



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA

EL MÉTODO DE LA MATRIZ GRÁFICA PARA LA  
EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS  
OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A

MIGUEL ALEJANDRO JUÁREZ MANJARREZ

DIRECTOR: M. EN I. ENRIQUE CÉSAR VALDÉS

MÉXICO, D. F.

2000



Tciv

284519



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**A la señorita Luz Aguilera Canchola.**

**A ti Luz, que con tu penelopénica paciencia  
has sabido ser el campo fértil donde he sembrado  
mi esperanza, cosechado mi fortaleza y a  
quién profeso humildemente mi amor.**

**Al M. en I. Enrique César Valdés.**

**En agradecimiento a su gran labor docente en la enseñanza  
de la Ingeniería y brindarme generoso apoyo en el  
camino de la Ingeniería Civil y Ambiental.**

**A mi familia:  
Mi Mamá, Guadalupe Manjarrez González.  
Mi Hermano: Gabriel Juárez Manjarrez.**

**Quienes siempre me apoyaron a lo largo  
de todos mis estudios.**

**Para ellos parte de este logro.**

**Al Sr. Juan Aguilera Alcudia  
A la Sra. Margarita Canchola C.  
Quienes me brindaron siempre  
Su mano amable.**

**A todos aquellos  
que creyeron en mí.**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/063/00

Señor  
MIGUEL ALEJANDRO JUAREZ MANJARREZ  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. ENRIQUE CESAR VALDEZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"EL METODO DE LA MATRIZ GRAFICA PARA LA EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS OBRAS DE INGENIERIA CIVIL"

- INTRODUCCION
- I. VISION DE CONJUNTO DE LAS METODOLOGIAS DE EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL
- II. FUNDAMENTOS TEORICOS DEL METEDO SIMPLEX APLICADO AL METODO DE MATRIZ GRAFICA
- III. FUNDAMENTOS TEORICOS Y APLICACIÓN DEL METODO DE MATRIZ GRAFICA
- IV. CASO DE ESTUDIO
- V. CONCLUSIONES
- ANEXOS
- BIBLIOGRAFIA

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

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

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cú. Universitaria 4. 19 de junio de 2000.  
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/GMP/mstg.

<b>INDICE.</b>	<b>Página.</b>
Introducción.....	2
1. Visión de conjunto de las metodologías de evaluación del impacto ambiental	
1.1 Antecedentes.....	4
1.2. Los estudios de impacto ambiental.....	6
1.3 Metodologías para identificar, predecir y evaluar los impactos ambientales.....	12
1.3.1 Procedimientos pragmáticos	
1.3.2 Listados.	
1.3.3 Matrices.	
1.3.4 Redes.	
1.3.5 Modelos.	
1.3.6 Sobreposiciones.	
2. Fundamentos teóricos del método simplex aplicado al método de matriz gráfica.	
2.1 Los sistemas de ingeniería y las funciones de utilidad.....	16
2.2 Las funciones de utilidad multiobjetivo considerando influencia mutua.....	17
3. Fundamentos teóricos y aplicación del método de matriz gráfica.	
3.1 Fundamentos teóricos del método de matriz gráfica.....	23
3.1.1 Análisis de las interrelaciones de los objetivos.	
3.2 Aplicación del método de matriz gráfica para la evaluación del impacto ambiental	28.
3.3 Ejemplo.....	29
4. Caso de estudio.	
4.1 Definición del problema y naturaleza del proyecto.....	33
4.2 Justificación del proyecto.....	34
4.3 Aspectos a evaluarse.....	34
4.4 Selección de una alternativa mediante la aplicación de una matriz de decisión..	35
4.5. Evaluación de la alternativa seleccionada aplicándole el método de matriz gráfica	40
4.6 Resultados obtenidos.....	41
4.7 Conclusiones y recomendaciones respecto al caso de estudio.....	42
5. Conclusiones.....	43
Bibliografía.....	45
Anexos.....	46

## Introducción

En los últimos años, la preocupación por el medio ambiente se ha incrementado debido a los efectos ya perceptibles de las acciones humanas en nuestro entorno.

La conciencia del ser humano le ha dado la certeza de no ser un ente aislado o ajeno a su ambiente, del que a su vez obtiene los recursos necesarios para la manutención de su propia existencia como individuo y como especie.

Las autoridades en los diversos niveles de gobierno tuvieron que atender el clamor popular y enviaron al Congreso de la Unión primero y posteriormente a los congresos estatales, las iniciativas de leyes relacionadas con el medio ambiente y su protección.

En el marco jurídico mexicano, la legislación en materia de protección ambiental había sido escasa hasta la década de los 80's, cuando se inició una política ambiental, acorde a las necesidades de nuestro país, generando con ello una base sólida para que el gobierno federal, actualmente a través de la SEMARNAP y sus organismos desconcentrados, INE, PROFEPA y CNA, pueda llevar a cabo su tarea.

La política ambiental en nuestro país se basa en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y sus reglamentos que en conjunto, proporcionando una adecuada regulación de las empresas e industrias que tienen estrechos vínculos con nuestro entorno.

El objetivo del presente trabajo es el estudio del método de la matriz gráfica para la evaluación del impacto ambiental y la forma en que el mismo se aplica a los estudios, que en sí mismos constituyen una herramienta de planeación, por lo que se han desarrollado diversas técnicas simples y complejas, entre las cuales se cuenta este método.

El Capítulo 1 presenta un resumen de la legislación nacional en materia de impacto ambiental y una visión general de las técnicas más utilizadas para la identificación, predicción y evaluación de los impactos ambientales con el objetivo de visualizar las técnicas y su aplicación.

El Capítulo 2 explica los fundamentos teóricos del método de la Matriz Gráfica y su aplicación, con el objetivo de conocer el método y familiarizarse con el mismo.

El Capítulo 3 tiene el objetivo de presentar los fundamentos del método simplex, para mejor comprensión del método y como ayuda en la toma de decisiones.

En el Capítulo 4 se observará la aplicación del método en un caso de práctico de estudio destacando el área del proyecto y la construcción de una carretera, el objetivo será observar la aplicación en un caso práctico de estudio del método analizado y comprendido.

El Capítulo 5 tiene por objetivo plantear las conclusiones derivadas de la ejecución del presente trabajo así como mostrar los resultados obtenidos.

## Capítulo 1

# Visión de conjunto de las metodologías de evaluación del impacto ambiental.

### 1.1 Antecedentes.

Las medidas para la conservación del ambiente existen en México desde la época precortesiana. Roberto Villaseñor Ángeles (1979) hizo una recopilación sobre algunas de estas disposiciones.

El rey Chichimeca Nopaltzin promulgó normas para restringir la quema de montes y esta acción era castigada con la pena de muerte. Otras reglamentaciones prehispánicas establecían controles sobre el uso de fauna silvestre.

Durante la época colonial se pusieron en práctica normas legales en materia forestal que existían en España; entre ellas, el documento de Las Siete Partidas del Rey Alfonso X, que reglamentaba el uso de los recursos forestales por parte del estado. Como consecuencia del gasto de Carbón y madera ocasionado por la actividad minera virreinal, a lo largo de la colonia se emitieron varias ordenanzas sobre el uso de los bosques y el corte de ciertas especies. Además existían algunas reglamentaciones sobre las actividades de caza y pesca.

Actualmente en México existen leyes y reglamentos destinados a mantener el equilibrio ecológico, como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) publicada el 28 de enero de 1988 y reformada en 1996.

Esta Ley sirve de base a toda reglamentación sobre el establecimiento y mantenimiento de las reservas, protección de especies, etc. Para cada caso en

particular y para cada situación deberá emitirse la reglamentación correspondiente y las formas de regulación más adecuadas para el manejo de cada recurso.

De la LGEEPA emanan el ordenamiento ecológico general y el ordenamiento ecológico local.

Por otra parte, en su sección V se refiere a los estudios de impacto ambiental, considerándolos como un instrumento de planeación. Además establece los tipos de obras o actividades que requieren autorización en materia de impacto ambiental.

En la LGEEPA también se incluyen los estudios de riesgo como instrumento de la política ambiental, en los cuales se establecen las actividades, daños y peligros potenciales que representa una cierta actividad o proyecto y se proponen las medidas de seguridad y prevención de accidentes.

En las modificaciones hechas a la Ley en 1996 se incluyeron las auditorías ambientales, que tienen la finalidad de evaluar el desempeño ambiental de las industrias en aspectos normados y no normados, que constituyen buenas prácticas de ingeniería.

Actualmente se cuenta con cuatro reglamentos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente:

- Reglamento de Impacto Ambiental
- Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica.
- Reglamento de Residuos Peligrosos y
- Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación producida por Vehículos Automotores que Circulan en el D.F. y zona Metropolitana.

La Figura 1.1 muestra el procedimiento administrativo para la autorización en materia de impacto ambiental en la SEMARNAP, mientras que la Figura 1.2 muestra el procedimiento administrativo para la autorización de un estudio de riesgo ambiental.

## 1.2 Los Estudios de Impacto Ambiental.

El objetivo de un estudio de impacto ambiental es obtener información del medio natural y socioeconómico con la cual sea posible predecir los efectos que tendrá un determinado proyecto en su entorno. La cuidadosa evaluación del impacto influirá por ende en la toma de decisiones en la etapa de planeación del proyecto.

La presentación de los estudios de impacto ambiental ante las autoridades se hace mediante el documento denominado Manifestación de Impacto Ambiental (MIA). El reglamento en Materia de Impacto Ambiental publicado en julio de 2000 establece dos modalidades que son la MIA modalidad regional y la MIA en modalidad particular.

Si se considera que el proyecto no causará desequilibrio ecológico ni rebasará los límites y condiciones que se estipulan en los reglamentos y normas oficiales mexicanas en la materia, el promovente de un proyecto puede presentar, un Informe Preventivo, para ser evaluado por el Instituto Nacional de Ecología (INE)..

Como resultado de este informe, la Dirección General de Normatividad del INE puede resolver que no es necesaria la realización de un estudio de impacto ambiental, o bien solicitar la presentación de una Manifestación de Impacto Ambiental en alguna de sus modalidades.

El aspecto más difícil de llevar a la práctica en toda ley y reglamento no es el de idearlos y aprobarlos, sino de hacer que tengan una validez en la práctica y que sean respetados y ejecutados en la forma en que fueron concebidos.

Para lograr esto, lo más importante es que la población conozca los motivos por los cuales existen y la importancia de su aplicación y respeto. Además, es necesario modificar las condiciones socioeconómicas que han conducido hasta ahora a la destrucción acelerada del ambiente.

### Procedimiento.

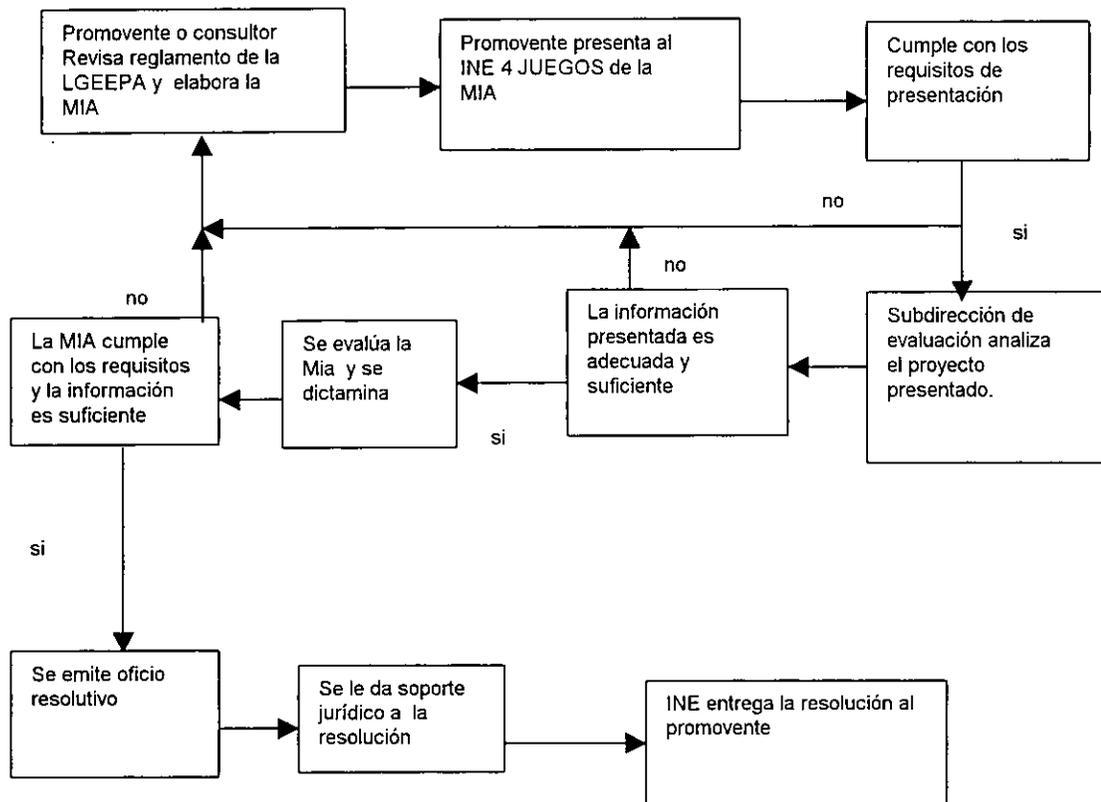


Figura 1.1 Procedimiento para una evaluación de impacto ambiental

Fuente: Dirección general de investigación y desarrollo tecnológico, INE, 1994.

### Procedimiento.

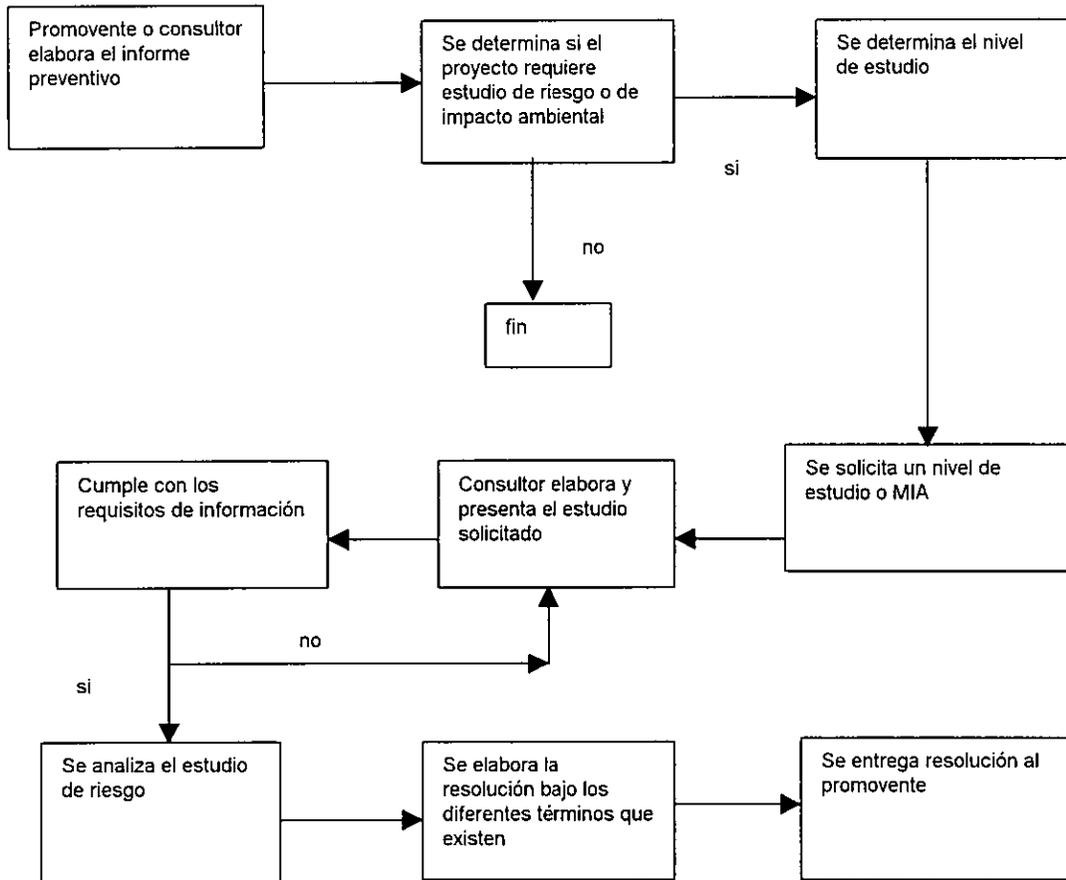


Figura.1.2 Procedimiento para la presentación de un estudio de riesgo

Fuente: Dirección general de investigación y desarrollo tecnológico, INE, 1994.

En general, una Manifestación de Impacto Ambiental incluye los siguientes temas:

- Descripción del ambiente del sitio donde se llevará a cabo el proyecto.
- Descripción del proyecto en sus diferentes etapas.
- Identificación, evaluación y predicción de las alteraciones posibles.
- Formulación de las medidas de mitigación y prevención.
- Formulación de programas de control y supervisión.
- Especificación de impactos residuales.

Los estudios con base en los cuales se integra la MIA se efectúan en las tres etapas generales siguientes:

1.-Descripción del escenario ambiental y de las características del proyecto y sus actividades.

Para la descripción del proyecto se requiere recopilar información específica, incluyendo su localización y características de diseño, principalmente de los componentes que se estime puedan ocasionar impactos sobre el ambiente. El nivel de detalle de la información depende del tipo de proyecto.

Además, en la descripción del ambiente afectado se incluyen parámetros fisicoquímicos, biológicos, culturales y socioeconómicos. Esta descripción se hace con datos cualitativos y para varios factores ambientales se requieren datos cuantitativos específicos. También resulta conveniente recopilar información de la tendencia histórica del ambiente de la zona en estudio. Sin embargo, es importante considerar que el desarrollo de un proyecto afectará en forma más o menos intensa el ambiente, por lo general siempre de manera distinta a las perturbaciones que dicho sistema haya sufrido en su historia, originadas por las acciones humanas.

2.-Identificación, predicción y evaluación de los impactos que producirá el proyecto.

La información requerida para el desarrollo de esta actividad se relaciona con aquellas medidas que se pueden aplicar para reducir los impactos adversos sobre el ambiente ocasionados por el proyecto propuesto. Además se identifican los impactos no factibles de eliminar, denominados residuales, que se tendrán sobre el ambiente por la construcción y operación del proyecto.

En esta actividad se recopila información tanto genérica relacionada con medidas de mitigación como específica relativa al tipo de proyecto en particular.

3.- Recomendaciones y propuesta de las medidas de mitigación y prevención de los impactos adversos.

La etapa 2 es la que más recursos y tiempo demanda y tiene los siguientes objetivos:

- Identificar los impactos.

La identificación consiste en visualizar separadamente las actividades que involucra el proyecto para determinar las que ocasionan impactos en el ambiente. Se realiza un descripción del sistema ambiental existente y se determinan las actividades definiendo las alteraciones causadas.

- Predecir los impactos.

Predecir, es decir a futuro cuál es la forma y extensión de los impactos ocasionados por las actividades del proyecto cuantificando su magnitud, estimando las alteraciones significativas y la probabilidad de que se presenten.

Esta actividad, que representa la etapa técnica fundamental del estudio, requiere de información cualitativa relacionada con los tipos de impacto e información cuantitativa de los factores unitarios del impacto. Además es necesario

aplicar técnicas de predicción y modelos y recopilar la información básica requerida para su utilización.

- Evaluar los impactos.

En esta etapa se evalúan los impactos cuantitativa y cualitativamente, determinando la forma de medirlos para tomar alguna decisión al respecto, que puede ser:

- a) Diseño de medidas de mitigación y prevención; y
- b) Optar por otra alternativa que genere menos impactos adversos y de magnitud menor.

Esta evaluación también implica factores socioeconómicos al analizar la relación costo/beneficio.

### 1.3 Metodologías para identificar, predecir y evaluar los impactos ambientales.

Para cumplir con los objetivos de identificar, predecir y evaluar los impactos se pueden utilizar uno o más de los diversos métodos que se han desarrollado y que a continuación se describen.

La clasificación más utilizada y que más ampliamente es aceptada, divide a los métodos en los siguientes grupos:

- Procedimientos pragmáticos.
- Listados.
- Matrices.
- Redes .
- Modelos y

- Sobreposiciones.

### 1.3.1 Procedimientos pragmáticos

Este método consiste en la integración de un conjunto de profesionales especializados en diferentes áreas con el fin de identificar de viva voz los impactos en cada área o factor ambiental determinado y sus interrelaciones.

### 1.3.2 Listados.

Los listados consiste en una lista base de todos los impactos evaluados de proyectos anteriores, seleccionando y evaluando aquellos esperados para el proyecto en cuestión. Se distinguen cuatro tipos: simples, descriptivos, de escala y de escala y peso.

### 1.3.3 Matrices.

Son listados de las actividades de un proyecto y de los impactos ocasionados, los cuales se colocan en renglones o columnas de la matriz; con ello se pueden identificar las diferentes interacciones y relaciones de las actividades con los factores ambientales.

La mayor parte de los sistemas de matrices utilizan una escala que permite evaluar los impactos a diferentes niveles de intensidad aunque puede asignarse una calificación arbitraria a cada celda de la matriz.

En una matriz ponderada se desea evaluar la magnitud de cada impacto y su importancia.

La magnitud se refiere a la escala, extensión o el grado del impacto. La importancia se refiere a la ponderación de una acción en particular sobre un factor ambiental específico.

La Figura 1.4 muestra un ejemplo de una matriz de evaluación.

### 1.3.4 Redes

Las redes son un sistema de evaluación en el que se trata de evidenciar las diferentes formas de relación de los factores ambientales como consecuencia de un impacto, que puede ser primario, secundario o terciario. Estas redes tratan de establecer las relaciones causa-condición-efecto permitiendo observar los impactos directos e indirectos; se plantean en forma de árbol.

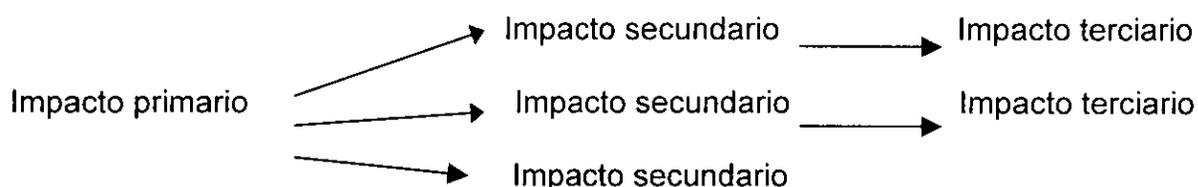


Figura 1.3 Ejemplo de una red de impactos.

### 1.3.5 Modelos

Los modelos son métodos de predicción. Se utilizan herramientas proporcionadas por la física y las matemáticas para tratar de “simular” o formar una representación matemática del comportamiento de un fenómeno determinado.

El método de la matriz gráfica, objeto del presente trabajo, pertenece a este grupo de métodos, puesto que hace uso de las matemáticas y métodos de optimización de alternativas como el simplex y computacionales combinados con las matrices.

### 1.3.6 Sobreposiciones

Las sobreposiciones son métodos empleados para proyectos de la envergadura de una autopista, vía férrea, oleoducto o gasoducto y línea de transmisión de energía eléctrica. Por ello se les considera útiles para planificación y ordenamiento del territorio.

Se opera sobreponiendo el proyecto en mapas temáticos con el fin de identificar los impactos.

MANIFESTACION DEL IMPACTO AMBIENTAL														
Matriz de Evaluación de los Impactos Ambientales														
Elementos o características susceptibles de ser impactados	características de los impactos						determinación				evaluación			
	b e n e f i c o	a d v e r s o	d i r e c t o	i n d i r e c t o	t e m p o r a l	p e r m a n e n t e	m e d i d a	m i t i g a c i ó n	f a c i l i d a d	r e c u p e r a c i ó n	c o m p a t i b l e	m o d e r a d o	s e v e r o	c r i t i c o
AIRE														
AGUA														
SUELO														
FLORA														
FAUNA														
SOCIOECONÓMICOS														

Fig.1.4 Matriz de Evaluación.

## Capítulo 2

# Fundamentos teóricos del Método Simplex aplicado al Método de Matriz Gráfica para la Evaluación del Impacto Ambiental.

El método simplex de optimización fue desarrollado en la Segunda Guerra Mundial donde el manejo, disposición, transporte y logística de los diferentes recursos era indispensable para la victoria y el éxito de las misiones.

En tiempos de paz, estos métodos fueron utilizados para la optimización de recursos en fábricas, rutas de transporte y logística.

El método simplex fungió como base para posteriores métodos que, con el avance tecnológico dado por las computadoras cada vez más rápidas y eficientes, hacen más fácil la tarea de optimizar recursos y proveen las herramientas para la toma de decisiones.

### 2.1 Los sistemas en ingeniería y las funciones de utilidad.

Un sistema en la ingeniería es un conjunto de elementos que se encuentran interconectados para funcionar como un todo. Los sistemas son muy utilizados dentro en la práctica de la ingeniería civil, debido a su aplicación como herramientas técnicas en el uso de los recursos disponibles.

La función objetivo representa la forma en que los diferentes recursos, acciones o alternativas se relacionan e interactúan entre sí; de la misma forma, las funciones objetivo deben relacionar las diferentes restricciones de cada elemento que interviene. Las contribuciones de los elementos también deben reflejarse en la

función objetivo que los representa, así como, de igualdad, desigualdad o de un intervalo. La función de utilidad puede ser de dos tipos:

- Función de utilidad uniobjetiva.
- Función de utilidad multiobjetiva.

## 2.2 La función de utilidad multiobjetiva considerando influencia mutua.

Las alternativas en un problema de decisión se caracterizan por tener varios objetivos  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , en los que hay que evaluar sus requerimientos para construir una función de utilidad con múltiples objetivos. Los valores de los objetivos se representan por un vector  $X=(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ . A estos valores se les agregan condiciones de independencia.

El total de una función de utilidad  $U(x)$  se puede representar por la suma de las funciones utilidades dadas a cada alternativa, es decir

$$U(x) = \sum_{i=1}^n W_i U_i(X_i) \quad (2.1)$$

donde  $W=(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$  es un vector n-dimensional que muestra la importancia relativa entre los objetivos, esto es, el peso de cada uno.

Los autores Keener y Al han desarrollado la teoría de funciones de utilidad multiobjetiva, bajo algunas condiciones.

Las condiciones suficientes y necesarias para que una función de utilidad multiobjetiva lo sea, es que pueda representarse como una función de las funciones de utilidad de cada objetivo

$$U(x_1, x_2, \dots, x_n) = f(U_1(x_1), U_2(x_2), \dots, U_n(x_n)) \quad (2.2)$$

Una vez que esto es posible, se puede obtener la función de utilidad deseada siguiendo estos pasos : primero se identifica la función de utilidad para cada objetivo o acción del proyecto.

Posteriormente, se compone el total de la función y también se considera la función de la siguiente forma

$$U(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n W_i U_i(x_i; x_i) \quad (2.3)$$

Esto en la práctica resulta difícil por lo que se establece el procedimiento siguiente:

1.- Se realiza un cambio en la forma de la función utilidad causada por los cambios de los atributos en sus niveles, mientras, esto se compensa modificando el vector de pesos  $W$ .

2.- Se denota un valor nominal de  $x$  por  $x^\wedge$  alrededor de la cual la función de utilidad es considerada poniendo

$$x = x^\wedge + \mathbf{Dx} \text{ y } \mathbf{Dy}_i = U_i(x_i; x_i^\wedge) - U_i(x_i^\wedge; x_i^\wedge) \text{ , } i = 1, 2, \dots, n \quad (2.4)$$

3.- Este cambio en la  $i$ -ésima función de utilidad causado por  $\mathbf{Dx}_i$  es denotado por  $dU_i$ , entonces

$$dU_i = a_{ij} \mathbf{Dy}_j \quad (2.5)$$

Donde  $a_{ij}$  es un coeficiente que representa el arreglo de influencia de  $i$  a  $j$

Este cambio implica que debemos considerar nuevos pesos dados por

$$W_i + \sum_{j \neq i} a_{ij} W_j \quad (2.6)$$

En este trabajo se ilustrará el caso de dos objetivos.

Si  $A(x_1^A, x_2^A)$  es un punto esencial en el juego de alternativas  $X$  y considerando dos puntos  $B(x_1 + Dx_1, x_2 + Dx_2)$  y  $C(x_1, x_2 + Dx_2)$  que están cerca de  $A$  se tienen los coeficientes de influencia asumiendo que  $a_{12} > 0$  y  $a_{21} = 0$  y la modificación de pesos hacen a los vectores  $U(B) > U(C)$ .

Estos incrementos en la función de utilidad son aproximadamente

$$U(B) - U(A) = w_1 Du_1 + w_2 a_{12} Du_1 \quad \text{y} \quad U(C) - U(A) = w_2 Du_2 \quad (3.7)$$

mostrado en la Figura.2.1

$$U(B) - U(A) = (w_1 + a_{12} w_2) Du_1 \quad \text{y} \quad U(C) - U(A) = w_2 Du_2 \quad (3.8)$$

mostrado en la Figura.2.2

Este desarrollo y lo explicado anteriormente puede apreciarse en las siguientes Figura 2.1 y Figura 2.2.

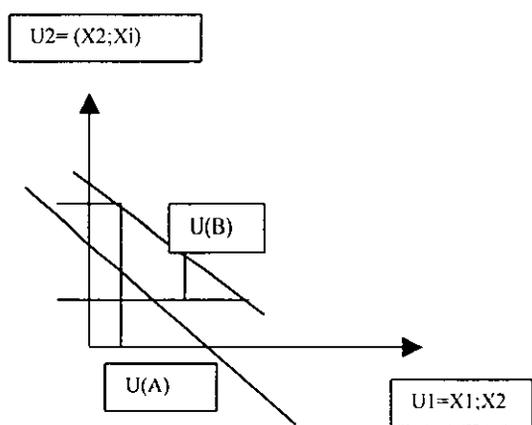


Figura. 2.1 Vectores sin afectar

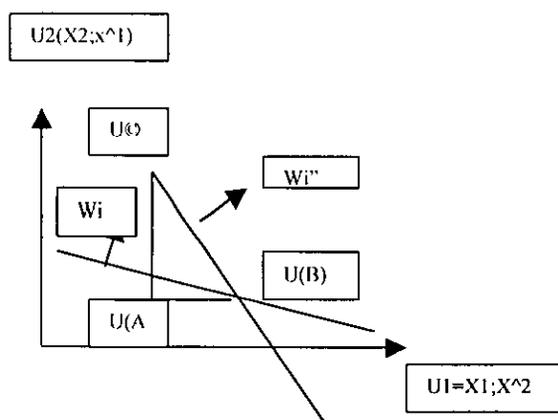


Figura.2.2 Vectores modificados

El algoritmo computacional del método simplex puede apreciarse en la Figura 2.3 y en la misma figura se representa el algoritmo en su forma de operación manual.

#### Algoritmo manual del método simplex

- 1.- Cálculo de  $X^0$ .
- 2.- Cálculo de  $Z^0 = X_1^0 C_1 + X_2^0 C_2 + \dots + X_m^0 C_m$ .
- 3.-  $Z_j = a_{1j}C_1 + a_{2j}C_2 + \dots + a_{mj}C_m = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj})$ .
- 4.- Obtener  $Z_j - C_j$ .
- 5.- si  $Z_j - C_j \leq 0$  ; para todos la solución es óptima.
- 6.- Si  $Z_j - C_j > 0$  para algún  $j$ ; iterar al paso 1.

Para maximizar se elige pivote de los  $Z_j - C_j$  de los negativos el mayor en  $|Z_j - C_j|$ .

Para minimizar se elige pivote de los  $Z_j - C_j$  de los positivos el mayor en  $|Z_j - C_j|$ .

### Método simplex computacional

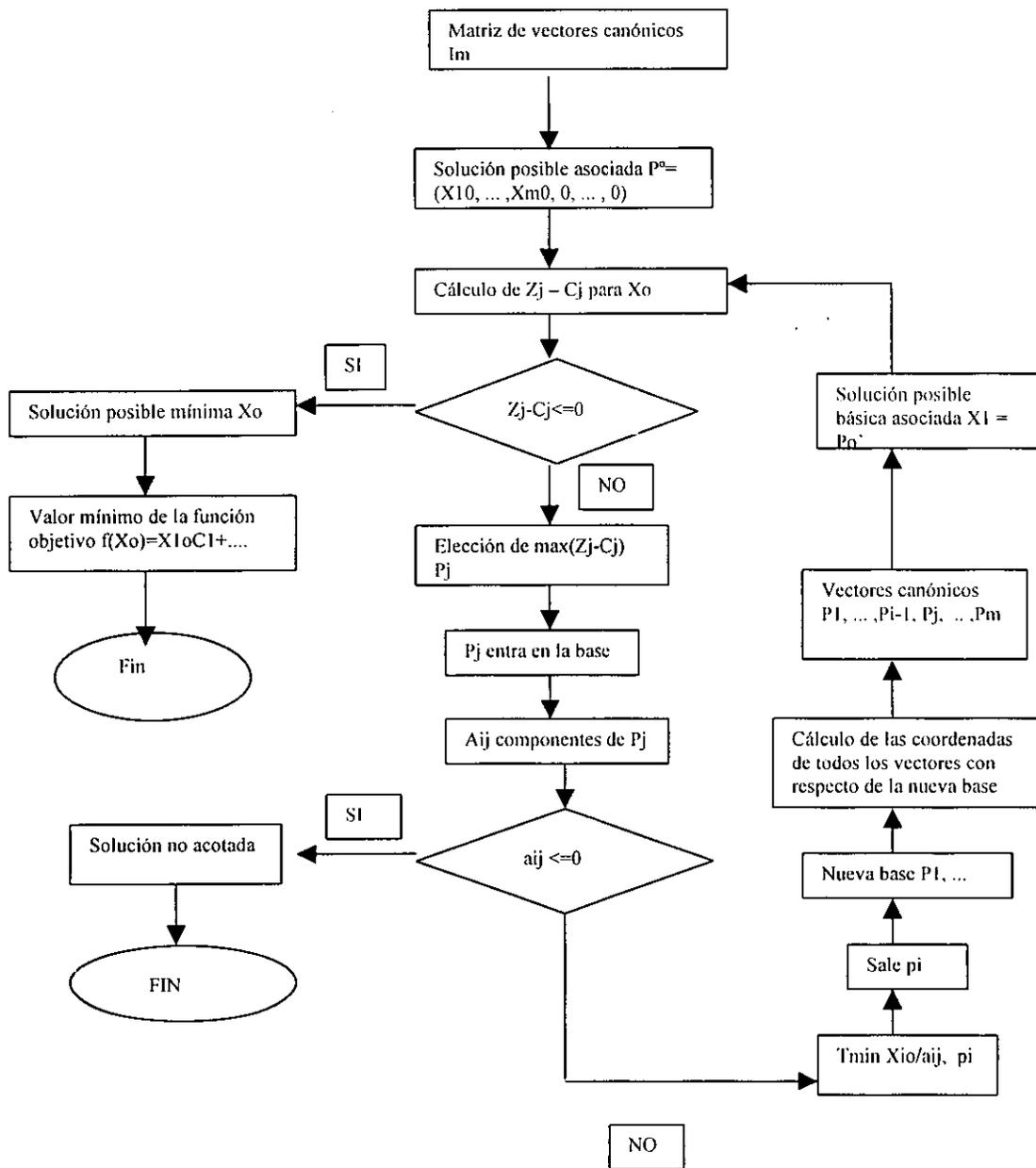


Figura.2.3 Método Simplex

## Capítulo 3.

### **Fundamentos Teóricos y Aplicación del Método de Matriz Gráfica.**

La calidad de algunos bienes naturales tiene mucha influencia en la salud de las personas.

El empeoramiento de la calidad del aire debido principalmente a las emisiones de automóviles aumenta la incidencia de enfermedades respiratorias como el asma o bronquitis.

Por otro lado, la contaminación del agua puede provocar intoxicaciones, dermatitis, enfermedades gastrointestinales tanto por el contacto directo como indirecto.

Además, la presencia de suelos contaminados trae consigo consecuencias catastróficas tanto para el ser humano como para su ambiente.

Es evidente por tanto que ante el hecho de que muchos de los cambios en la calidad del ambiente han sido propiciados por el hombre, éstos tienen o tendrán una fuerte incidencia en la vida de las personas.

El método de la matriz gráfica hace posible cuantificar los impactos que una cierta actividad humana tiene sobre el ambiente.

En este sentido, el contar con métodos que evalúen el perjuicio o el beneficio de un proyecto resulta de gran importancia para el desarrollo de las personas y para asegurar el correcto uso de los recursos y para propiciar el desarrollo sustentable.

### 3.1 Fundamentos teóricos del método de matriz gráfica.

En el campo de los estudios de evaluación ambiental es esencial el análisis de los impactos que tiene una acción sobre el ambiente.

Una alternativa o acción es una forma de decidir lo concerniente con la planeación, el diseño, la construcción o la manipulación de un sistema ambiental.

El proceso de planteamiento usualmente utilizado para la evaluación ambiental consta de cinco pasos distintivos

- 1.- Definición de la finalidad.
- 2.- Descomposición de la finalidad en objetivos.
- 3.- Estructuración y ponderación de los objetivos.
- 4.- Clasificación de las alternativas.

Los tres primeros pasos se refieren al análisis de la finalidad y objetivos y al análisis de las interrelaciones de complejidad de los objetivos relacionados en el proceso.

Los otros dos pasos se refieren a la evaluación numérica de cada alternativa y a la selección de la mejor.

Sin embargo, la evaluación depende del juicio de valor del decisor, es decir, que dependiendo del punto de vista del evaluador, tendrán un mayor o menor peso y no un valor numérico objetivo.

Es en este caso que se recurre a la teoría de utilidad con multiatributos, la cual es una herramienta que permite evaluar más eficientemente las alternativas considerando las interrelaciones de cada acción.

Las funciones de utilidad de multiatributos fue propuesta por Keener y las suposiciones en las que se basa pueden inspeccionarse aun en problemas complejos.

La estructura jerárquica de los objetivos se coloca en un solo diagrama de árbol, aunque no siempre se puede realizar esto, por lo que se recurre a unos ciclos dentro del diagrama de árbol, uniendo los objetivos interrelacionados.

### 3.1.1 Análisis de las interrelaciones de los objetivos.

En general ciertos objetivos son más importantes que otros al determinar la finalidad. Esta importancia se expresa mediante la asignación de un peso a cada objetivo y este peso se usa para indicar la importancia relativa entre los objetivos.

Esta importancia relativa se determina mediante dos tipos de juicios

- El primero es un juicio subjetivo o un juicio de preferencias en el que se expresa qué tan importante es una alternativa en sí misma para la finalidad establecida.
- El segundo es una medida de la importancia de un juicio de alternativas con base en las relaciones con los otros objetivos, es decir, que un cierto objetivo puede ser más importante que otros en el sentido de que el logro de este objetivo contribuye más al logro de los otros.

En el campo de la evaluación ambiental las interrelaciones de los objetivos se determinan comúnmente con una matriz de soporte cruz donde  $g_i=(1,2,3,\dots,n)$  es el  $i$ ésimo objetivo, mientras que  $a_{ij}$  representa la contribución de los objetivos  $g_i$  a los objetivos  $g_j$ .

El arreglo total de la distribución de objetivos  $g_i$  a todos los objetivos  $g_j$  está dado por

$$G = \sum_{j=1}^n a_{ij}(i \neq j) \quad (3.1)$$

La contribución  $a_{ij}$  dada por una asociación de valores numéricos se establece mediante una escala objetiva como sigue, mayor contribución  $a_{ij} = 8$  ; considerable contribución  $a_{ij} = 4$  ; alguna contribución  $a_{ij} = 2$  poca contribución  $a_{ij} = 0$ .

Si los efectos son negativos, entonces la escala se puede usar considerando signos negativos

El peso ponderado de los objetivos se obtiene como

$$V_i = G_i / \sum_{i=1}^n G_i \quad (3.2)$$

Esto refleja la importancia relativa entre los objetivos; sin embargo, la matriz de aproximación usualmente utilizada tiene la desventaja de no tomar en cuenta los efectos indirectos entre los objetivos considerados, esto es, que si un objetivo  $g_i$  contribuye al objetivo  $g_j$  y este a su vez contribuye al objetivo  $g_k$ , es lógico entonces que el objetivo  $g_i$  contribuye al objetivo  $g_k$  indirectamente.

La matriz que expresa estas consideraciones es la mostrada en la figura. 3.1

	$g_1$	$g_2$	...	$g_j$	...	$g_n$
$g_1$		$a_{12}$		$a_{1j}$		$a_{1n}$
$g_2$	$a_{21}$			$a_{2j}$		$a_{2n}$
...						...
$g_i$	$a_{i1}$	$a_{i2}$		$a_{ij}$		$a_{in}$
$g_n$	$a_{n1}$	$a_{n2}$		$a_{nj}$		

Figura. 2.1 Matriz de importancias relativas entre objetivos

3

Si ahora se definen las matrices de influencias por D donde se muestran las influencias en las que  $d_{ij} = S \cdot a_{ij}$ , observando en este arreglo a la matriz de influencias A y la nueva matriz D que contiene un factor de escala "s". También debe notarse que la suma del renglón de la matriz dada por

$$dis = \sum_{j=1}^n dij \quad (3.3)$$

determina el arreglo de la influencia de un objetivo  $g_i$  hacia todos los demás objetivos, siendo algo similar en la suma de columna

$$dsj = \sum_{i=1}^n dij \quad (3.4)$$

la cual representa el arreglo de la influencia directa recibida de todos los otros objetivos.

Si se realiza la siguiente operación matricial

$$dij^2 = \sum_{k=1}^n dik * dkj \quad (3.6)$$

Se puede ver que  $D^2$  muestra las influencias del objetivo  $g_i$  al objetivo  $g_j$  a través de todos los demás objetivos  $k$ , lo que provee de las influencias indirectas entre los objetivos. Esto quiere decir que las influencias indirectas pueden ser representadas por el producto de dos influencias directas.

De este modo  $D^m$  representa el arreglo de  $m$ ésimo orden de las influencias indirectas entre los objetivos  $g_i$ .

De lo anterior es posible hacer la suma siguiente

$$D + D^2 + \dots + D^m = \sum_{i=1}^m D^i \quad (3.7)$$

que muestra la suma de las influencias directas e indirectas subiendo hasta el orden m.

Si ahora se hace a  $D^m$  tender a cero, conforme m va a infinito, se tiene

$$F = D(I-D)^{-1} \quad (3.8)$$

donde I es la matriz identidad y F es la matriz de influencia directa e indirecta que mide los efectos directos e indirectos entre los objetivos.

La matriz H da la medida de los efectos indirectos entre los objetivos y está dada por

$$H = D^2(I-D)^{-1} \quad (3.9)$$

y la suma iésima de la matriz de efectos directos e indirectos da el total de las influencias directas e indirectas para un objetivo  $g_i$  y se dan por

$$F = [f_{ij}] \quad (2.10), \quad F_{is} = \sum_{j=1}^n f_{ij} \quad (3.11) \quad \text{y}$$

$$F_{sj} = \sum_{i=1}^n f_{is} \quad (3.12)$$

de este modo el peso  $W_i$  está dado por

$$W_i = f_{is} / \sum f_{is} \quad (3.13)$$

dando el peso normalizado entre los objetivos  $g_i$  desde la influencia directa e indirecta para determinar la matriz  $A$ .

En la teoría de matrices se dice que la serie  $F$  converge a  $D(I-D)^{-1}$  si el radio espectral de la matriz  $D$  es menor que 1 y está dado por

$$P(D) = \max\{1 \leq i \leq n\} S / |a_{ij}| \quad (3.14)$$

Estos números estimados en la construcción de  $P(D)$  sugieren que el factor de escala  $S$  debe seleccionarse del siguiente intervalo:  $0 < S < S_{\text{sub}}$  en donde  $S_{\text{sub}}$  está dado por:

$$S_{\text{sub}} = 1 / |a_{ij}| \quad (3.15)$$

Ajustando  $S$  podemos controlar el arreglo de transitividad o efectos indirectos, de este modo, si el valor de  $S$  seleccionado es el más pequeño, los efectos directos son más sobresalientes que los efectos indirectos.

### 3.2 Aplicación del método de la matriz gráfica para la evaluación del impacto ambiental.

Una de las más difíciles e importantes tareas en los estudios de impacto ambiental de cualquier obra de ingeniería es evaluar cuantitativamente las alternativas dadas. La evaluación en este sentido puede hacerse usando el juicio de valor del decisor.

Por lo anterior la estructura jerárquica en el valor de los objetivos y las alternativas debe especificarse bien.

La evaluación de las alternativas dadas se representa por el valor total de la función de utilidad en la que cada alternativa tiene varios objetivos.

La función de utilidad correspondiente para cada objetivo se puede definir con la ayuda de la teoría de utilidad multiobjetiva.

La forma en que la matriz gráfica se aplica a un cierto proyecto se ha explicado en la parte previa relativa a la conformación de la matriz y la forma de componer y obtener las diferentes funciones de utilidad que relacionan las alternativas y el peso que cada alternativa u objetivo tiene, considerando influencia mutua como realmente sucede en los proyectos.

El siguiente es un ejemplo de aplicación del método en un problema urbano.

Ejemplo 3.1
-------------

Se requiere evaluar los impactos que tendrá en el ambiente el proyecto de la construcción de una unidad habitacional dentro de un área urbana. Considérense los aspectos de salud pública, contaminación ambiental, estancia de personas, transporte, asentamientos vecinos, habitación, educación y cultura, los cuales integran el ambiente urbano. La criminalidad en este sentido, también tiene un impacto en los otros elementos citados y por el hecho de encontrarse el desarrollo al lado de un área con uso de suelo industrial ocupado por una fábrica de insecticidas en una avenida importante, el factor desastre también debe evaluarse.

El proceso de solución es el que se muestra a continuación.

Para tal efecto se desarrollará una matriz de soporte como la que se muestra en la Figura 3.2.

Matriz de soporte del ejemplo 3.1.

	<i>objetivo</i>	<i>Salud</i>	<i>Contaminación</i>	<i>Desastre</i>	<i>Crimen</i>	<i>Estancia</i>	<i>transporte</i>	<i>Vecindario</i>	<i>Habitación</i>	<i>Educación</i>	<i>Cultura</i>	<b>SUMA</b> <b>216</b>
1	<i>Salud</i>		2		2		8		2	2	2	<b>18</b>
2	<i>Contaminación</i>	8		4		8	8	4	2	2	4	<b>40</b>
3	<i>Desastre</i>	2				4	4	2				<b>12</b>
4	<i>Crimen</i>	2				2	4			2		<b>10</b>
5	<i>Estancia</i>	8	2	4	2		2			2	2	<b>22</b>
6	<i>Transporte</i>	4	2	8	4	2		4		2	2	<b>28</b>
7	<i>Vecindario</i>	2	4	2		2	8			2	4	<b>24</b>
8	<i>Habitación</i>	4		2	2	8	4	2		4	8	<b>34</b>
9	<i>Educación</i>	2	2				2		2		2	<b>10</b>
10	<i>Cultura</i>	4				2	4	2	2	4		<b>18</b>

Figura.3.2

La matriz anterior es la matriz de soporte con los impactos identificados para cada objetivo empleando un método tradicional de evaluación.

Cuadro 3.1

Tabla comparativa de los resultados  
de aplicar los diferentes métodos al ejemplo 3.1.

Objetivo	Juicio del decisor $W_i$	Matriz de soporte $W_i'$	Método de matriz gráfica $W_i''$
1	0.112	0.0849	<b>0.0895</b>
2	0.147	0.1698	<b>0.1644</b>
3	0.074	0.0566	<b>0.0601</b>
4	0.074	0.0472	<b>0.0427</b>
5	0.112	0.1038	<b>0.1089</b>
6	0.112	0.1321	<b>0.1263</b>
7	0.147	0.1132	<b>0.1185</b>
8	0.074	0.1604	<b>0.1545</b>
9	0.074	0.0472	<b>0.0524</b>
10	0.074	0.8490	<b>0.0794</b>

En la tabla comparativa se pueden apreciar los resultados de la aplicación del método tradicional de matriz de soporte y del método de Matriz Gráfica además de una evaluación de un experto aquí denominado "decisor".

Nótese que los resultados indican la precisión del resultado cuantitativo al evaluar los impactos indicando perfectamente la importancia relativa entre cada uno.

Es posible reconocer aquí las interrelaciones de los objetivos, aunque la simple suma del valor de cada función, multiplicada por los pesos apropiados  $W$ , no se considera adecuada para expresar cuantitativamente el valor correcto. Es por ello que se toma un peso que considera las interrelaciones de los artículos basados en las consideraciones anteriores.

En el Cuadro 3.1 los pesos originales fueron obtenidos normalizando el valor algebraico basado en un cuestionario hecho a un decisor.

En la figura 3.2, los pesos originales fueron obtenidos de acuerdo con el juicio de valor de un decisor y muestran el arreglo de la contribución directa de cada objetivo a la meta final y no toman el efecto de influencia mutua entre los objetivos considerados.

El análisis de la matriz de soporte cruz proporciona las relaciones directas entre los objetivos, dado por

$$W_i = a_{ij} W_j / \sum a_{ij} W_j \quad (3.16)$$

En la Figura 2.2 se pueden reconocer algunas diferencias entre  $W$  y  $W'$  en los valores de los objetivos. Para  $W'$ , el método de la matriz gráfica toma las interrelaciones directas e indirectas de los objetivos; mientras la matriz de elementos  $d_{ij}$  se modifica como sigue

$$d_{ij} = s a_{ij} W_j \quad ; \text{ donde } s = y / \max a_{ij} W_j \quad (3.17)$$

Debe notarse que el valor numérico asignado con estos pesos sólo dan un rango estimado de la importancia relativa entre los objetivos y por ende, una pequeña diferencia entre los pesos no refleja significativamente la importancia relativa entre cada objetivo.

## Capítulo 4.

### Caso de Estudio.

#### Construcción de una Carretera de dos carriles.

El objetivo de este capítulo es aplicar el método de matriz gráfica a un problema de selección de la alternativa más adecuada para la realización de un proyecto.

En este problema se tienen tres alternativas para el trazo y construcción de una carretera de dos carriles entre dos ciudades y se pide decir cuál es la más conveniente. Para ello se construirá una matriz de decisión que incluya las tres alternativas para seleccionar aquella que ocasione el menor impacto adverso para el ambiente y sea la de mayor impacto benéfico.

Además de la aplicación del método se aplicará un método tradicional de evaluación para comparar los resultados.

#### 4.1 Definición del problema y naturaleza del proyecto.

Se requiere evaluar el impacto ambiental que tendrá la construcción de una carretera que unirá dos localidades de 100,000 habitantes pasando por la sierra madre oriental y que contará con dos carriles con sentidos de circulación opuestos y construida con métodos tradicionales.

Para tal efecto en los estudios previos para la selección del sitio se proponen tres alternativas de trazo bajo condiciones similares en costos de construcción, operación y mantenimiento.

Ninguna de las alternativas considera el mejoramiento de un camino existente.

A largo plazo se incrementará hasta cuatro carriles de tránsito divididos en dos sentidos.

La construcción de esta carretera se realizará con mano de obra de las ciudades cercanas, utilizando bancos de materiales ya localizados y con maquinaria para operaciones específicas, utilizando pavimento de concreto hidráulico con juntas.

#### 4.2 Justificación del proyecto.

Este proyecto beneficiará a las dos ciudades más cercanas en el transporte de productos perecederos de las zonas agrícolas a las zonas industriales, permitiendo darles un valor agregado.

También favorece un mejor transporte hacia los centros de consumo, más rápido, seguro y confiable que el que se tiene en la actual carretera cuya vida útil agregada es de ocho años con índice de servicio muy bajo.

Con la construcción de esta carretera además del beneficio directo a los dos centros de población, se favorece el desarrollo de la región al contar con mejor transporte, más rápido y confiable con menores tiempos de recorrido y facilita el transporte multimodal de mercancías, contando con un costo de mantenimiento bajo, haciéndola una inversión de alta vida económica.

#### 4.3 Aspectos a evaluar.

Los aspectos a evaluar por la matriz de decisión para seleccionar una alternativa son: acceso de mercado, nivel de servicio, provisión de servicios públicos, reubicación de casas, costos de operación, contaminación por ruido y reubicación de empresas.

Estos factores se eligieron por ser considerados como preponderantes para justificar la erogación de recursos y de proveer un impacto benéfico para la región.

Una vez seleccionada la alternativa con base en los aspectos mencionados, se aplicará el método de Matriz Gráfica evaluando las características ambientales propias del proyecto.

#### 4.4 Selección de una alternativa mediante una matriz de decisión.

En el cuadro 4.1 se presentan las alternativas a evaluar y sus elementos.

Cuadro 4.1

Elementos para evaluar las alternativas.

<b>Elementos</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa3</b>
Acceso de mercado	10	6	8
Nivel de servicio	3	10	6
Provisión de servicios Públicos	8	6	10
Reubicación de casas	6	10	3
Costos de operación	2	2	2
Contaminación por ruido	10	6	4
Reubicación de empresas	4	7	10
Suma	43	47	43

Como es posible apreciar en el Cuadro 4.1, las alternativas son evaluadas desde los aspectos socioeconómicos más impactados. Así, la evaluación de las alternativas debe hacerse tomando en cuenta todo el abanico de posibilidades y matices tanto en los aspectos del medio físico, biológico y socioeconómico que son impactados, con el fin de tener una mejor evaluación al conocer los efectos sobre todos los aspectos involucrados y elegir la mejor opción.

Las pruebas realizadas a una matriz de decisión resultan útiles por los siguientes motivos:

- 1.- Los test de rangos no se basan en asunciones sobre distribuciones estadísticas en términos de normalidad, varianza, etc.
- 2.- Tales test permiten el uso de datos basados en sistemas cualitativos y cuantitativos.
- 3.- La aplicación computacional es sencilla.
- 4.- Los test pueden usarse con muestras reducidas o conjuntos de información.
  - Las alternativas comparadas arriba se deben someter a la hipótesis de que no son diferentes estadísticamente para entonces elegir la de mayor impacto; en caso de serlo, se analizarán las tres opciones aplicándole a cada una el método de Matriz Gráfica por separado.

Para tal efecto se deben seguir los siguientes pasos:

- Asignar los números de jerarquía a cada objetivo para factor de decisión de 1 para el menor hasta 3 para el mayor.
- Sumar los números de jerarquía.

- Calcular chi-cuadrado como

$$X^2 = \left[ \frac{12}{n(k)(k+1)} \sum_{j=1}^k R_j^2 \right] - 3(n)(k+1)$$

donde n= # de filas; k=# de columnas y Rj= suma de los números de jerarquía.

- Comparar la chi-cuadrado calculada con la chi-cuadrado de la tabla del Anexo 1 que representa un 95 % de confianza. Si la chi-cuarado calculada es igual o menor que la de la tabla, entonces se confirma la hipótesis; inversamente, si es mayor que la de la tabla entonces se dice que sí existe diferencias significativas entre las alternativas. Este proceso puede apreciarse en el Cuadro 4.2.

Cuadro 4.2

Aplicación de la matriz de Decisión.

Factor de decisión	A1	A2	A3
1	3	2	2.5
2	1	3	2
3	2.5	2	3
4	2	3	1
5	0.5	0.5	0.5
6	3	2	1.2
7	1.2	2	3
Suma	13.2	14.5	13.2

Chi-cuadrada

$$\chi^2 = -4.1814$$

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

Debido a que el valor obtenido es menor que el de la tabla con un 95% de confianza, se concluye que las diferencias entre las alternativas no son significativas estadísticamente y por lo tanto se evaluará la alternativa que proporciona un mayor impacto, es decir, la A2, es decir, la alternativa seleccionada proporciona el mayor impacto benéfico para el ambiente y por ello resulta ser la más factible para la realización del proyecto.

En este sentido, La evaluación del impacto se aplicará a esta alternativa (A2) empleando el método de matriz gráfica como se muestra en el ,cuadro 4.3.

## 4.5 Evaluación de la alternativa seleccionada aplicándole el método de matriz gráfica.

Cuadro 4.3

Evaluación de la alternativa seleccionada.

<i>Acc.prop</i>	A	B	C	D	E	F	G	H	I	<i>Factor de Import</i>	<i>Peso Normal.</i>	<b>Matriz Gráfica</b>
<i>Condic.amb.</i>												
<i>Paisaje Natural</i>	8	-2	3	1	9	-8	-3	-3	1	6	0.0619	<b>0.0639</b>
<i>Recarga de agua</i>	1	1	4			5	6	1		18	0.1855	<b>0.1751</b>
<i>Clima</i>	1				1					2	0.0206	<b>0.0279</b>
<i>Estabilidad de flujo</i>	-3	-5	4			7	8	2		13	0.1340	<b>0.1288</b>
<i>Tembor</i>	2	-1			1	8	2			12	0.1237	<b>0.1309</b>
<i>Espacio abierto</i>	8		6	2	-10			1	1	8	0.0825	<b>0.0796</b>
<i>Residencia</i>	6				9					15	0.1546	<b>0.1617</b>
<i>Salud y seguridad</i>	2	1	3		1	5	2		-1	13	0.1340	<b>0.1240</b>
<i>Densidad de población</i>	1			4	4					9	0.0928	<b>0.1009</b>
<i>Estructuras</i>	1	1	1		3	4	1		1	12	0.1237	<b>0.1124</b>
<i>Transportación</i>	1		-9		7				-10	-11	-0.113	<b>-0.117</b>
<i>Suma</i>										97	0.9999	<b>0.9881</b>

**A=Modificación del hábitat, B=Alteración de hidrología y drenaje, C=Pavimento, D=Ruido y vibración, E=Urbanización, F=Cortes y rellenos, G=Control de erosión, H=Paisaje inducido, I=Tráfico.**

## 4.6 Resultados obtenidos.

Puede observarse que los pesos obtenidos con el método de Matriz Gráfica proporcionan una medida más exacta de las relaciones entre los objetivos dados.

En este sentido, los impactos resultan benéficos para el ambiente en general, siendo los más significativos los de recarga del acuífero, residencia de la población, seguridad en caso de sismo, la estabilidad de flujo y los aspectos de salud y seguridad en la carretera, relacionados con factores como la modificación del hábitat, urbanización, la alteración de la hidrología y del drenaje, entre otros. También pueden observarse las diferencias entre los resultados de una simple evaluación con una matriz de soporte (aún mucho mejor que si solamente se evaluara diciendo si existe o no impacto, como en una evaluación cualitativa), que si bien no son muy grandes, sí representan una distribución que permite identificar cuáles impactos son mayores unos de otros como realmente sucede; además, también pueden evaluarse los elementos que resultan negativos para el ambiente como la transportación que tiene un peso adverso para el sistema por lo que para este aspecto deben diseñarse medidas de mitigación.

En general el proyecto evaluado ambientalmente es: **compatible**.

#### 4.7 Conclusiones y recomendaciones respecto al caso de estudio.

Evaluados los aspectos socioeconómicos y naturales mediante el conocimiento de las condiciones ambientales existentes en el lugar seleccionado y de las acciones propuestas por el proyecto, se pueden visualizar aquellos aspectos que resultan íntimamente ligados con el propósito de determinar aquellos que resulten adversos o benéficos. Es importante señalar que el análisis se realiza de forma cuantitativa.

La evaluación de este proyecto determina que es benéfico para el ambiente con una calificación de +97 donde cero (0) significa que no ocurre ningún tipo de impacto y (-) significa que el impacto es adverso.

Por este motivo la evaluación ambiental indica que el proyecto resulta compatible con el ambiente para la alternativa A2, supeditado al previo diseño de las medidas de mitigación para los impactos negativos con lo que se recomienda la ejecución del proyecto; posterior al inicio del estudio de evaluación económica o de factibilidad económica.

Para tal efecto se recomienda realizar un estudio de preinversión mediante un flujo de capital identificando las variables más frágiles del proyecto mediante el análisis de sensibilidad.

## **Conclusiones**

Los alcances de un estudio de impacto ambiental van más allá de la simple presentación de documentos escritos y con ello, es necesario que los profesionales en el ámbito de la consultoría Ambiental, asuman tal responsabilidad.

En este sentido, contar con herramientas que proporcionen al ingeniero una mayor certidumbre y seguridad de los resultados obtenidos, es una necesidad cotidiana.

El Método de la Matriz Gráfica proporciona las herramientas necesarias y en algunos casos suficientes para contar con los elementos que definan el rumbo de solución de una cierta problemática ambiental y con ello permitir el desarrollo sustentable de países como México.

En este trabajo se han podido observar las diferencias entre los métodos convencionales cualitativos hasta la fecha empleados y sus diferencias con los métodos cuantitativos, los cuales determinan de manera sustancial aquellos aspectos que resultan ser de mayor importancia para el ambiente del proyecto analizado.

También cabe señalar que los estudios de impacto ambiental presentados en documentos como las Manifestaciones de Impacto Ambiental son una herramienta fundamental para la toma de decisiones respecto al proyecto estudiado, por lo que su realización debe ser en la etapa de planeación, atendiendo todos aquellos aspectos del medio físico, biológico y socioeconómico que resulten afectados y en la medida en que lo determine el mismo estudio, mitigar y/o compensar aquellos impactos que resulten adversos para el ambiente.

Con respecto a los objetivos planteados inicialmente se concluye que el estudio de los métodos como el de la matriz gráfica resultan ser muy importantes para una adecuada evaluación del impacto ambiental y prevenir los posibles daños al medio natural que provee de lo necesario para el sostenimiento de la vida como actualmente la conocemos.

El estudio del método simplex como fundamento a la teoría de maximización de funciones, establece los pasos a seguir para la posterior aplicación del método de matriz gráfica así como su aplicación a casos prácticos de evaluación del impacto ambiental generado por un proyecto.

De igual manera, se ha observado la aplicación del método de matriz gráfica en un caso de estudio donde a manera general, se determinaron los impactos generados en algunos aspectos del medio ambiente debidos a la ejecución del proyecto, así como se determinó la mejor alternativa evaluando aspectos ambientales.

En el presente capítulo, se han mostrado los resultados derivados del estudio del método de matriz gráfica, demostrando con ello que es posible la aplicación a cualquier caso donde se requiera una evaluación cuantitativa y cualitativa del impacto ambiental o también extrapolar el presente trabajo a una evaluación del impacto ambiental a distintos niveles de complejidad.

## Bibliografía.

- 1.- Manual de Evaluación del impacto ambiental; 2ª Ed., Cap. 15, pp682-686.
- 2.- Graph- matriz Meted in Environmental assessment; Y.Sawaragi,K.Inoue; Revista Planning, design and control; Ed. IFAC , PP757-764.
- 3.- PROBABILIDAD Y Estadística para ingeniería; H. Mendelhall; 2ª Ed.; apéndice tabla E ; valores cuantiles de la distribución chi- cuadrada, pp619.
- 4.- Impacto Ambiental, apuntes; César E., Vázquez A., 1ª Ed. F.I.-UNAM, Cap. 6, pp 171-207.
- 5.- Gaceta N° 40, INE- SEMARNAP; LGEEPA, secc. V, 1988.
- 6.-Diario Oficial de la Federación; SEGOB; 30 DE JUNIO DE 2000.
- 7.- Decisión empresarial; Mallo F., Mures M:J.; universidad de León; Servicios de Publicaciones; 1ª Ed. ;1989; pp 3-25, 47-51, 97-99.

**Anexo 1**

Tabla E.

Quantiles de la distribución chi – cuadrada

v	$\chi_{0,01}$	$\chi_{0,025}$	$\chi_{0,05}$	$\chi_{0,1}$	$\chi_{0,9}$	$\chi_{0,95}$
1	0.00	0.00	0.00	0.02	2.71	3.84
2	0.02	0.05	0.10	0.21	4.60	5.99
3	0.11	0.22	0.35	0.58	6.25	7.82
4	0.30	0.48	0.71	1.06	7.78	9.49
5	0.55	0.83	1.15	1.61	9.24	11.07
6	0.87	1.24	1.63	2.20	10.65	12.60
7	1.24	1.69	2.17	2.83	12.02	14.07
8	1.64	2.18	2.73	3.49	13.36	15.51
9	2.09	2.70	3.32	4.17	14.69	16.93
10	2.55	3.24	3.94	4.86	15.99	18.31