	Rehabilitación de infraestructura y equipos
Evolución de flujos de carga en corredores ferroviarios	<b>30%</b>	20%	<b>40%</b>	<b>40%</b>
Horizonte de planeación (ya programado, 2006 -2012, 2012 - 2018, después)	<b>30%</b>	<b>30%</b>	20%	20%
Actores clave identificados (Gobiernos, clientes finales, prestadores de servicios logísticos)	10%	<b>30%</b>	20%	N.A.
Estado de desarrollo del proyecto (idea del proyecto, anteproyecto, proyecto ejecutivo)	<b>30%</b>	20%	20%	<b>40%</b>

## *Criterios de factibilidad.*

	Capacidad de las infraestructuras de destino final	Resolución de conflictos en cruces urbanos	Mejoras operativas en el traslado de mercancías	Rehabilitación de infraestructura y equipos
Beneficios financieros directos (VPN, TIR, múltiple de la inversión)	<b>40%</b>	<b>30%</b>	<b>40%</b>	<b>40%</b>
Beneficios económicos y sociales asociados (integración productiva, equilibrio regional, desarrollo urbano sustentable,...)	20%	20%	20%	10%
Fuentes de financiamiento públicas y privadas ya identificadas y/o comprometidas (interno y externo)	<b>30%</b>	<b>30%</b>	<b>30%</b>	<b>30%</b>
Riesgos NO financieros (técnicos, de mercado, aceptación social, impacto ambiental)	10%	20%	10%	20%

# **Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.**

Propuesta metodológica.

---

## ***Desarrollo de la metodología***

### **Escala de calificación a proyectos.**

Partimos suponiendo que las alternativas (soluciones específicas) ya se conocen con certeza o al menos sus proyectos conceptuales, y que el decisor está de acuerdo en evaluarlas según una escala numérica preestablecida, obteniéndose así una función de utilidad del decisor relativa al atributo considerado.

Para poder evaluar cada alternativa con respecto a un subcriterio, es necesario establecer indicadores de medición que permitan generar un valor numérico a la función de utilidad a partir los valores estos.

Cada indicador está asociado a un subcriterio y evalúa con base en una función de utilidad la medida en la que cada proyecto satisface las perspectiva de cada su criterio.

Para normalizar los valores de la escala se hace la propuesta para este trabajo, de usar un rango del 1 al 5, donde 5 representa la mejor solución y el 1 representa la peor.

En las siguientes tablas, se muestra, para cada subcriterio, los indicadores de medición, sus consideraciones y sus correspondientes funciones de utilidad.

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Propuesta metodológica.

## Eje de criterios estratégicos

Sub- criterio.	Indicadores de medición	Consideraciones	Descripción de la función de utilidad
Minimización del pago de Car - hire y penalizaciones	Porcentaje global de disminución de pagos de car – hire	Que el proyecto permita un abatimiento del 10% en el pago del car- hire	1 punto en la escala, por cada 2% de disminución del pago de car – hire
Fortalecimiento de la relación comercial con las grandes cuentas	Porcentaje de crecimiento de ventas con las grandes cuentas.	Que el proyecto, favorezca al crecimiento de 5% anual	1 punto en la escala por cada 1% de crecimiento anual de ventas con las grandes cuentas en un plazo de 5 años
Solución a las restricciones de operación y/o capacidad de la infraestructura actual (aumento de la velocidad comercial)	Reducción de tiempos de recorrido en el corredor	Reducción máxima de 5% del tiempo de recorrido por proyecto	<b>1 punto en la escala por cada 1% de reducción en el tiempo de recorrido</b>
Desarrollo sustentable del negocio (fomento a la sinergia, entre modos de transporte, contaminación ambiental,.. Etc)	Porcentaje de crecimiento de la carga ferroviaria, frente al transporte terrestre	Se considera posible que el proyecto en análisis favorezca al crecimiento de la carga ferroviaria en 5% entre 2006 2012 (6 años), en base al crecimiento histórico registrado.	1 punto en la escala, por cada 1% de crecimiento anual
Traslado seguro de mercancías (reducción del vandalismo, reducción de accidentes en cruces, disminución de reclamos de clientes)	➤ Porcentaje de disminución de accidentes en el corredor	Reducción 10% de reducción de accidentes, por proyecto.	1 punto en la escala de medición por cada 2% de reducción de accidentes asociados a la infraestructura.
	➤ Porcentaje de disminución de vandalismo a trenes en el corredor	Reducción en 10% de incidencia de vandalismo por proyecto	1 punto en escala de medición por cada 2% de reducción de vandalismo a mercancías

## Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Propuesta metodológica.

### *Eje de criterios perfil de proyecto.*

Sub- criterio.	Indicadores de medición	Consideraciones	Descripción de la función de utilidad
Evolución de flujos de carga en corredores ferroviarios	Porcentaje de crecimiento de la carga en el corredor	El proyecto favorece a un crecimiento máximo de 20% en 5 años basado en el crecimiento histórico de los últimos 10 años	1 punto en la escala por cada 5% de crecimiento anual
Horizonte de planeación (ya programado, 2006 -2012, 2012 - 2018, después	Plazo de ejecución a corto, mediano y largo plazo.	Estrategias de crecimiento descritas en el Plan Nacional de Infraestructura 2007 - 2012	1 punto en la escala si el proyecto se considera ejecutar después de 2018, se crece 2 puntos en la escala y cae entre 2012 y 2018 y 2 puntos más si cae entre 2006 y 2012
Actores clave identificados (Gobiernos, clientes finales, prestadores de servicios logísticos)	Número de actores clave implicados en el proyecto.	Mientras más actores clave estén implicados en el proyecto, se favorece su ejecución	<b>1 un punto en la escala por cada actor clave implicado</b>
Estado de desarrollo del proyecto (idea del proyecto, anteproyecto, proyecto ejecutivo)	Etapas de madurez del proyecto		1 punto en la escala, si el proyecto está en idea, 2 puntos si está en anteproyecto y 5 puntos si está en proyecto ejecutivo

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Propuesta metodológica.

## Eje de criterios de factibilidad.

Sub- criterio.	Indicadores de medición	Consideraciones	Descripción de la función de utilidad
Beneficios financieros	Relación B/C*	Se considera que un proyecto que $\frac{B}{C} > 1$ y un valor máximo de 1.8	Partiendo $\frac{B}{C} = 1$ se agrega un punto en la escala por cada 0.2 de crecimiento en la relación. $\frac{B}{C}$ .
Beneficios económicos y sociales asociados	Crecimiento económico local, estatal y regional	Cada proyecto por si mismo genera integración productiva local y regional.	Partiendo de 1 se agrega un punto si se genera: * Favorecimiento de reequilibrio regional, * Se da solución a problemas de conectividad interregional, * Empleos directos estatales * Empleos directos locales
Fuentes de financiamiento.	Porcentaje de la Inversión pública y privada	Pueden ser públicas y privadas ya identificadas y/o comprometidas (interno y externo). Las fuentes de financiamiento públicas se consideran más seguras.	1 si es 100% inversión privada sin fideicomiso 2 si es 100% inversión privada con fideicomiso 3 si es inversión mixta (pública – privada) con fideicomiso 4 Si es inversión pública estatal 5 si es inversión pública federal
Riesgos NO financieros	Disminución del riesgos no financieros en el corredor	Se consideran; riesgos técnicos, de mercado, aceptación social y de impacto ambiental.	Partiendo de 5 se resta un punto en la escala por cada riesgo identificado.

\* Si se cuenta con más información, es más recomendable usar otros indicadores como la TIR o operating ratio.

## Descripción del método de la suma ponderada.

### Datos de partida del método

- A. Se supone un problema con  $m$  alternativas  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$  y  $n$  criterios  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ . Cada criterio está representado por una función de utilidad  $U_j$  que, para el criterio  $j$ , el decisor estima que tiene la alternativa  $i$ , la recoge la evaluación  $a_{ij} = U_j(a_i)$  de la matriz de decisión. Cada valor  $a_{ij}$  proviene de, bien de la verdadera construcción de una verdadera función de utilidad, bien de

## Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Propuesta metodológica.

---

una evaluación natural. Supondremos en todo caso que estas evaluaciones son de tipo cardinal ratio.<sup>2</sup>

- B. Supondremos también que cada criterio  $C_j$  está provisto de un peso  $w_j$  positivo o nulo y en este último caso se elimina, por lo que en lo sucesivo manejaremos que  $w_j > 0$  para todo  $j$ .

Para cada alternativa  $a_i$  se calcula su evaluación con respecto a su sub criterio

$$R(a) = \sum_j w_j a_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

La alternativa  $a_i$  escogida, será aquella con la mejor evaluación  $R(a)$ , Si varias estuviesen empatadas, se tomará cualquiera de ellas. Siendo números reales  $R(a_i)$ , están naturalmente ordenados y, en una problemática de ordenación, pueden clasificarse las alternativas en función de los valores  $R(a_i)$  obtenidos. La expresión *suma ponderada* es bastante descriptiva de lo que hacemos mediante el cálculo (1).

### **Aplicación del método de la suma ponderada a la metodología.**

Como se ha mencionado ya se considera; se cuenta con una cartera de proyectos que serán sometidos a análisis de jerarquización. En esta propuesta metodológica se contemplan 2 niveles de análisis. El primer nivel de análisis consiste en calificar cada proyecto específico con respecto a cada subcriterio y en los tres ejes de evaluación. Para lo cual, es menester que, previamente cada proyecto sea colocado correctamente dentro alguna de las cuatro categorías de alternativas que se han descrito en el apartado de definición de alternativas, para posteriormente **ser calificado con los valores de los indicadores de medición**

---

<sup>2</sup> Cfr. BARBA Romero Sergio *Decisiones Multicriterio, fundamentos teóricos y utilización práctica* Universidad de Alcalá 1997. Capítulo 2-

## Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Propuesta metodológica.

utilizando la función de utilidad correspondiente para cada subcriterio. La calificación obtenida, se pondera utilizando la ecuación base del método de la suma ponderada, multiplicando cada calificación por su peso correspondiente del vector de pesos definido en las matrices de decisión, obteniendo así el valor que denominaremos *Calificación ponderada*.  $c_{ij} = w_j a_{ij}$ . La sumatoria de estos valores nos dará como resultado la calificación ponderada de cada proyecto para cada criterio (eje de evaluación)  $C_i = \sum_j w_j a_{ij}$

Para ilustrar, más claramente esto, se han construido la siguiente tabla, donde muestra este primer proceso del análisis, para un eje de evaluación.

Estratégicos		
Sub- criterio.	Calificación	Calificación ponderada
Minimización del pago de Car-hire y penalizaciones	$c_i$	$c_{ij} = w_j a_{ij}$
Fortalecimiento de la relación comercial con las grandes cuentas	$c_i$	$c_{ij} = w_j a_{ij}$
Solución a las restricciones de operación y/o capacidad de la infraestructura actual (aumento de la velocidad comercial)	$c_i$	$c_{ij} = w_j a_{ij}$
Desarrollo sustentable del negocio (fomento a la sinergia, entre modos de transporte, contaminación ambiental... Etc)	$c_i$	$c_{ij} = w_j a_{ij}$
Traslado seguro de mercancías (reducción del vandalismo, reducción de accidentes en cruces, disminución de reclamos de clientes)	$c_i$	$c_{ij} = w_j a_{ij}$
	<b>Calificación ponderada, criterios estratégicos</b>	$\sum_j w_j a_{ij}$

Estas operaciones descritas se hacen para los otros dos criterios; de perfil de proyecto y de factibilidad con sus sub criterios correspondientes.

Como resultados obtendremos un vector de calificaciones ponderadas  $\bar{C}$

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Propuesta metodológica.

<i>Calificación ponderada, criterios estratégicos</i>	$C_1$
<i>Calificación ponderada, criterios de perfil de proyecto</i>	$C_2$
<i>Calificación ponderada, criterios de factibilidad</i>	$C_3$

Los resultados de este primer nivel de análisis nos indican la importancia relativa de cada proyecto para cada eje de evaluación en particular.

El segundo nivel de análisis consiste en evaluar cada proyecto de manera global, para cada criterio definido dentro del contexto descrito.

Para lo cual utilizaremos el vector de pesos específicos  $\overline{W}$

<b>Criterios</b>	<b>Peso</b>
Criterios Estratégicos	50%
Criterios de perfil de proyecto	20%
Criterios de factibilidad de proyecto	30%

Al hacer la aplicación del método de la suma ponderada tenemos que multiplicar el vector de calificaciones ponderadas  $\overline{C}$  por el vector de pesos específicos  $\overline{W}$ . Obteniendo así la calificación global parcial  $Cal_i$ . Finalmente al aplicar la sumatoria de estos valores, obtenemos la calificación global de cada proyecto analizado

$$Calificación\ global = \sum_1^3 C_i W_j$$

# **Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.**

Propuesta metodológica.

---

## **Proceso de jerarquización**

El último paso de la metodología consiste en hacer la jerarquización final. Para la cual se ha decidido multiplicar por 2 los valores de la calificación global para normalizar en una escala de 1 al 10, que es más familiar y más fácil de entender. Los proyectos que obtengan mayor calificación son los más prioritarios y conforme va disminuyendo el valor de la calificación final va disminuyendo la prioridad de estos. Es conveniente ordenar de manera descendente los proyectos, para apreciar con mayor claridad los resultados.

# **Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.**

Propuesta metodológica.

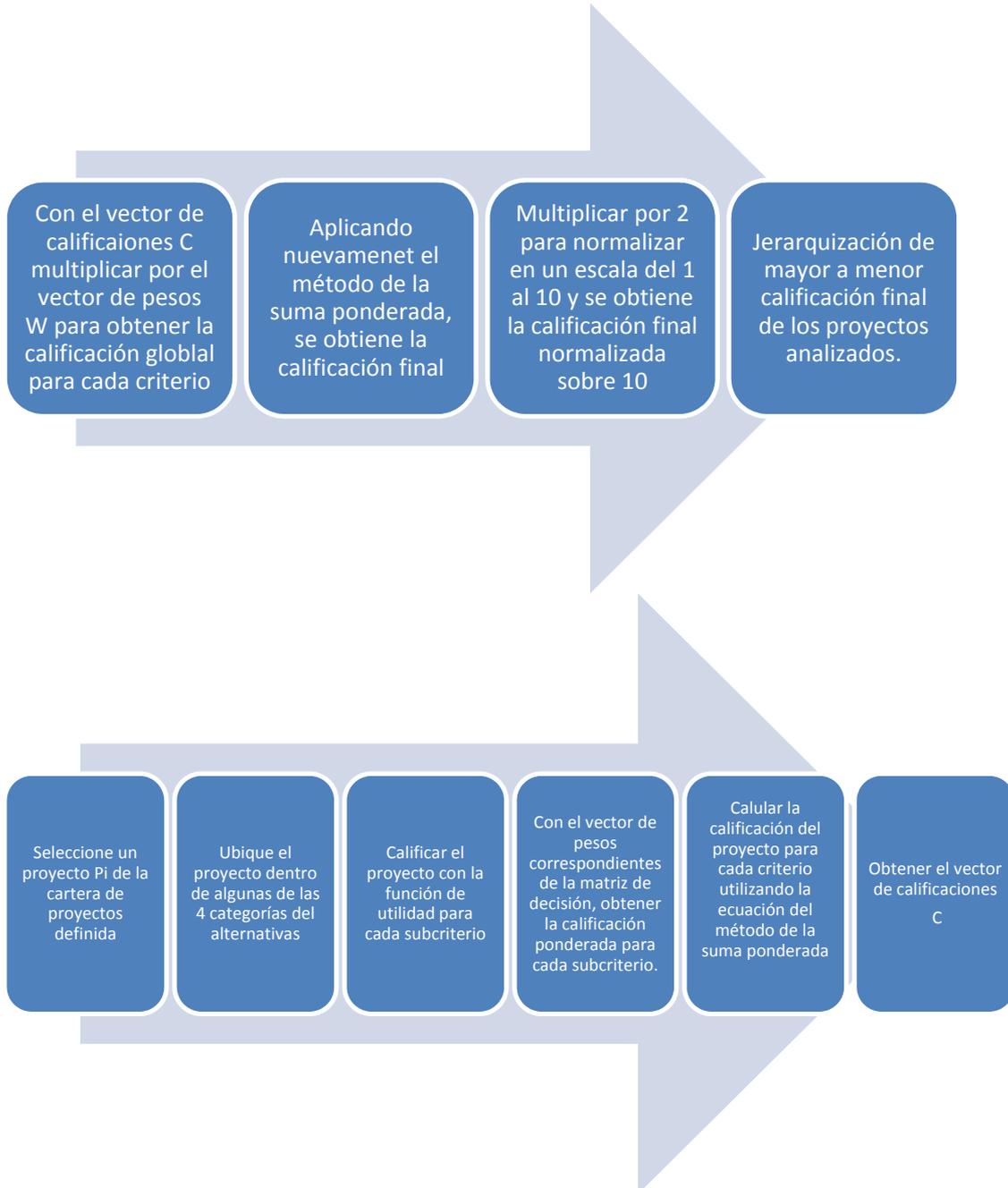
---

## **Diagrama conceptual de la metodología.**

Para ilustrar mejor el proceso de la metodología se ha construido el siguiente diagrama conceptual

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Propuesta metodológica.



## Clasificación de proyectos.

## **Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.**

Propuesta metodológica.

---

Los proyectos que obtengan una calificación mayor que 8.5 son óptimos para financiamiento y ejecución.

Los proyectos cuya calificación oscile entre 7 y 8.5 son potencialmente financiables e implican un análisis adicional orientado a ver cómo y qué mejorar para incrementar la calificación.

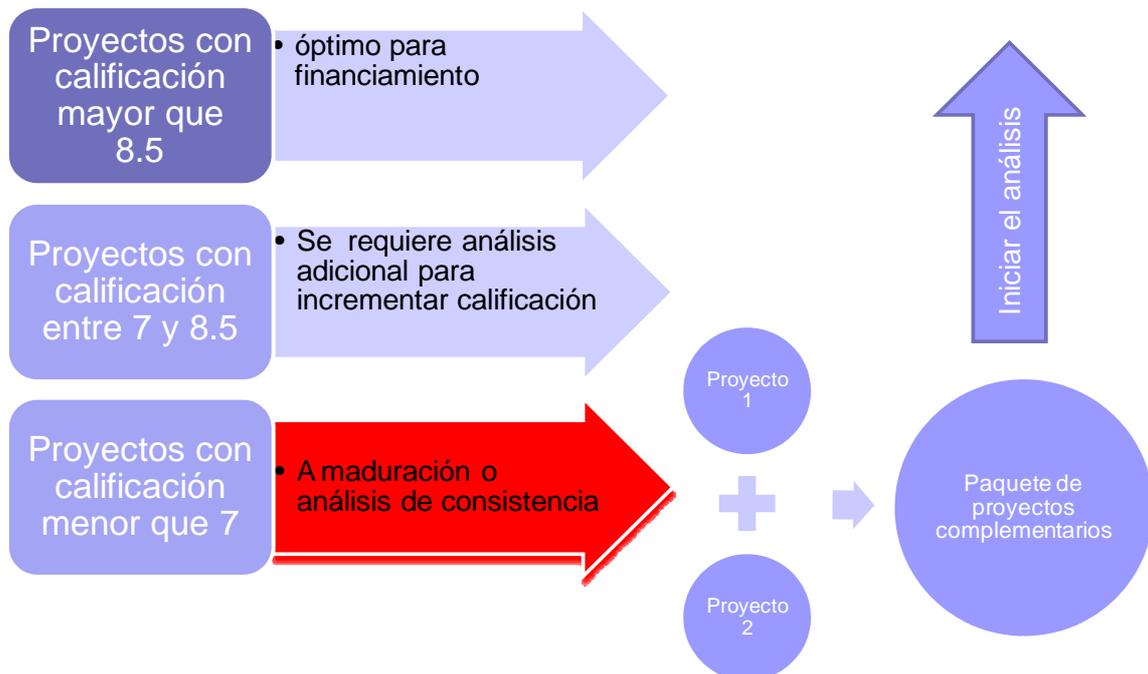
Finalmente los proyectos que califiquen por debajo de 7 son proyectos que tienen que madurar o en su defecto deberán pasarse por un análisis de consistencia mismo que se describe en el siguiente apartado.

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Propuesta metodológica.

## Análisis de consistencia y compatibilidad de proyectos.

Es probable que se dé el caso en el que uno o más proyectos se obtenga una calificación baja, pero que sean complementarios con otros que hayan obtenido una calificación más favorable, en este caso, es menester considerar la sinergia de la suma de estos o de algunos de sus componentes e iniciar nuevamente el análisis como si se tratase de un solo proyecto y analizar el resultado, que servirá para evaluar si es necesario invertir en ambos simultáneamente.





# **Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.**

Conclusiones

---

## **VI. Conclusiones**

Esta propuesta metodológica es una herramienta científicamente soportada. Dirigida principalmente a tomadores de decisiones dentro de las empresas concesionarias del transporte ferroviario en México. Que tiene como objetivo principal ayudar a la jerarquización de inversiones en proyectos de infraestructura ferroviaria, orientados a incrementar la eficiencia en la explotación del sistema ferroviario y la calidad en el servicio. Lo anterior, dentro de los límites del contexto actual del transporte ferroviario Nacional.

Orientada a la solución de problemas operativos asociados a la infraestructura. La propuesta intenta considerar todos los puntos de vista de los actores clave, aplicando, para ello, las teorías de análisis multicriterio que existen actualmente y seleccionando la que mejor se ha adaptado a las circunstancias actuales.

Adicional a la jerarquización y su utilidad en la toma de decisiones dentro de las empresas ferroviarias, los resultados de la metodología pueden ser útiles como base para el dialogo entre los actores clave que conlleve a la creación y establecimiento de políticas públicas de inversión de convivencia y de sustentabilidad.

Al tener una guía de inversiones es posible planear y establecer estrategias en el corto, largo y mediano plazo, orientadas a subir la competitividad regional, nacional e internacional.

Proporciona también una herramienta para planear presupuestos anuales o multianuales de inversión en mejoras y conservación de la red de vías y el mantenimiento correctivo de la infraestructura ferroviaria, orientados a favorecer a los objetivos estratégicos de la empresa

Es posible adaptar la metodología a cualquier proyecto de infraestructura de transporte ferroviario y multimodal

# Propuesta metodológica para la jerarquización de inversiones en corredores ferroviarios.

Bibliografía

---

## VII. Bibliografía

ANTÚN Callaba, Juan Pablo. *Toma de decisiones multicriterio : el enfoque electre*. México: UNAM, Instituto de Ingeniería, 1990

BARBA Romero, Sergio, CHARLES Pomero, Jean *Decisiones multicriterio, fundamentos teóricos y utilización práctica* Universidad de Alcalá, España 1997

EASTON, Allan *Decisiones administrativas con objetivos múltiples*

SOMAN K.P *Insigth into data mining theory an practice* Prentice Hall. India, 2006

GENEVIEVE Giuliano. *A multicriteria method for transportation investment planning*. Institute of Transportation Studies, University of California, Irvine, CA 92717, U.S.A. Transportation Research Part A: General Volume 19, Issue 1, February 1985, Pages 29-41

PIERRE Arnold. *et al. Modelling a rail/road intermodal transportation system*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review Volume 40, Issue 3, May 2004, Pages 255-270

DIMITRIOS A. Tsamboulas. *A tool for prioritizing multinational transport infrastructure investments* Transport Policy Volume 14, Issue 1, January 2007, Pages 11-26

ANANDARAJAN Marugan. *et.al. Business intelligence techniques: a perspective from accounting and finance* . Ed. Springer . USA 2004

Secretaría de Comunicaciones y Transportes *Plan Nacional de Infraestructura 2007 - 2012*. México 2007 SCT