

JIFI2018
JORNADAS DE INVESTIGACIÓN
ENCUENTRO ACADÉMICO INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA UCV

FACTIBILIDAD AMBIENTAL FERROVIARIA. METODOLOGÍA

Keissy Díaz ¹
Jorge Núñez
David Díaz

¹ *Departamento de Ingeniería Vial. Escuela Ingeniería Civil. Postgrado en Ingeniería Vial. Facultad de Ingeniería. UCV*

*keissydiaz@gmail.com

RESUMEN

La evaluación ambiental de opciones de proyecto constituye un aspecto clave en la Evaluación de Impacto Ambiental. El análisis de opciones está referido a las ventajas y desventajas que durante el proceso de formulación del proyecto tengan las propuestas relativas a localización, uso de tecnologías y diseño, tomando en cuenta los impactos ambientales previsibles y el grado en que las propuestas se adaptan a las condiciones locales, regionales y nacionales. El objetivo del trabajo es presentar la metodología utilizada en la evaluación ambiental de opciones de trazado de proyectos ferroviarios. A tal fin, se propone un instrumento de evaluación ambiental de alternativas o trazados de ruta ferroviaria, basado en un procedimiento sistemático que permite comparar y evaluar las opciones propuestas. La metodología propuesta se formula a través del uso de indicadores derivados de los respectivos estudios de ruta ferroviaria. Con el fin de establecer un orden de prioridades se hace uso de criterios múltiples mediante ponderaciones o matrices hasta obtener un índice ambiental que permite la comparación sistemática entre opciones o trazados en función de unos factores de decisión o variables comunes a todas y la respectiva jerarquización de acuerdo con sus ventajas, para así proponer la Ruta Óptima. Se trata de un método integrador que permite incorporar tanto las variables ambientales como técnicas y de costos de proyecto en la selección de rutas, lo que a la larga facilita el obtener un conjunto de beneficios como es la minimización de efectos ambientales, optimización del diseño de la obra y minimización de los problemas de construcción, así como ahorro de tiempo y dinero. La adaptación de la metodología del Camino Óptimo en el caso de ferrocarriles resulta relativamente sencilla y fácil de emplear. Es versátil en su aplicación pero sigue una metodología bien estructurada. Permite adaptaciones en las etapas de valoración y ponderación, el nivel de detalle del análisis podrá ser fijado por el evaluador dependiendo de las condiciones contextuales.

Palabras Clave: Factibilidad, Ambiental, Rutas, Ferrocarril, Metodología.

ABSTRACT

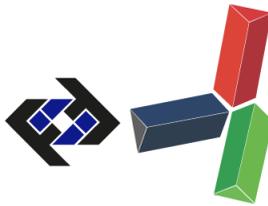
Environmental assessment of project options is a key aspect in the evaluation of environmental impact. Analysis of options is referred to the advantages and disadvantages that have proposals related to location, use of technologies and design, during the process of formulation of the project, taking into account the foreseeable environmental impacts and the degree in which the proposals are adapted to the local, regional and national conditions. The objective of the study is to present the methodology used for the environment assessment or railway projects Path Options. To this end, an instrument of environmental assessment of alternatives or paths of railway route is proposed, based on a systematic procedure that allows you to compare and evaluate the options offered. The proposed methodology is formulated through the use of indicators derived from studies of railway route. In order to establish a categorization of

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>



priorities, the methodology makes use of multiple criteria using weights or matrix to obtain an environmental index that allows systematic comparison between options or paths depending on a few decision factors or common variables and the respective ranking based on their advantages, to propose the optimum path. Is an Integrator method that can incorporate project cost and environmental and technical variables in the selection of routes, which ultimately makes it easy to obtain a set of benefits such as the minimization of environmental effects, optimization of the design of the structure and minimization of construction problems, as well as saving time and money. The adaptation of the optimal path methodology in the case of railroads is relatively simple and easy to use. It is versatile in its application but follows a well-structured.

Key words: Feasibility, Environment, Routes, Railroad, y Methodology

INTRODUCCIÓN

Cada día gana más adeptos la filosofía de la protección del ambiente, en paralelo al logro de las mejores condiciones de vida para el hombre, lo que se conoce comúnmente como desarrollo sustentable. De allí la necesidad de incorporar consideraciones ambientales a las diferentes etapas y procesos del desarrollo, lo que ha conducido a la formulación de diversos instrumentos y procedimientos para alcanzar este objetivo.

El transporte público masivo es un sector de suma importancia para la sociedad actual. Es igualmente cierto que la construcción y puesta en marcha de vías de comunicación requieren ser reguladas con el fin de reducir los efectos que producen sobre el ambiente, algunos de los cuales pueden representar la generación de graves procesos de deterioro ambiental.

El análisis integral de los proyectos de vías permite optimar la inversión, concertar intereses públicos y privados dentro de los límites que impone la disponibilidad de recursos físicos, biológicos y humanos. Los Estudios de Impacto Ambiental forman parte de las metodologías que permiten evaluar integralmente el desarrollo de un proyecto, mediante la incorporación de criterios físicos, ecológicos y socioculturales que trasciendan el análisis costo-beneficio.

La evaluación de alternativas u opciones constituye un aspecto crucial en la evaluación de impacto ambiental. El Decreto N° 1.257 relativo a las Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente (1996) (1) establece que en las evaluaciones ambientales “se incluirá información de las opciones relativas al diseño, localización y procesos tecnológicos a ser consideradas durante el proceso de formulación del programa o proyecto propuesto” (Artículo N° 7).

A tal fin, se propone una metodología de evaluación ambiental de alternativas o trazados de ruta ferroviaria basada en un procedimiento sistemático que permite comparar y evaluar las opciones propuestas como parte de la etapa de Factibilidad del Proyecto.

MARCO DE REFERENCIA

El análisis de opciones está referido a las ventajas y desventajas que durante el proceso de formulación del proyecto tengan las propuestas relativas a localización, uso de tecnologías y diseño, al tomar en cuenta los impactos ambientales previsibles y el grado en que las propuestas se adaptan a las condiciones locales, regionales y nacionales.

Los modelos del análisis de alternativas u opciones son adaptaciones de las técnicas de toma de decisiones multicriterio o multiatributo, basadas en los Análisis de Compensaciones o Trade-Offs. Este análisis consiste en la comparación sistemática de opciones o alternativas, en función de unos factores de decisión o variables comunes a todas (2).

El procedimiento de análisis seleccionado se basa en la Matriz de Camino Óptimo desarrollada por Odum et al (1971) (3). Se trata de un método de tipo “Ponderación con Escala” y fue desarrollado originalmente para estudiar ocho alternativas de ruta de la Carretera Interestatal I-75 en Atlanta, EEUU. Según este procedimiento metodológico se consideran cuatro categorías de variables o parámetros a evaluar: ingeniería, físico - naturales, territoriales y socioeconómicas.

La metodología propuesta se formula a través del uso de indicadores derivados de los respectivos estudios de ruta ferroviaria. Con el fin de establecer un orden de prioridades se aplican criterios múltiples mediante ponderaciones o matrices hasta obtener un índice ambiental que permite la comparación sistemática entre opciones o trazados en función de unos factores de decisión o variables comunes a todas y la respectiva jerarquización de acuerdo con sus ventajas, para así proponer la Ruta Óptima (4).

La valoración de las opciones o alternativas de proyecto bajo criterios ambientales constituye hoy una exigencia en muchos países. El incorporar la dimensión ambiental, de modo explícito y sistemático, desde la etapa más temprana del proyecto junto a criterios económicos y técnicos asegura sus beneficios e integración al medio (5).

METODOLOGÍA

Evaluar opciones significa comparar las rutas generadas con respecto a un conjunto de criterios, con el fin de ordenarlas de mayor a menor interés, agruparlas en bloques de preferencia o seleccionar una de ellas (6).

El proceso metodológico propuesto, factibilidad ambiental de proyectos ferroviarios se muestra en la Figura N° 1. (7)

Definición del área en estudio, caracterización ambiental y descripción del proyecto

En el proceso de adaptación de la metodología del Camino Óptimo se incorporan pasos previos a la evaluación ambiental de opciones como son definición del área en estudio, caracterización ambiental y descripción del proyecto en términos del estudio de ruta.

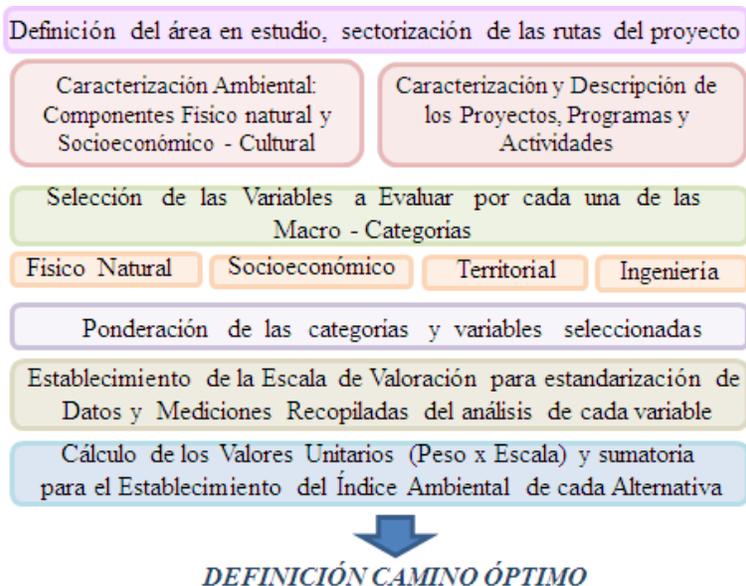
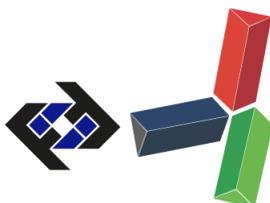


Figura N° 1. Flujograma Metodológico. Factibilidad Ambiental Ferrocarrilera



Selección de variables a ser evaluadas para cada una de las opciones o trazados

Con base a la caracterización ambiental y la descripción de las opciones del proyecto se eligen las Variables a ser evaluadas, para cada una de las 4 Macro Categorías consideradas en el Método del Camino Óptimo, a saber: físico naturales, socioeconómicas, territoriales y de ingeniería (Tabla N° 1). A manera de ejemplo, para cada variable se seleccionan los factores o indicadores que permitirán su estudio. Los descriptores considerados en el análisis pueden ser: categorías, subcategorías, variables e indicadores.

Una vez realizada la selección de las variables para cada categoría, a partir de la caracterización se identifican los indicadores o atributos que están presentes en el área y se mide la proporción del indicador en cada tramo de los Trazados considerados (8).

En la selección de las variables priva el criterio de su compatibilidad entre sí, en cuanto a las unidades de medición de sus atributos o indicadores, como es la distancia y la superficie.

Tabla N° 1. Categorías y Variables

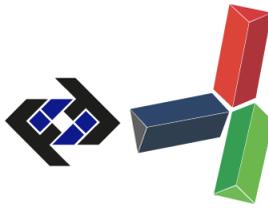
1	Categoría Físico Natural Medio Físico <ul style="list-style-type: none"> • Estabilidad del terreno / potencial morfodinámico • Relación rutas / cursos de agua Medio Biótico <ul style="list-style-type: none"> • Tipos de vegetación • Diversidad de especies de fauna según hábitat
2	Categoría Socioeconómica <ul style="list-style-type: none"> • Actividades económicas • Uso actual
3	Categoría Territorial <ul style="list-style-type: none"> • Presencia de Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE) • Tipo de asentamiento
4	Categoría Ingeniería y Costos <ul style="list-style-type: none"> • Longitud del tramo (m) • Curvas circulares por kilómetro (km) • Curvas verticales por kilómetro (km) • Viaductos • Cajones Hidráulicos 3,5x3,5; 6x6 y 6x10 • Túneles • Alcantarillas • Cajón vial 3,5x3,5; 6x6 y 6x10 • Estaciones • Elevados • Movimiento de tierra: cortes (m³) • Movimiento de tierra: rellenos (m³) • Movimiento de tierra: capa vegetal (m³)

Fuente: Proconsult, C.A - CADI, S.A. 2016.

Ponderación de las macro-categorías y variables, asignación de pesos a los indicadores

La ponderación de las variables consiste en otorgar pesos de importancia a las diferentes variables seleccionadas para el estudio, a fin de determinar su incidencia en la composición del Índice Ambiental final para cada opción o trazado.

La técnica radica en asignar pesos a la importancia relativa de cada una de las variables seleccionadas, mediante consenso entre los especialistas en función de las propias características del área y del proyecto. Así por ejemplo, en el caso de las variables bióticas, tendrá mayor peso la



vegetación que la fauna, ya que está en gran medida depende de la vegetación y determina a su vez la calidad de los hábitats; la fauna al poseer movilidad está en capacidad de adaptarse a un ambiente cercano con condiciones similares y por lo tanto, la hace menos vulnerable que la vegetación al verse disminuida en términos de superficie.

Asimismo, las categorías Físico-natural, Socioeconómica-cultural y Territorial se clasifican de acuerdo con las características del área en estudio, según la importancia relativa considerada por los especialistas y mediante la asignación de pesos en términos de porcentaje (%), lo mismo se hace con la categoría Ingeniería referida al proyecto ferroviario. En los valores priva el predominio de las categorías ambientales por tratarse de una evaluación ambiental de un proyecto sobre un área.

Una vez seleccionados los indicadores por variable se procede a unificar criterios de valoración mediante asignación de puntos a los indicadores, en función de la capacidad de acogida del ambiente ante la intervención por la construcción y operación de una ferrovía. Representan la contribución relativa de cada uno de ellos a la calidad ambiental del ámbito diagnosticado (9).

La escala de valoración para la asignación de pesos de los indicadores es de tipo lineal o de ponderación basada en la máxima alteración o impacto posible, el valor 1 representa la mayor ventaja y el valor 5 la mayor desventaja.

A los indicadores previamente identificados se les aplica la escala de valoración seleccionada de acuerdo con el juicio de los especialistas, sobre la base de la información disponible del proyecto y la caracterización del área.

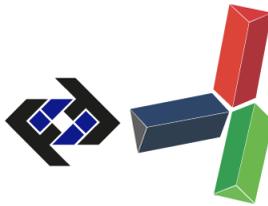
Sobre esta base se elaboran flujogramas generales para las cuatro grandes categorías consideradas donde se ilustra el análisis general de cada una de ellas, tres de ellas referidas a las características del ambiente y una, al proyecto. Asimismo, como un ejercicio se incluye la ponderación asignada a cada variable y categoría. Allí figuran los indicadores, variables, subcategorías y categorías con las ponderaciones que se otorgan para todos ellos por el equipo técnico que participa en el estudio (9)

En cuanto a la evaluación de opciones de trazado en la categoría Ingeniería, comprende el análisis de las variables de carácter técnico y económico-financiero que juegan un papel importante en el proceso de selección del trazado definitivo de la ferrovía propuesta.

Dichas variables son establecidas en función del nivel de información que se puede manejar para el momento, dado el status del proyecto –ingeniería conceptual-, y las magnitudes correspondientes empleadas (a efectos de la aplicación de la metodología de análisis) derivan de estimados gruesos, cifras que son representativas para el proceso de selección del trazado en desarrollo.

Acorde con el nivel de importancia de cada una de las variables consideradas en lo que por lo general se asocia a un proyecto ferroviario, se asignan los pesos (denominado “ponderador”) indicados en tablas y que en su totalidad suman 100 puntos.

Adicionalmente, se atribuye una “valoración” por variable y por tramo acorde con el grado de factibilidad técnico-económica, de manera que se cataloga dicha variable en función de lo que resulte más favorable para la categoría en consideración.



Conformación de la matriz de análisis y cálculo del Índice Ambiental para cada opción o trazado evaluado

Luego de completado este proceso, se carga la matriz a fin de aplicar la ponderación de las variables y de esta forma obtener una calificación para cada opción de trazado ferroviario de manera de ordenarlas según sus bondades.

Esta matriz debe mostrar los productos de los pesos de las Importancia x el Valor de cada Variable, cuya sumatoria definirá el Índice Ambiental, generalmente se aplica el criterio que a menor índice menos impacto tiene la opción o trazado evaluado.

Para cada opción de ruta se distribuyen los pesos por indicador, variable y categoría según su importancia ante la afectación esperada por la construcción del ferrocarril. El análisis se realiza para cada opción propuesta y se presenta una breve descripción de las principales características de cada variable.

El peso específico o ponderación de cada variable de decisión se multiplica por la puntuación contenida en la escala de valoración, valor o importancia para cada variable para cada alternativa u opción, este producto se va acumulando para dar un índice ambiental compuesto por cada alternativa.

Finalmente, se calculan los valores unitarios (puntos x área) a cada ruta y suman para el establecimiento del Índice Ambiental de cada trazado. Una vez jerarquizados los resultados, se comparan las ventajas y desventajas de cada uno de los trazados considerados para así proponer la Ruta Óptima.

En síntesis el proceso de evaluación ambiental de opciones es el siguiente:

- Se diseñan las matrices de evaluación para cada variable.
- Se obtiene el valor total por variable y trazado.
- A los valores totales se les aplica el ponderador y se obtiene el valor total ponderado.
- Se divide dicho valor entre la longitud de la ruta en kilómetros, se obtienen índices iniciales o parciales en puntos por kilómetro. Este paso constituye la primera agregación de gran ayuda para la interpretación de los resultados.
- En el caso de las Categorías Físico - Natural y Socioeconómica -Territorial se aplica la ponderación a las variables que las conforman y se obtienen los índices finales por categoría y trazado.
- La variable Ingeniería no requiere esta ponderación por estar constituida por una sola variable.
- Una vez obtenidos los índices previos a la ponderación final se procede a realizar una jerarquización preliminar a manera indicativa.
- Los índices Ambientales por Categoría y Trazado se obtienen al aplicar la ponderación previamente establecida. Estos valores unitarios se suman y se obtiene un *Índice Ambiental* para cada Trazado.
- Se jerarquizan los resultados y de esta manera, el Camino Óptimo lo constituye el Trazado con *Índice Ambiental* de menor valor. Como ejemplo, en el Tabla N° 2 se presentan Índices Ambientales por categoría y trazado.

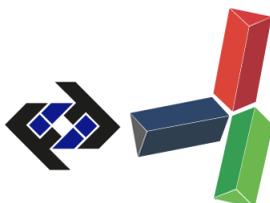


Tabla N° 2. Integración de Categorías

CATEGORÍA	RUTAS		
	Trazado 1	Trazado 2	Trazado 3
Físico Natural (30%)	57,72	66,86	60,93
Socioeconómico (20%)	32,50	27,67	45,49
Territorial (25%)	14,35	15,95	17,28
Ingeniería (25%)	8,44	11,01	5,04
TOTAL POR RUTA (100%)	113,01	121,49	128,30

CAMINO ÓPTIMO

TRAZADO 1

Fuente: Proconsult, C.A. - CADI, S.A. 2017

CONCLUSIONES

El instrumento metodológico planteado facilita la incorporación de la dimensión ambiental en la etapa temprana de planificación de un proyecto y permite optimar la relación ambiente – ingeniería, lo cual ha de reflejarse en la reducción de los costos ambientales en las etapas subsiguientes del proyecto.

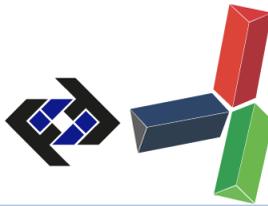
Es un método integrador que incorpora tanto las variables ambientales como técnicas y de costos de proyecto en la selección de rutas, lo que a la larga facilita el obtener un conjunto de beneficios como es la minimización de efectos ambientales, optimización del diseño de la obra y minimización de los problemas de construcción, así como ahorro de tiempo y dinero.

La adaptación de la metodología del Camino Óptimo en el caso de ferrocarriles resulta relativamente sencilla y fácil de emplear. Es versátil en su aplicación pero sigue un procedimiento bien estructurado. Permite adaptaciones en las etapas de valoración y ponderación, el nivel de detalle del análisis podrá ser fijado por el evaluador dependiendo de las condiciones contextuales.

Su uso es altamente recomendable para proyectos lineales como carreteras, ferrocarriles, líneas de electricidad, oleoductos, gasoductos, poliductos y acueductos, entre otros.

Aun cuando a este tipo de herramienta se le atribuye cierta subjetividad en la selección de la Ponderación de la Importancia de las Variables, se considera que la misma no desmerita su aplicación, puesto que el énfasis que se hace en la fundamentación de las decisiones, unido a la homogeneidad de criterio con que se aplica para las diferentes opciones, le da mayor rigurosidad metodológica lo que la hace confiable en su aplicación (10).

Es de nuestro conocimiento la importancia de realizar obras de infraestructura como son los ferrocarriles pero existe la necesidad de considerar estas obras desde el punto de vista ambiental, pensando en resolver las necesidades de hoy pero también las de mañana, de tal manera que su desarrollo no comprometa recursos cuya necesidad se conviertan en problema para el futuro.



REFERENCIAS

- [1] Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente. Decreto 1.257, Gaceta Oficial N° 35.946 del 25 de abril de 1996. Pag. 5
- [2] Canter, Larry. 2000. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental Técnicas para la Elaboración de los Estudios de Impacto. Segunda Edición. Mc. Graw Hill. Madrid. Pag. 660.
- [3] Odum, E. P. 1971. Optimum Pathway Matrix Analysis Approach to the Environmental Decision-Making Process: Test Case. Relative Impact of Proposed Highway Alternatives. University of Georgia, Institute of Ecology, Athens, Georgia. USA.
- [4] Proconsult, C.A. – URVISA - MINFRA. 2005. Evaluación Ambiental de Opciones de Ruta de la Vía Alternativa de Carga No Costanera del Tramo Barcelona-Cumaná. Región Oriental. Caracas. Pag. 12.
- [5] Sumsi i Riera, Carles. 1991. Gestión Ambiental integral de un proyecto ferroviario de alta velocidad. La nueva línea Barcelona-Perpiñan. Tramo hasta la frontera francesa. Fundación de los Ferrocarriles Españoles. Seminario Nuevas Líneas de Alta Velocidad y Medio Ambiente: Una visión integrada. Madrid, España. Pag. 119.
- [6] Proconsult, C.A. - Consultores Asociados Dual Ingeniería, S.A. (CADI, SA) Caracas. 2016. Pag. 30
- [7] Proconsult, C.A. – Consultores Asociados Dual Ingeniería, S.A (CADI, S.A.). 2017. Evaluación Ambiental de las Opciones de Trazado Ferroviario del Tramo Cagua – San Juan de Los Morros.. (CADI, SA) Proconsult, C.A. Caracas. Pag. 24.
- [8] Gómez Orea, Domingo y Gómez Villarino, Mauricio. 2007. Consultoría e Ingeniería Ambiental. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Pag. 177.
- [9] Proconsult, C.A. – Consultores Asociados Dual Ingeniería, S.A (CADI, S.A.). 2016. Evaluación Ambiental de las Opciones de Trazado Ferroviario del Tramo Cagua – Cúa.
- [10] Carrasquel, Mariaemil y Boscán, Leonardo. 2003. Presentación Método del Camino Óptimo. Curso Evaluación de Impacto Ambiental para Ingenieros Viales. UCV. Caracas.