



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

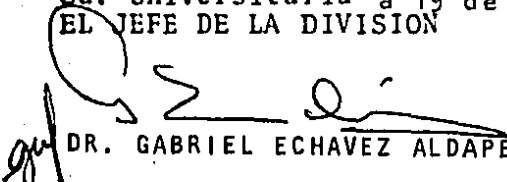
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA

Profr. RUBEN TELLEZ SANCHEZ
P r e s e n t e

Comunico a usted que a propuesta del _____
COORDINADOR DE LA SECCION DE PLANEACION ha sido designado
como director de tesis del alumno(a) _____
SERGIO RODRIGUEZ GOMEZ para obtener el grado de
M EN I EN PLANEACION.

Mucho he de agradecerle su comunicación, por escrito, de la
aceptación a esta designación y el nombre de la tesis a de-
sarrollar.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 19 de agosto de 1987
EL JEFE DE LA DIVISION


DR. GABRIEL ECHAVEZ ALDAPE

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

E.5.1



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.

0167
Zej.
3

ANALISIS Y APLICACION
DE CONCEPTOS Y HERRAMIENTAS
DEL ENFOQUE DE SISTEMAS EN LA
INGENIERIA AMBIENTAL

RESUMEN

El enfoque de sistemas que tiene sus bases en la Teoría General de Sistemas (TGS), de Ludwig Von Bertalanffy, se empleó como herramienta para resolver determinados problemas de planeación del área de Ingeniería Ambiental, a través de las metodologías que se han venido desarrollando, como el Método de Sistemas que propone el Dr. Felipe Ochoa Rosso, denominado "Proceso Estructurado de Solución de Problemas de Sistemas Productivos".

Como parte complementaria de aplicación del enfoque de sistemas, se hace uso de modelos de simulación para hacer una adecuada planeación de sistemas regionales, principalmente en la creación de sistemas ambientales, como abastecimiento de agua, control de la contaminación y desechos sólidos.

El trabajo mostró, a través de los resultados de los casos presentados, como la aplicación de las metodologías del enfoque de sistemas son altamente útiles para dar solución a problemas de planeación de sistemas ambientales, a pesar de que los casos presentados son de muy diversas índole y naturaleza.

CONTENIDO

Capítulo	Pág.
I. INTRODUCCION	1
I.1 Antecedentes	1
I.2 Objetivos	5
I.3 Metodología	6
MARCO TEORICO	
II. EL ENFOQUE DE SISTEMAS EN LA SOLUCION DE PROBLEMAS	9
II.1 Definición de Sistema	9
II.2 El Enfoque de Sistemas	10
II.2.1 Interpretación del Enfoque de Sistemas	10
II.2.2 Morfología de Sistemas	15
II.2.3 Metodología del Enfoque de Sistemas	17
II.2.3.1 Proceso Estructurado de Solu ción de Problemas de Sistemas	21
III. APLICACIONES DE UNA METODOLOGIA DEL ENFOQUE DE SISTEMAS A PROBLEMAS DEL AREA DE INGENIERIA AMBIENTAL	29
III.1 Optimizar un Sistema de Abastecimiento de agua a una población: Santiago Papasquiario, Edo. de Durango.	29
III.2 Evaluación de Impactos Ambientales en los Proyectos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales	58

III.3	Optimización del Movimiento de Terracería en un Relleno Sanitario	97
III.4	Mejoramiento de la Calidad del Aire afectado por la emanación de gases contaminantes de una Fábrica de Acero	117
IV.	OTROS CASOS DE APLICACION	126
IV.1	El Enfoque de sistemas en la Planeación Regional de los Sistemas de Abastecimiento de Aguas Residuales y Desechos Sólidos	126
IV.2	Un Modelo de Simulación como Estrategia para el Control de la Contaminación Ambiental en los Puertos Industriales y su Zona de Influencia	131
IV.3	Optimización Dinámica de un Sistema Regional de tratamiento de Aguas Residuales	138
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	146
V.1	Conclusiones	146
V.2	Recomendaciones	156
VI.	REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA	161
VI.1	Referencias	161
VI.2	Bibliografía	164

VII.	ANEXOS	165
VII.1	Plano General de la Población de Santiago Papasquiari, Dgo. Caso No. 1	165
VII.2	Tablas del Caso No. 2	166
VII.3	Descripción General de Alguas Técnicas de Programación Matemática.	171
	° Programación Lineal	172
	° Teoría de Juegos	179
	° Análisis de Sensibilidad	187

I. INTRODUCCION

CAPITULO I

I. INTRODUCCION

I.1. Antecedentes.

Los actuales patrones de consumo de las sociedades industrializadas se han convertido en metas a alcanzar para -- los países en vías de desarrollo. Tomando en considera-- ción que existen factores que limitan fuertemente estas - posibilidades, la planeación se ha convertido en una nece- sidad para poder lograr el mayor beneficio con la menor - cantidad de recursos disponibles. Por lo tanto, para una nación, empresa o individuo, el problema radica en apli-- car las soluciones óptimas o aquellas que tiendan al ópti- mo, lo cual se puede conseguir en dos maneras básicas: mi- nimizando los costos o maximizando los beneficios.

Para toda organización, cualquiera que sea su objetivo, - es necesario prever de alguna manera la forma en que se - van a desarrollar sus actividades futuras, lo que implica:

(1)

- Cuantificar sus metas de desarrollo
- Hacer compatibles en el tiempo los recursos dispo- nibles y las medidas de política con las metas de desarrollo; y
- Optimar el uso de sus recursos.

La planeación es necesaria, tanto para las organizaciones nuevas como para aquellas que están en plena operación. - Para las primeras se requiere estudiar la creación de los espacios físicos e instalaciones que las alojarán, así como sus sistemas de operación, en tanto que para las segundas, dependiendo de las metas de desarrollo, los estudios considerarán siempre los sistemas de operación y eventualmente, la creación de nuevos espacios físicos.

La realización de los estudios mencionados, da lugar a la elaboración de un proyecto. Sin embargo, antes de que un proyecto se convierta en obra, es necesario someter a juicio de los funcionarios responsables, las ventajas y desventajas que se prevén de la asignación de recursos para este fin, tomando en consideración todos los elementos para un análisis que sirva de base para tomar una decisión, es decir, se realiza una evaluación del proyecto.

Anteriormente a la evaluación que se realiza al término de la elaboración del proyecto, que puede considerarse como definitiva para la realización o abandono de él, deben realizarse evaluaciones parciales durante su ejecución, con el objeto de decidir si se sigue adelante, se corrige la orientación o se abandona la idea.

Analizando la literatura sobre la Teoría de la Planeación (especialmente en los campos de la planeación económica,

social y educativa), es posible detectar por lo menos cuatro corrientes importantes: (1)

a) Corriente administrativa. Surge de la Teoría Clásica sobre el proceso administrativo, tiene la característica de separar la elaboración de planes de su ejecución y en atribuir ambas funciones al administrador o ejecutivo de una institución o empresa. El horizonte de planeación predominante suele ser el corto y mediano plazo.

b) Corriente de sistemas. Toma algunas bases de la teoría general de sistemas; no separa la elaboración de planes, programas y proyectos de su ejecución, sino que considera todos los elementos del proceso de planeación como un conjunto integrado y orgánico, como un sistema. Esta corriente ha favorecido el trabajo interdisciplinario considerando a la planeación como una responsabilidad compartida. El horizonte de planeación comprende el largo, mediano y corto plazos.

c) Corriente de cambio. El proceso de planeación se considera como un sistema de orientación social de cambio, que se sustenta tanto en la acción organizada como en la participación sistemática de cuantos se han de ver afectados por la implementación de un plan, programa o proyecto. Supone un concepto previo de de

sarrollo, puesto que tiende a orientar la planeación hacia la promoción del desarrollo y toma elementos -- tanto de la corriente de sistemas como de la administrativa. En su horizonte de planeación comprende acciones de largo, mediano y corto plazos.

- d) Corriente prospectiva. Tiene elementos comunes a la corriente de sistemas y de cambio, pero se caracteriza por que concibe el futuro como dominio de la acción y de la libertad, más que del conocimiento. Combina el análisis de tendencias históricas con previsiones sobre el futuro y emplea también los métodos de participación. Su horizonte de planeación suele comprender el largo y mediano plazos.

En este trabajo, se utilizará la llamada corriente de sistemas que tiene sus bases en la Teoría General de los Sistemas de Ludwing Von Bertalanffy (2), la cual enuncia la creación de una nueva ciencia que sistematiza el problema de principios cognoscitivos generales, en diferentes campos de la actividad científica y social del hombre. Esta teoría puede relacionarse tanto con el organismo vivo como con la organización social, en busca de una integración interdisciplinaria de carácter rigurosamente científico.

El Enfoque de Sistemas, que parte, de la Teoría General de

los sistemas, puede emplearse para resolver problemas que se presentan en el área de Ingeniería Ambiental. La resolución de estos problemas se hace a través de las metodologías que se han venido desarrollando recientemente, como la Ingeniería de Sistemas, Investigación de Operaciones, Proceso Estructurado de Solución de Problemas de Sistemas, Método Checklan, Método Hall, por mencionar algunos.

1.2. Objetivos.

OBJETIVO GENERAL,

Mostrar como algunos conceptos y Técnicas del enfoque de sistemas pueden ser aplicados en la solución de determinados problemas de planeación del área de Ingeniería Ambiental.

Objetivos particulares.

- Analizar algunos conceptos básicos del Enfoque de Sistemas y su aplicación en la solución de algunos problemas del área de Ingeniería Ambiental.
- Aplicación de un Proceso Estructurado de Solución de problemas de Sistemas Productivos, como metodología de Enfoque de Sistemas en la solución de determinados casos del área de la Ingeniería Ambiental.
- Aplicación de algunas técnicas analíticas de programa

ción matemática como herramientas eficientes en el análisis moderno de Sistemas Ambientales.

1.3. Metodología.

El problema de la conservación del ambiente, en los países en desarrollo presenta una aparente paradoja: o conservan los bajos costos y competitividad en los mercados nacionales e internacionales, sacrificando el ambiente, para tratar de elevar el nivel de ingreso per cápita de sus habitantes, o se resignan a continuar siendo colonias económicas, esencialmente de estructura agrícola primitiva.

Obviamente, la solución a tal paradoja es una planeación adecuada tanto de la explotación de los recursos como de la conservación del ambiente, de acuerdo tanto con el grado de desarrollo del país, como con sus objetivos de desarrollo posterior.

Es necesario buscar un adecuado equilibrio, que permita obtener los satisfactores económicos y de desarrollo social buscados, al mismo tiempo que permitan el razonable aprovechamiento de los recursos naturales y la protección de la salud del ser humano.

La degradación del medio ambiente está directamente relacionado con la calidad del agua, aire y suelo, de tal manera que cualquier alteración negativa de estos tres ele-

mentos, tiene una influencia en el deterioro de la calidad de vida de los seres vivos.

Es importante señalar que el diagnóstico y solución de cada problema ambiental, exige el seguimiento de metodologías coordinadas y de aproximación progresiva, de tal forma que entre los grandes componentes del proceso de diagnóstico (o previsión), ensayo y desarrollo de medidas correctoras (corrección), se cuente con las técnicas ambientales satisfactorias.

El enfoque de sistemas y en general el modelado y simulación de los fenómenos es una herramienta útil para ese tipo de análisis, ya que permite "cribar" los más eficientes métodos y tecnologías de control, porque ayuda en la toma de decisiones a ver más claramente las mejores alternativas que creativamente se generaron y estrategias de control, identificando aquellas que son superiores.

Como se indicó anteriormente, el objetivo de este trabajo es mostrar la bondad de aplicar algunos conceptos y técnicas del enfoque de sistemas a determinados problemas de planeación del área de Ingeniería Ambiental; la aplicación de los cuatro primeros casos se hace a través de la metodología del "Método de Sistemas" (3) o "Proceso Estructurado de Solución de Problemas de Sistemas Productivos". Esta metodología emplea un Modelo General de un

Sistema Productivo, en el cual se consideran los siguientes elementos:

Los elementos que intervienen en la función productiva, - ya sea en forma activa o pasiva; los elementos que no intervienen en dicha función; los elementos que se ven afectados directa o indirectamente por las actividades productivas; la liga entre los elementos que intervienen; el mecanismo utilizado para desarrollar la función; la bondad con que el sistema desarrolla la función; y los recursos que utiliza para la función.

Destaca en el modelo del sistema productivo, los flujos - de entrada (recursos financieros), los insumos al sistema (proveedores), los bienes o servicios producidos por el sistema (mercancías), los ingresos, los competidores, los desechos y el medio ambiente en que se encuentra.

En el capítulo "Otros casos de aplicación", se hace uso - de modelos de simulación para hacer una adecuada planeación de sistemas regionales que tienen como objetivo optimar el funcionamiento de los sistemas ambientales existentes o por construir. Se utilizan herramientas desarrolladas para el estudio de los sistemas, como son los propios modelos de simulación, métodos de optimización, programación dinámica y el modelo de transporte.

MARCO TEORICO

II EL ENFOQUE DE SISTEMAS EN LA SOLUCION DE PROBLEMAS

CAPITULO II

MARCO TEORICO

EL ENFOQUE DE SISTEMAS EN LA SOLUCION DE PROBLEMAS

II.1 DEFINICION DE SISTEMA

Un sistema puede ser definido como: (3)

- Conjunto de elementos que interactúan y tienen un objetivo común.
- Conjunto ordenado de procedimientos, relacionados entre sí, que contribuyen a realizar una función.
- Una serie de funciones, pasos o procedimientos con una colocación tal, que permiten obtener un resultado predeterminado.
- Un conjunto de partes, elementos, componentes o funciones interrelacionados, que juntos conducen a un fin específico.

Existen sistemas naturales y sistemas humanos, los primeros ubicados en la naturaleza (el sistema ecológico, el sistema solar, etc.). Los sistemas humanos son los diseñados por el hombre (el sistema de transporte, etc.).

La definición dada por G.E. Gibson, (4) de sistema, indica que es una interconexión de elementos, organizada de tal forma que se define hacia un objeto definido. En es-

ta definición existen tres elementos operativos: a) grupo de objetos con algunas características en común. b) los objetos deben estar interconectados y deben tener influencia entre sí. c) los elementos interconectados deben estar formados de tal manera que persigan alguna meta u objetivo. Con este criterio, una colección casual de gente o cosas, aún cuando estuvieran en una estrecha proximidad y tuvieran influencia entre sí en algún sentido, no formarían un sistema con significado.

En la definición anterior, está implícito un índice de efectividad o una medida de eficiencia. Debe ser posible estimar cómo está funcionando el sistema en su impulso hacia el objetivo. Es fundamental hacer una selección apropiada de un índice de efectividad.

II.2. ENFOQUE DE SISTEMAS

II.2.1. Interpretación del enfoque de sistemas.

Al enfoque de sistemas puede llamarsele correctamente "Teoría General de Sistemas Aplicada" (TGS aplicada), y se puede describir como: (5)

1. Una metodología de diseño
2. Un marco de trabajo conceptual común
3. Una nueva clase de método científico
4. Una teoría de organizaciones
5. Dirección por sistemas

6. Un método relacionado a la ingeniería de sistemas, investigación de operaciones, eficiencia de costos, etc.
7. Teoría general de sistemas aplicados.

A continuación se describe brevemente los conceptos anteriores:

- Una metodología de diseño. El enfoque de sistemas es una metodología que auxiliará a las personas que toman decisiones, al considerar todas las ramificaciones de sus decisiones una vez diseñadas.

- Un marco conceptual común. Uno de los objetivos del enfoque de sistema es buscar similitudes y generalidades de estructura y de propiedades, así como fenómenos comunes que ocurren en sistemas de diferentes disciplinas.

El nivel de generalidades también puede tener lugar en aquellas áreas donde los mismos modelos describen lo que superficialmente parece ser un fenómeno sin relación.

Una vez que se adopta el enfoque de sistemas, aparecen los siguientes problemas de dualismo o dualidad.

- . Simplicidad contra complejidad. No se puede hacer frente a problemas complejos, de aquí que intentamos optar por versiones más simples. Al simplificar nuestras soluciones, éstas pierden realismo. -

Por tanto, estamos divididos entre la incapacidad de resolver problemas complejos y la falta de aplicabilidad de soluciones obtenidas.

- . Optimización y suboptimización. Solamente podemos optimizar sistemas cerrados, como son los modelos en los cuáles se conocen todos los supuestos y condiciones limitadas. Las situaciones de la vida real son sistemas abiertos, porciones que pueden estar parcialmente optimizadas.
- . Idealismo contra realismo. Nunca podemos alcanzar lo óptimo en todas las soluciones, pues correspondería a un ideal. Si va a tener lugar la implantación, debemos aceptar versiones más realistas de lo óptimo.
- . Incrementalismo contra innovación. Suponiendo que somos incapaces de partir directamente de patrones de solución no establecidos, buscamos soluciones cercanas a las actualmente aceptadas (incrementalismo) y creemos mejorar los sistemas existentes mediante el análisis de la operación de subsistemas componentes.
- . Política y ciencia, intervención y neutralidad. Debemos decidir si las ciencias deben permanecer libres de valores, en la teoría y sin compromisos,

o si la ciencia debe orientarse a un objetivo, buscar influir en los resultados e interesarse en la ética de las consecuencias que impone en los receptores.

- . Acuerdo y convenio. La planeación requiere que todos los participantes contribuyan a las soluciones de los sistemas y su implantación.

- Una nueva clase de método científico. El enfoque de sistemas y la teoría general de sistemas de la cuál se deriva, están animando el desarrollo de una nueva clase de método científico abarcando en el paradigma de sistemas, que puede enfrentarse con procesos como la vida y la muerte, nacimiento, evolución, adaptación, aprendizaje, motivación e interacción. Apoyará un pensamiento racional nuevo que será complemento del paradigma del método científico tradicional pero que asegurará nuevos enfoques a la medición, explicación, validación y experimentación.

- Una teoría de organizaciones. El enfoque de sistemas otorga una nueva forma de pensamiento a las organizaciones ya que busca unir el punto de vista conductual con el estrictamente mecánico y considerar la organización como un todo integrado, cuyo objetivo sea lograr la eficacia total del sistema, además de armonizar los objetivos en conflicto de sus componentes.

- Dirección por Sistemas. Las grandes organizaciones, en frentan problemas cuyas ramificaciones e implicaciones re quieren que éstos sean tratados en una forma integral, a fin de competir con sus complejidades e interdependencias. Por tanto, el enfoque y dirección de sistemas puede verse como la misma "forma de pensamiento", con una metodología común fundamentada en los mismos principios integrativos y sistemáticos.

- Métodos relacionados. La Ingeniería de Sistemas y la eficiencia de costos son nombres asociados al enfoque de sistemas. Asimismo la investigación de operaciones y la ciencia de la administración tienen lazos comunes con el enfoque de sistemas.

- Teoría General de Sistemas. La TGS intenta alcanzar el status de una ciencia general a la par de las matemáticas o la filosofía. Proporciona la capacidad de investiga--- ción al enfoque de sistemas. Esta investiga los concep--- tos, métodos y conocimientos pertenecientes a los campos y pensamientos de sistemas.

Bajo un concepto muy general sobre sistemas, Checkland -- (6) hace una clasificación sobre el movimiento de siste-- mas, en la cual se distinguen dos grandes categorías; la primera se refiere al estudio de sistemas como tales, y - la segunda a la aplicación del pensamiento de sistemas en

otras disciplinas, según se aprecia en la figura 2.2.1. - Además se presenta un mapa del movimiento de sistemas, indicando las influencias de las áreas de la Ingeniería, -- Economía, Filosofía y Biología. Ver la tabla 2.2.1.

II.2.2. MORFOLOGIA DE SISTEMAS

Hall (7) señala que en problemas de análisis de sistemas pueden distinguirse fundamentalmente tres aspectos:

El tiempo asociado a las fases del proyecto; La Metodología de solución de problemas, que integran los - diversos pasos que deben ejecutarse en cualquiera de las fases del proyecto y está caracterizada por una secuencia lógica de actividades y; el conjunto de conocimientos, modelos y procedimientos que definen -- una disciplina en particular o sea:

tiempo + metodología = modelo de análisis de sistemas

La aplicación de este modelo se hace a través de una matriz, en donde los renglones están asociados al tiempo y las columnas a la metodología. Hall propone el arreglo - matricial que se muestra en la fig. 2.2.2.

Cada elemento de la matriz representa una actividad y está definido en forma única por la intersección de una fase de un proyecto y un paso de solución.

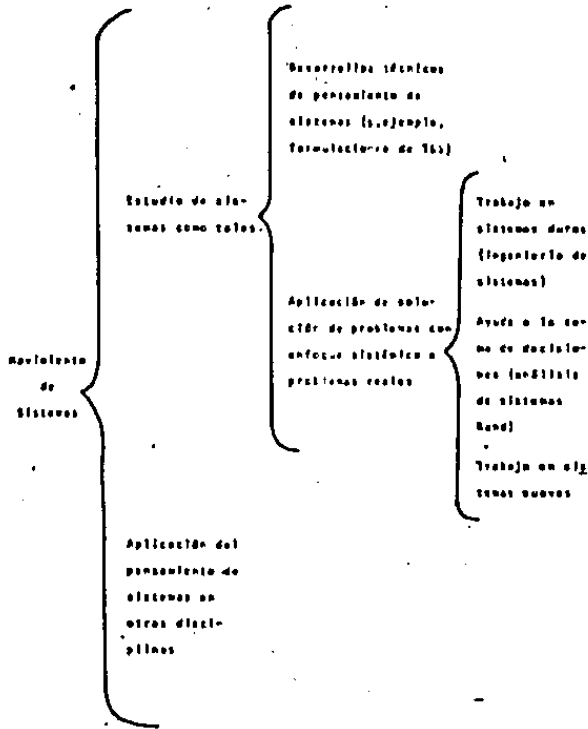
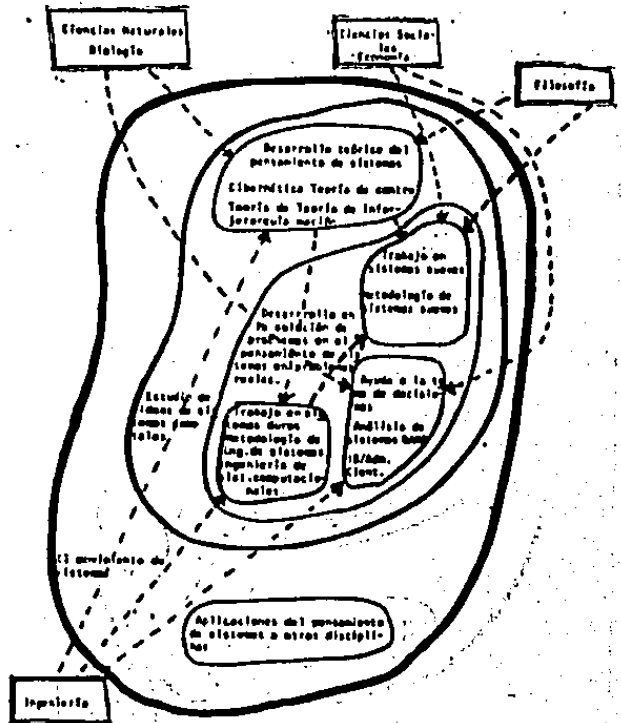


Figura 2.2.1 Movimiento de sistemas.

Tabla 2.2.1 Mapa del movimiento de sistemas indicando las influencias externas más importantes.



La descripción detallada de las fases y pasos de la matriz pueden consultarse en la referencia (7).

El enfoque de sistemas puede ser complementado haciendo referencia a una disciplina en particular. Hall considera que es factible citar, en orden decreciente de estructura formal: ingeniería, medicina, arquitectura, administración, ciencias sociales y artes, según se aprecia en la figura 2.2.3.

Empleando esta morfología tridimensional, pueden definirse actividades específicas del análisis de sistemas.

II.2.3. METODOLOGIA DEL ENFOQUE DE SISTEMAS.

Cabe aclarar que la metodología del enfoque de sistemas de ninguna manera es sustituto de conocimientos específicos en ramas particulares, sino que únicamente ayuda a integrar conocimientos particulares en un marco de referencia más amplio. Para resolver los problemas del mundo real, se requieren conocimientos específicos de una rama de la ciencia o técnica, complementados con la metodología de sistemas.

Es común pensar que si se domina la metodología del enfoque de sistemas, se puede resolver cualquier problema. Esta idea, por lo anteriormente dicho, es absolutamente incorrecta.

ESTRUCTURA LÓGICA						
Fases	Definición del Problema	Medición del Sistema	Análisis de Datos	Modelado de Sistemas	Síntesis de Sistemas	Toma de decisión
Planación de Programa						
Planación de Proyecto						
Desarrollo de Sistema						
Producción o Construcción						
Distribución o puesta en servicio						
Operación o Consumo						
Retiro						

Figura 2.2.2 Metodología para el análisis de sistemas

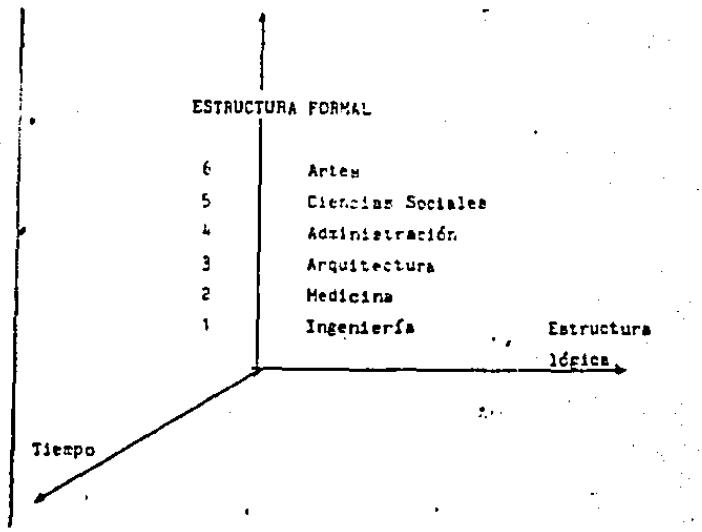


Figura 2.2.3 Morfología tridimensional

La matriz de la figura 2.2.2, propuesta por Hall, da una metodología a seguir en cuanto a los pasos lógicos que se deben seguir. Se aprecia que dicha metodología cubre todos los conceptos que se deben seguir en la solución de un determinado problema.

La mencionada metodología no es la única. Se han venido desarrollando y aplicando metodologías de muy diversa índole, dependiendo del tipo de problema a resolver y de los resultados que se quieran obtener. Queda fuera del alcance de este trabajo hacer una descripción de cada una de ellas.

Algunos problemas que se presentan en el área de Ingeniería Ambiental, principalmente en aquellos donde se pretende construir o mejorar sistemas, es posible establecer un símil con un sistema productivo cuya función es controlar la contaminación por residuos líquidos, sólidos y gaseosos, en los cuáles se pueden identificar tres pasos: entrada o insumos, función de producción y salida o producto.

Estableciendo un paralelo entre un proceso productivo y la solución a un problema de ingeniería ambiental, el papel de los insumos correspondería a los contaminantes, la función de producción es la equivalente a la función de descontaminar y las salidas o productos equivale a la ob-

tención de agua y aire libres de impurezas contaminantes. En el caso de residuos sólidos, el producto o beneficio consiste en confinar o controlar adecuadamente éstos residuos.

En fecha reciente, el Dr. Felipe Ochoa Rosso (3) desarrolló un método denominado "Método de los Sistemas", en el cual propone una metodología a través de lo que él denomina "Proceso Estructurado de Solución de Problemas de Sistemas Productivos". Esta metodología se puede aplicar a la creación, expansión, contracción, mejoramiento y corrección de sistemas productivos.

Haciendo un análisis de dicha metodología y comparándola con otras (como la de Hall), se determinó que su aplicación para resolver problemas del área de Ingeniería Ambiental, era adecuada, por lo que en los primeros cuatro casos de aplicación del presente trabajo se utilizó este "Método de los Sistemas" como una metodología del enfoque de sistemas.

En el capítulo "Otros casos de Aplicación" se muestra como aplicando el concepto general del Enfoque de Sistemas, se pueden resolver problemas de planeación del área de la Ingeniería Ambiental, usando principalmente las técnicas empleadas en los modelos de simulación.

A continuación se describe, en forma general, el Proceso

Estructurado de Solución de Problemas Productivos. Para mayor detalle, consultar la referencia No. 3.

II.2.3.1. Proceso Estructurado de Solución de Problemas.

Un sistema productivo, se define por la forma o manera en que un conjunto de elementos humanos, físicos y mecánicos, interrelacionados y estructurados, desempeñan la función de producir bienes y/o servicios para satisfacer las necesidades de la sociedad. Para describir con mayor exactitud un sistema, habrá que considerar los elementos que intervienen, los elementos que se ven afectados de alguna forma, la liga entre los elementos que intervienen, la forma de desarrollar la función, la bondad con que el sistema desarrolla la función con los recursos que emplea dicha función.

El modelo general de un sistema productivo se basa en que cualquier sistema se caracteriza por ser una estructura que mediante los flujos de entrada, es capaz de producir flujos de salida. Entre los flujos de entrada, destacan los medios de subsistencia financieros proporcionados por los propietarios del sistema o por las instituciones financieras; capital como un flujo constante para poder plantear implantar u operar un sistema. Los encargados de proporcionar insumos al sistema son los proveedores, los

cuales proporcionan toda una gama de posibles requerimientos que van desde refacciones, mobiliario, materia prima, etc., hasta tecnología o información sobre diversos tópicos. Los bienes o servicios producidas por el sistema -- conforman las mercancías que han de ser comercializadas y vendidas a los usuarios, los que, le retribuyen de nueva cuenta al sistema el costo invertido para la elaboración de las mismas, más un incremento, conformándose así los ingresos. Esta retribución monetaria debe ser considerada como otra fuente de entrada al sistema.

Otro factor que se considera relevante consiste en la repercusión que los competidores tienen hacia el sistema, -- mismo que puede ser caracterizado como otro flujo de entrada. En cierta medida, un sistema productivo se interconecta con el exterior principalmente por los bienes o servicios que produce, que es en última instancia, la razón misma de ser del sistema. Un tercer componente de salidas del sistema lo constituyen los desechos; este factor que no tiene importancia para algunos sistemas, en -- otros juega un papel muy significativo.

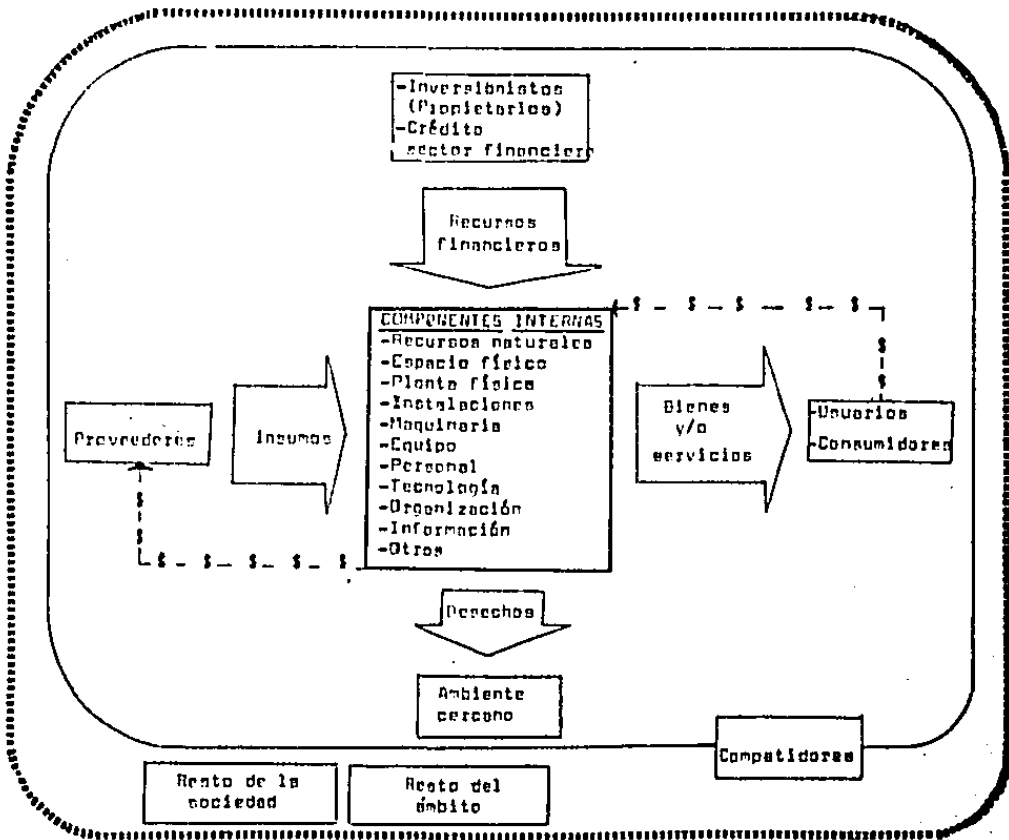
Todos los elementos señalados proporcionan la acotación del entorno de primer orden; se caracteriza por ser la envolvente de las interacciones más fuertes e importantes del sistema con el medio en donde se encuentra; el entorno de segundo orden sería por el contrario, la envolvente

de la más débiles o secundarias, como lo son las interacciones entre el sistema y el resto de la sociedad como -- tal. Los competidores pueden estar en el entorno de primer orden o en el segundo dependiendo de la importancia -- que estos tienen en algunas ocasiones y la gran relevan-- cia que guardan en otras. Ver fig. 2.2.4.

Todos los modelos pueden ser representados idealizados o esquematizados bajo el mismo marco conceptual. El concen-- trar la esencia de todos en un esquema, además de permi-- tir una mayor visualización del sistema, coadyuva a una -- mejor detección de la problemática, y apoya en la crea--- ción de un nuevo sistema.

Los problemas de mejoramiento y corrección guardan una -- gran similitud, ya que el sistema no requiere en estos ca-- sos cambios cuantitativos relevantes, sino simplemente va -- riaciones, reajustes o reorganización de sus elementos. Sobre esta base, los problemas de expansión, contracción -- y mayormente los de creación de sistemas, implican cam--- bios cuantitativos en forma significativa esto es, la pre -- sencia de cualquiera de estos problemas conduce a generar un nuevo sistema.

De lo anterior se infiere que al tener en esencia dos ti-- pos de problemas (sin caer en la creencia que un problema -- de corrección es igual que uno de mejoramiento), necesi--



———— Entorno de 1o. orden
 Entorno de 2o. orden

Figura 2.2.4 Modelo general de un sistema productivo

riamente se requieren dos procesos de solución para enfrentar todo tipo de problemas que se gesten en sistemas productivos.

El método sistemático para resolver problemas operacionales aborda problemas de mejoramiento y/o corrección; mientras que el método sistémico se usa para resolver problemas de creación o modificación de sistemas o condensadamente dicho, el método de planeación, podrá ser utilizado en los casos de creación y expansión o contracción de sistemas productivos.

VARIANTES DEL METODO.

Con ambos métodos es factible construir lo que pudiera denominarse "ciclo de solución de problemas de sistemas productivos", ligando de este modo el uso de ambos, el de planeación y el operacional. Ver fig. 2.2.5.

Para ambos procesos es válido el señalar que la amplitud e importancia relativa de cualquier fase con respecto a las restantes en un problema específico, depende exclusivamente de las características intrínsecas de cada problema, por ejemplo, puede llegar a suceder que al usar el método operacional, el separar las componentes en elementos esenciales constituya una tarea extremadamente difícil y tardada, pero ello lleve a una evaluación ex-post, a un

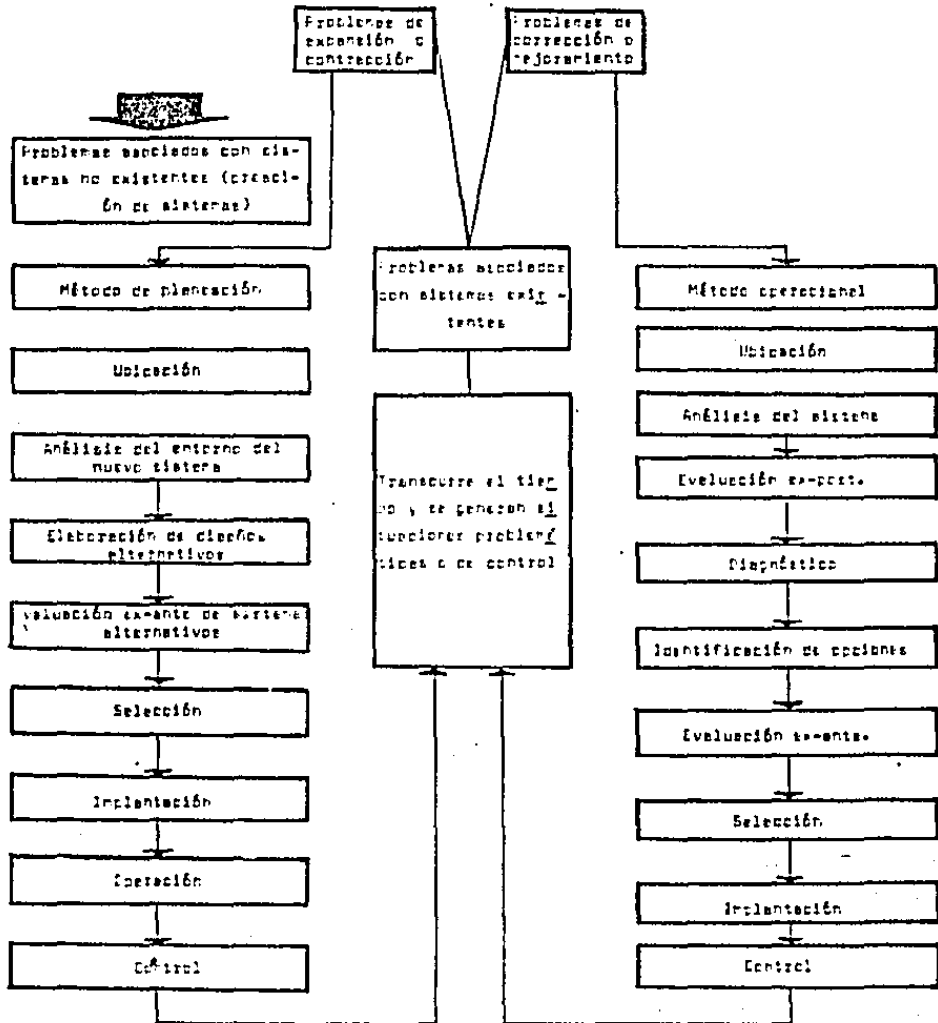


Figura 2.2.5. Ciclo de solución de problemas de sistemas productivos.

diagnóstico y a una identificación de opciones relativamente sencilla.

En otras ocasiones pueden presentarse situaciones contrarias. Un caso que también es factible es la mezcla de ambos procesos para construir la solución a un problema.

En la tabla 2.2.2. se presenta un resumen del proceso Estructurado de Solución de Problemas de Sistemas Productivos, destacando los aspectos más importantes del método.

	IMPLANTACION	OPERACION Y CONTROL	
y- or ro l- lo el se de all- e -	Es la fase en que el sistema es <u>potenciali</u> zado. Al implantarse un sistema se tiene que hacer una nueva revisión de los <u>elementos</u> significativos que hayan podido <u>va</u> riar.	La fase de operaciones es el periodo que transcurre desde la puesta en marcha de las operaciones hasta que estas <u>son</u> sujetadas satisfactoriamente. La fase de control esta dirigida hacia <u>el</u> logro de los objetivos planteados.	
se- lo de e - ón, o - se	SELECCION La selección de la mejor opción de mejoramiento o corrección, <u>compre</u> nde la valoración de la evaluación <u>ex-ante</u> . Es una fase en que se toma la <u>decisión</u> de implantar la <u>opción</u> que más satisfaga.	IMPLANTACION DE LA OPCION SELEC CIONADA Al introducir al sistema un nuevo <u>elemento</u> o mecanismo operativo, se están transformando en alguna <u>for</u> ma, las condiciones que existían en cada uno de los <u>elementos</u> , en la medida que hallan estado <u>inter</u> conectados. Esta fase cumple con la <u>tarea</u> de realizar la <u>manobra</u> con <u>perturbaciones</u> mínimas.	CONTROL El control consiste en <u>minimizar</u> o anular los <u>problemas</u> que se <u>pre</u> sentan al producirse <u>cambios</u> internos en <u>los</u> sistemas <u>producti</u> vos.

Tabla 2.2.2 EL METODO DE LOS SISTEMAS. PROCESO ESTRUCTURADO DE SOLUCION DE PROBLEMAS DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

diagnóstico y a una identificación de opciones relativamente sencilla.

En otras ocasiones pueden presentarse situaciones contrarias. Un caso que también es factible es la mezcla de ambos procesos para construir la solución a un problema.

En la tabla 2.2.2. se presenta un resumen del proceso Estructurado de Solución de Problemas de Sistemas Productivos, destacando los aspectos más importantes del método.

PROCESO DE SOLUCIÓN	TIPOS DE PROBLEMAS EN QUE SE EMPLEAN	UBICACIÓN DEL SISTEMA	ANÁLISIS DEL ENTORNO	EVALUACIÓN DE Opciones ALTERNATIVAS
EL METODO DE PLANEACION	CREACION EXPANSION CONVERSION	Esta fase considera las tres dimensiones siguientes: - Temporal. Se refiere a la duración de un sistema, en algunos casos es irrelevante y en otros es crítico. - Espacial. Responde a necesidades y características del sistema y puede corresponder a niveles de espacios Interbancional, Nacional, Regional, Estatal, Municipal, Local y Puntual. - Sectorial. Corresponde a los tres grandes sectores: primario (agricultura, ganadería, silvicultura y pesca), secundario o industrial y el terciario (comercio y servicios).	Es el estudio de los componentes para componer los elementos específicos que concierne al sistema en cuestión. Para el caso de la creación en entornos no constituyen los sistemas existentes y para el caso de expansión o continuación de sistemas es válida la búsqueda de información sobre el mismo terreno, incluyendo el sistema ya existente.	Es una fase del proceso de solución del problema en donde se requiere de la creatividad del diseñador. Marca una de las principales diferencias entre el método clásico y el método de sistemas ya que el último crea al objeto, o sea el sistema productivo. Y se genera el diseño de productos o servicios (de salidas a entradas). En esta fase se sintetizan los diversos resultados logrados mediante el análisis del entorno.
EL METODO OPERACIONAL	MEJORAMIENTO Y/O CORRECCION	- Consistente en la definición de los tres niveles: ubicación temporal, ubicación sectorial y ubicación espacial, con el mismo sentido del método de planeación.	La función de esta fase es desagregar los componentes específicos del sistema. Y los resultados se orientan a la fase de la evaluación ex-post. La razón principal de este análisis es detectar fallas, desajustes, incongruencias. El resultado del análisis es un listado de elementos que caracterizan una componente del sistema, anejados los resultados en un ordenado dato.	Evaluar ex-post es juzgar a posteriori los resultados del sistema. Esta fase consiste en comparar los resultados obtenidos con los resultados esperados por el sistema en el caso de no existir cambios. La razón principal de esta evaluación debe buscarse en teorías o en otros sistemas a nivel nacional o internacional.

Tabla 2.2.2. EL METODO DE LOS SISTEMAS. PROCESO ESTRUCTURADO DE SOLUCION DE PROBLEMAS DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

pciones relativa -

ituaciones contra-
es la mezcla de am
a un problema.

en del proceso Es-
Sistemas Producti-
antes del método.

ANÁLISIS DEL SISTEMA	FASES CONCATENADAS DEL PROCESO				IMPLANTACION
	ELABORACION DE DISEÑOS ALTERNATIVOS	EVALUACION EX-ANTE DE DISEÑOS ALTERNATIVOS	SELECCION		
Es el estudio de las componentes para conocer los elementos específicos que conforman al sistema en cuestión. Para el caso de la creación en entornos no constituyen los sistemas existentes y para el caso de expansión o contracción de sistemas es válida la búsqueda de información sobre el mismo terreno, incluyendo el sistema ya existente.	Es una fase del proceso de solución del problema en donde se requiere de la creatividad del diseñador. Marca una de las principales diferencias entre el método científico y el método de sistemas ya que este último crea al objeto, o sea, el sistema productivo. Y su secuencia es diseñar de productos a insumos (de salidas a entradas). En esta fase se sintetizan los diversos aspectos logrados mediante el análisis del entorno.	En esta fase se evalúan los diseños alternativos, obtenidos en la fase anterior. Se evalúa los impactos que las diferentes alternativas producen en los diversos sectores del sistema. Los impactos o puntos de interés son las áreas que a los actores del sistema afectan con mayor fuerza (económico, social, político, etc.). Con estos elementos (actores e intereses) es posible construir una matriz de evaluación, para la cual es indispensable fijar los criterios o indicadores de evaluación.	Consistente en elegir entre los diseños alternativos elaborados la mejor opción. La selección involucra cuatro elementos. El primero se refiere al conjunto de alternativas por seleccionar; el segundo al grupo decisor; el tercero es el o los objetivos que se persiguen; el cuarto es el grado de conocimiento que se tenga de la realidad o la actitud que se adopte ante ella.	Es la fase en que el sistema es implantado. Al implantarse un sistema que hace una nueva revisión de elementos significativos que hay que priorizar.	
ANÁLISIS DEL SISTEMA EXISTENTE	EVALUACION EX-POST DE LOS RESULTADOS	DIAGNOSTICO DEL COMPORTAMIENTO	ALTERNATIVAS DE CORRECCION O MEJORAMIENTO	EVALUACION EX-ANTE DE OPCIONES	SELECCION
La función de esta fase es desagregar los componentes específicos del sistema. Y los resultados se orientan a la fase de la evaluación ex-post. La razón principal de este análisis es detectar fallas, desajustes, incongruencias. El resultado del análisis es un listado de elementos que caracterizan una componente del sistema, anejados los resultados en un fichero de datos.	Evaluar ex-post es juzgar o pasar a juicio los resultados del sistema. Esta fase consiste en comparar los resultados obtenidos con los objetivos perseguidos por el sistema y en caso de no existir éstos, la comparación debe buscarse en series históricas o en otros sistemas semejantes a nivel nacional o internacional.	Consiste en determinar el estado del sistema actual. Detectados los problemas, se identifican la o las cadenas causales o efectos hasta sus últimas causas-orígenes a fin de determinar las limitaciones o alcances de la siguiente fase.	los resultados de la fase anterior sirven de base para identificar los cursos de acción que como causas se desprenden de la cadena, o sea se reconoce que una causa es a su vez efecto de otra causa.	Se evalúan las opciones obtenidas, aplicándose un juicio generado en la comparación de los posibles resultados que se obtendrán con cada opción, respecto de los objetivos o marcos de comparación que se establezcan para ello.	La selección de la mejor opción de mejoramiento o corrección se hace de la valoración de la evaluación ex-ante. Es una fase en que se toma la decisión de implantar la opción que más satisface.

PROCESO ESTRUCTURADO DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

<p>SELECCION</p> <p>ente en elegir entre los dis- ternativos elaborados la mejor . La selección involucra cuatro tos. El primero se refiere al to de alternativas por selección segundo el grupo decisor; el o es el de los objetivos que se uen y; el cuarto es el grado de imiento que se tenga de la reali- la actitud que se adopte ante</p>	<p>IMPLANTACION</p> <p>Es la fase en que el sistema se materializa zado. Al implantarse un sistema se tiene que hacer una nueva revisión de los ele- mentos significativos que hayan podido va- riar.</p>		<p>OPERACION Y CONTROL</p> <p>La fase de operación es el período que transcurre desde la puesta en marcha de las operaciones hasta que estas son sujetadas satisfactoriamente. La fase de control esta dirigida hacia el logro de los objetivos planteados.</p>
<p>EVALUACION EX-ANTE DE OPCIONES</p> <p>Se evalúan las opciones obtenidas, aplicándose un juicio generado en la comparación de los posibles resultados que se obtendrán con cada opción, respecto de los objetivos o marcos de comparación que se establezcan para ello.</p>	<p>SELECCION</p> <p>La selección de la mejor opción de mejoramiento o corrección, comprende la valoración de la evaluación-ex-ante. Es una fase en que se toma la decisión de implantar la opción que más satisfaga.</p>	<p>IMPLANTACION DE LA OPCION SELECCIONADA</p> <p>Al introducir al sistema un nuevo elemento o mecanismo operativo, se están transformando en alguna forma, las condiciones que existían en cada uno de los elementos, en la medida que hallan estado interconectados. Esta fase cumple con la tarea de realizar la maniobra con perturbaciones mínimas.</p>	<p>CONTROL</p> <p>El control consiste en minimizar o anular los problemas que se presentan al producirse cambios internos en los sistemas productivos.</p>

III. APLICACIONES DE UNA METODOLOGIA DEL
ENFOQUE DE SISTEMAS A PROBLEMAS DEL
AREA DE INGENIERIA AMBIENTAL.

CAPITULO III

APLICACIONES DE UNA METODOLOGIA DEL ENFOQUE DE SISTEMAS A PROBLEMAS DEL AREA DE INGENIERIA AMBIENTAL.

III.1. Optimizar un sistema de abastecimiento de Agua Potable a una población: Santiago Papasquiario, Dgo.

Descripción del Problema.

Ubicación Geográfica.

El municipio de Santiago Papasquiario, cuya cabecera es la ciudad del mismo nombre, se ubica en la zona centro oeste del Estado de Durango limitando al norte con los municipios de Canelas, Tepehuanes y Santa María del Oro, al sur con los municipios de San Dimas y Santa María de Otates, al oriente con los municipios de Canatlán y Coneto de Comonfort y al poniente con el municipio de Tamazula. Geográficamente se ubica entre los $24^{\circ} 35'$ y $25^{\circ} 20'$ de latitud norte y los $105^{\circ} 05'$ y $106^{\circ} 20'$ de longitud oeste, respecto al meridiano de Greenwich, con una extensión total de 7,238 km²; lo que representa el 3.63% del total del Estado que es de 199,648 km². (8)

El agua es un recurso vital en la conformación de los asentamientos humanos. El municipio de Santiago Papasquiario

presenta un bajo aprovechamiento de su potencial, tanto para la dotación de agua potable para uso humano, como para su utilización en agricultura de riego.

Las condiciones hidrológicas del municipio exigen optimar sus recursos, para incrementar áreas de riego, controlar los cauces torrenciales mediante obras que retengan el agua y a la vez que eviten la posibilidad de erosión. (8)

Santiago Papasquiaro, Dgo. fué abastecido de agua hasta 1970, para una población de 6,636 habitantes, pero debido a factores como: altas tasas de natalidad, desarrollo tecnológico, establecimiento de nuevas industrias, etc., la población se incrementó en los últimos años a más del doble de la que contaba en 1970. Por otro lado, se tienen planes para el desarrollo industrial y de la agricultura.

Las autoridades están preocupadas por hacer frente a las crecientes demandas de agua potable y optimar este preciado recurso. Por otra parte, existen diversas fuentes potenciales de abastecimiento superficiales y subterráneas factibles de explotarse, presentando cada una de ellas características diferentes en cuanto a costos y caudales de explotación.

El problema se presenta en tratar de crear un sistema productivo que sea capaz de satisfacer las demandas de agua

potable actuales y futuras para los usos domésticos, industrial y riego, al menor costo posible, considerando las características técnicas y operativas de cada fuente, así como las diferentes demandas que se observarán a través del tiempo de vida de dicho sistema (vida económica).

Este tipo de problema corresponde a un caso de modificación de un sistema existente (ya que la población era abastecida normalmente hasta 1970) en su modalidad de ser un sistema de expansión. Por lo tanto se aplicará la metodología descrita para este tipo de problema, el método sistemático de planeación.

III.1.1. Ubicación del sistema.

Este punto requiere 3 conceptos importantes:

Temporal (duración del sistema), Espacial (Mundial, internacional, nacional, estatal, municipal, local y puntual) y Sectorial (primario, secundario y terciario).

Para el caso que nos ocupa, la planeación se hará para un período de 13 años, ya que para este tipo de obra son los períodos que se recomiendan, además la vida económica de sus componentes (tuberías, equipo, etc. están dentro de este rango.

El sistema que se pretende implantar queda a nivel municipal.

pal, ya que su rango de acción físico y financiero queda limitado por la gestión de las autoridades de Santiago Paspasquiario.

El sector en el que queda ubicado el sistema en cuestión, es el terciario que corresponde a comercio y servicios. En este caso a servicios.

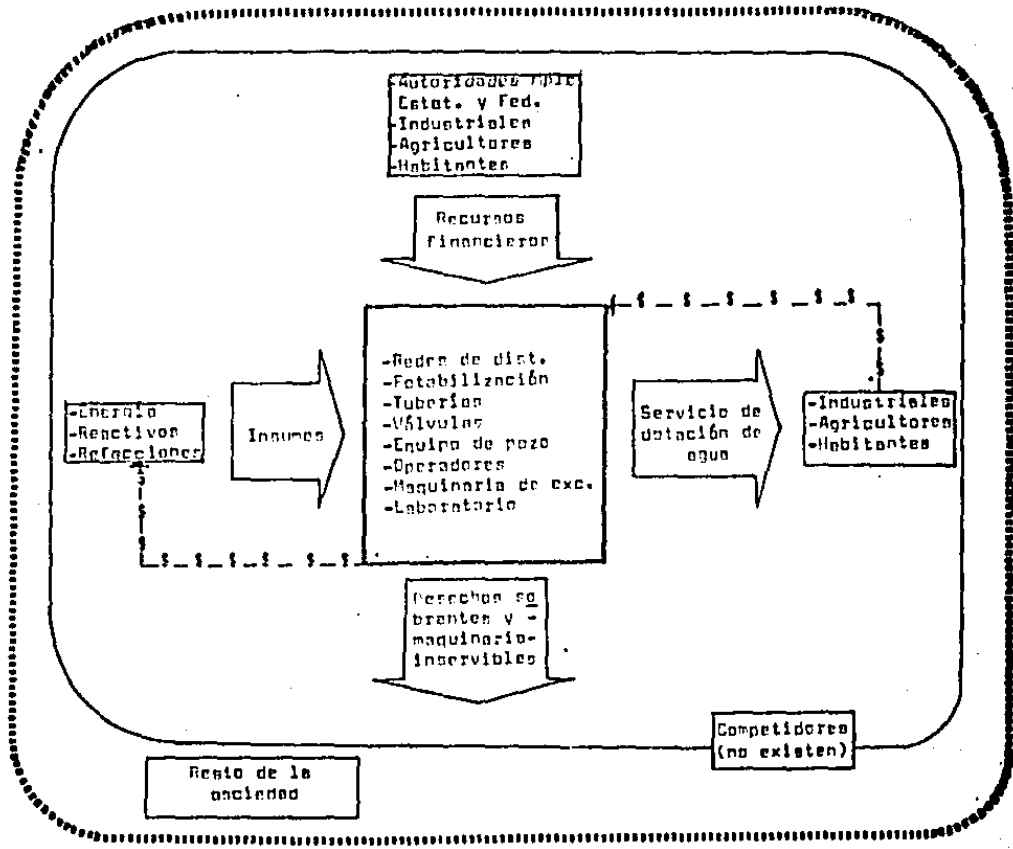
III.1.2. Análisis del entorno.

Para el presente caso, en la fig. 3.1.1. se presenta el modelo productivo que corresponde al sistema de abastecimiento y consumo de agua, según las diferentes ofertas y demandas de agua potable que se tienen detectadas.

Dado que aquí el problema es sólo de optimar recursos y proporcionar servicio a la población, industria y agricultura, el concepto de estudio de mercado, para este caso no es importante. Se parte de una demanda creciente de agua la cual hay que satisfacer. Se considera que existirán suficientes recursos financieros para la construcción de las obras, se estima que no habrá problemas de proveedores y los impactos ambientales siempre serán positivos.

Por otro lado, se describirá la información básica relevante para este tipo de sistema.

Consideraremos la población actual, del orden de 12,000 ha ha



———— Entorno de 1o. orden
 Entorno de 2o. orden

Figura 3.1.1 Modelo productivo del sistema de abastecimiento de agua de Santiago Papasquiaro, Dgo.

bitantes. Los planes de desarrollo industrial, incluyen solamente el establecimiento de industrias de pulpa y papel, ya que en la actualidad se está desperdiciando el aserrín y la viruta que produce un aserradero ubicado cerca de la población; por lo tanto, estos productos no utilizados podrían ser empleados como materia prima de dicha industria.

Los planes de desarrollo de la agricultura se basan en el cultivo de la soya, cebada y otros cultivos, en las proximidades de la población, con el propósito de beneficiar a sus habitantes.

Se tiene proyectado abastecer de agua a Santiago Papasquiario, en tal forma que se cubran las demandas actuales debidas al incremento de población y al desarrollo agrícola e industrial, para lo cual ya se tienen ubicadas las fuentes posibles de abastecimiento. La población es abastecida actualmente por el Manantial Tarimoro y un pozo profundo que capta aguas subterráneas. Las fuentes de abastecimiento que serán explotadas para satisfacer las demandas actuales y futuras son:

- . El Río Santiago Papasquiario, que pasa por las afueras de la población.
- . Se excavará un pozo profundo para captar aguas subterráneas. Este pozo se localizará aproximadamente

damente a 200 m. rumbo al norte del pozo que se explota actualmente.

- Puesto que del pozo que se explota actualmente, se extr e un gasto menor al gasto máximo de explotación, también consideramos como fuente de suministro, al mismo.

En el anexo se presenta el plano de la población y las --- principales características de importancia para el presente trabajo.

En la tabla 3.1.1. se presentan las demandas futuras de -- agua para los usos domésticos, industrial y riego. En la tabla 3.1.2. se proporcionan los volúmenes de agua de los diferentes suministros con que cuenta la población.

Tabla 3.1.1. RESUMEN DE DEMANDAS FUTURAS PARA LA POBLACION DE SANTIAGO PAPASQUIARO, DGO.

U S �	DEMANDA FUTURA		
	l/seg	m ³ /seg	m ³ /día
Doméstico	65.79	0.06579	5684.25
Industrial	113.016	0.113016	9764.58
Riego	30.80	0.0308	2661.12

= 18109.9595

Tabla 3.1.2. VOLUMENES DE AGUA DE LOS DIFERENTES SUMINISTROS.

Fuentes de Suministro	Gasto Actual de explotación (l/seg)	Gasto Potencial de explotación (l/seg)		Capacidad máxima de explotación	
		normal	máximo	l/seg	m ³ /día
FUENTE No. 1 Manantial Tarimoro (explotado actualmen te).	17.5	85	90.27	85	7344
FUENTE No. 2 Rfo Santiago Papas-- quiario (proyecto)	0	70	81.00	70	6048
FUENTE No. 3 Pozo No. 1 (explotado actualmen te)	20.00	25	37.03	25	2160
FUENTE No. 3 Pozo No. 2 (proyecto)	0	40	52.08	40	3456

Ahora se presentan los factores económicos que tienen incidencia en la formulación de las posibles alternativas - para la correcta asignación y distribución de agua.

Los factores económicos son los costos unitarios para obtener un m^3 de agua de cada fuente, considerando costo -- por operación y mantenimiento, inversión en las obras de extracción, equipo, transportación y todos aquellos cos-- tos que de alguna manera influyen en el sistema.

Debido a que tal información en algunos casos está muy -- restringida, se realizó un análisis un poco grueso de algunos costos de conceptos como equipo y tubería.

En la tabla No. 3.1.3. se resumen los costos unitarios -- por concepto de la operación, mantenimiento y explotación.

En la tabla No. 3.1.4. se presentan los costos por concep-- to de la conducción del agua, desde cada una de las fuen-- tes a cada uno de los destinos.

Tabla 3.1.3. RESUMEN DE COSTOS DEL SISTEMA PRODUCTIVO.

Fuente	Caudal explotado ($m^3/día$)	Costos por metro cúbico ($\$/m^3$)	
		Operación y Mtto. (1)	Explotación (2)
No. 1 Manantial Tarimoro	7344	2.33	4.50
No. 2 Rfo Santiago	6048	6.61	22.45
No. 3 Pozos 1 y 2	5616	2.67	4.51

- (1) Para la fuente No. 1, se consideraron los costos por personal, cuyo sueldo diario total ascendió a \$ 17,143.00.

Para la fuente No. 2 fué de \$ 40,000.00 diarios ya que se incluye el mantenimiento de una planta potabilizadora.

Para la fuente No. 3 ascendió el costo por personal a \$ 15,000.00 por día.

- (2) Estos costos incluyen los de operación y mantenimiento, valor de rescate, equipo, depreciación, lubricantes, combustibles, e inversión inicial.

Para la fuente No. 1 se consideró un gasto por explotación por día de \$ 33,047.00.

Para la fuente No. 2 se consideró un gasto por explotación por día de \$ 135,785.00. Este costo incluye la amortización de la inversión de la planta potabilizadora.

Para la fuente No. 3 se consideró un gasto por explotación por día de \$ 25,318.00. Incluye la amortización de la inversión de la perforación del pozo No. 2 y su equipamiento.

Tabla 3.1.4. RESUMEN DE COSTOS POR TRANSPORTACION DE AGUA A LOS DIFERENTES SITIOS DE DEMANDA

F u e n t e	Centros de Demanda	Distancias (m)	Capacidad de explotacion ($m^3/día$)	Costo ($\$/m^3$)
No. 1: Manantial Tarimoro	- Riego	3,000	2661	1.47 (a)
	- Tanque de abastecimiento	2,500	5684	0.74 (b)
	- Industria	3,900	7344	0.95 (c)
No. 2: Río Santiago	- Riego	1,050	2661	0.51 (d)
	- Tanque de almacenamiento	500	5150	0.16 (e)
	- Industria	1,400	5150	0.46 (f)
No. 3: Pozos 1 y 2	- Riego	700	2661	0.34 (g)
	- Tanque de almacenamiento	1,400	5616	0.44 (h)
	- Industria	1,000	5616	0.32 (i)

Observaciones: Estos costos incluyen costo de la tubería y el período de la vida útil (13 años).

(a) La inversión tubería es de 18.6 millones de pesos, obteniéndose un costo diario de \$ 3,920.00.

(b) El costo de la tubería se consideró de 20 millones de pesos, obteniéndose un costo diario de \$ 4,215.00.

(c) El gasto industrial es de $9,764.6 M^3/día$ pero como el

- gasto máximo que podemos explotar de esta fuente es - de 7344 m³/día, por lo tanto se tomó este gasto para calcular el costo de la conducción. El costo de la tubería se consideró de 33.15 millones de pesos, obteniéndose un costo diario de \$ 6,986.00.
- (d) El costo de la tubería se consideró de 6.5 millones de pesos, obteniéndose un costo diario de \$ 1,372.00.
- (e) El gasto futuro de la población será de 5684.25 m³/día, pero como el gasto máximo que se puede obtener de esta fuente es de 5150 m³/día, por lo tanto se tomó éste gasto para calcular el costo de la conducción. El costo de la tubería se consideró de 4 millones de pesos, obteniéndose un costo diario de \$ 843.00.
- (f) Se presenta el mismo caso de (c) por lo tanto se tomará el gasto máximo de esta fuente de 5150 m³/día. El costo de la conducción es de 11.2 millones de pesos, obteniéndose un costo diario de \$ 2,360.00.
- (g) La zopa de riego necesita 2661 m³/día y la fuente No. 3 esta formada por los pozos 1 y 2 cuyos gastos de explotación son 2160 y 3456 m³/día. Por lo tanto se tomó el agua del pozo No. 2 para el análisis de costos de transportación. El costo de tubería es de 4.3 millones de pesos, obteniéndose un costo diario de \$ 914.00.
- (h) Se incluye el costo de la tubería del pozo No. 2 a la

unión con la tubería del pozo No. 1 (existente) que tendrá una longitud de 350 m. La longitud de la unión de las tuberías al centro de demanda será de 1,050 m. El costo de la tubería de 350 m. es de 2.17 millones de pesos, obteniéndose un costo diario de \$ 457.00 y un precio unitario de \$ 0.13/m³. El costo de la tubería de 1,050 m. es de 8.4 millones de pesos, obteniéndose un costo diario de \$ 1,770.00 y un precio unitario de \$ 0.31/m³. El costo total será: \$ 0.13/m³ + \$ 0.31 = \$ 0.44 m³.

- (i) El gasto máximo que se puede obtener de esta fuente es de 5616 m³/día y la industria demanda 9764 m³/día, por lo tanto se toma el primer gasto para el análisis de conducción. El costo unitario para unir las dos tuberías del pozo No. 2 al pozo No. 1 existente es de \$ 0.13/m³. El costo de la tubería de conducción del punto de unión de las tuberías de conducción de los pozos 1 y 2, hasta la industria, se consideró de 5.2 millones de pesos, obteniéndose un costo diario de \$ 1,096.00 y un precio unitario de \$ 0.19/m³. El costo será: \$ 0.13/m³ + \$ 0.19/m³ = \$ 0.32/m³.

Ahora ya se tienen los elementos económicos para el análisis y elaboración de diseños alternativos.

III.1.3. Elaboración de Diseños Alternativos.

Esta fase marca una de las principales diferencias entre el método de los sistemas y el método científico, por el simple hecho de crear al objeto, o sea el sistema productivo.

Es una fase en la que se sintetiza los diversos aspectos logrados mediante el análisis del entorno.

Una vez obtenida la información de las fases anteriores, se elaborarán los diseños alternativos, tomando en consideración:

- . Conocer el volumen de explotación de cada una de las fuentes de abastecimiento a fin de satisfacer las demandas de la población, industria y riego, de tal forma que los costos de explotación del agua sean mínimos.
- . Conocer que cantidad de agua de cada una de las fuentes de suministro debemos asignar a las demandas, de tal manera que los costos de transportación sean mínimos.

Para lograr lo anterior, se determinarán las cantidades de agua que se explotarán de cada fuente, y las distancias a los centros de demanda. En otras palabras, dado

que se necesita agua (demanda) es necesario optimizar -- las fuentes existentes (oferta).

Debido al tipo de problema, el esquema seleccionado será aquel que resulte más económico, considerando las tres - fuentes de abastecimiento y los tres centros de demanda.

III.1.4. Evaluación Ex-Ante de Diseños Alternativos.

Se ha obtenido la información técnico económica necesaria para evaluar las condiciones actuales, en cuanto a - oferta y demanda.

Los actores del sistema son los usuarios y las autoridades municipales, cuyo objetivo común es obtener agua para los tres usos definidos, (doméstico, industrial y riego) en forma suficiente y a bajo costo. Podría indicarse que figuran en forma importante para la evaluación -- (aunque estén fuera del sistema), las fuentes de financiamiento, proveedores de equipo, refacciones y tubería, entre otros. No tienen importancia, para este tipo de sistema, los competidores y los desechos.

Es posible construir una matriz de evaluación en que por un lado los actores del sistema sean las autoridades municipales, personal, financieros, proveedores y los usuarios. Por otro lado los impactos considerados son los

financieros, económicos, sociales, políticos y técnicos.

Por los alcances del trabajo, esta evaluación no se llevará al detalle como lo indica el Método de Sistemas. - Además, por el tipo de sistema que se pretende crear, la evaluación de los conceptos arriba mencionados se enfocan en optimizar la asignación de agua para las diferentes demandas actuales y futuras desde el punto de vista económico.

III.1.4.1. Elementos Básicos para la Evaluación.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las fases anteriores, se obtienen las siguientes tablas:

Tabla 3.1.5. COSTOS POR OPERACION MANTENIMIENTO Y EXPLOTACION.

Fuente	Operación y Mtto. (\$/día)	Explotación \$/día	Precio Unitario ₃ por Explotación \$/m ³ .
1	17,143	33,047	4.50
2	40,000	135,785	22.45
3	15,000	25,318	4.51

Tabla 3.1.6. COSTOS POR TRANSPORTACION DE AGUA $\$/m^3$.

Destino	Fuente No. 1	Fuente No. 2	Fuente No. 3
Riego	1.47	0.515	0.34
Tanque de regularización	0.74	0.16	0.44
Industria de pulpa y papel	0.95	0.46	0.32

Cabe aclarar que en los costos de las tablas anteriores, está implícito el caudal de explotación de las fuentes y las distancias de las ofertas y demandas.

Según se aprecia de las tablas anteriores, los costos más bajos por explotación (incluye operación y mantenimiento) corresponden a la fuente No. 1 y los más altos a la fuente No. 2. La diferencia entre las fuentes No. 1 y No. 3 es mínima. Esto indica que tendría que darse preferencia a la explotación de estas 2 fuentes.

Por otro lado, los costos más bajos por transportación de agua corresponden: para riego, los de la fuente No. 3; para uso doméstico, los de la fuente No. 2 y para uso industrial, los de la fuente No. 3.

De acuerdo con lo anterior, para fines de explotación las

fuentes más adecuadas son la No. 1 y No. 3 y para fines de transportación de agua las fuentes más adecuadas son la No. 3 y No. 2.

No es fácil definir cuál es el esquema de solución para hacer una distribución de agua óptima. De acuerdo con las evaluaciones anteriores, se aprecia que para la explotación unas fuentes son más adecuadas y para distribución son otras.

Se debe considerar además, la capacidad de explotación de cada fuente, o sea, no por el hecho de tener bajos costos de explotación y distribución, se piense que se puede obtener toda el agua demandada.

Además de considerar los costos por explotación y distribución del sistema, se debe evaluar la cuota que los usuarios estén dispuestos a aportar. En este caso, se consideró una aportación de \$70,000.00 diarios.

En la fase siguiente, se hará uso de las herramientas de programación matemática para solucionar el esquema de solución del sistema productivo.

III.1.5. Selección.

Fundamentalmente el problema se presenta en seleccionar

los incisos a y b siguientes:

- a) Determinar el volumen de explotación de cada una de las fuentes de abastecimiento a fin de satisfacer las demandas de la población de Santiago Papasquiaro, industria y riego, de tal forma que los costos de explotación sean mínimos.
- b) Manejo y optimización de la cantidad de agua de cada una de las fuentes de suministro que debemos asignar a las demandadas, de tal manera que los costos de transportación y/o los costos de tratamiento, sean mínimos.

Es aquí donde se hará uso de las herramientas de programación matemática, a través de la aplicación de la programación lineal y las técnicas computacionales para alcanzar nuestro objetivo.

Se aplicará el método simplex para encontrar la solución al inciso "a" y el modelo de transporte, que es una derivación del simplex, para solucionar el inciso "b".

Modelo de Programación Lineal.

Función Objetivo:

Puesto que nos interesa minimizar los costos de explotación del agua de las diferentes fuentes de suministro, -- nuestro problema es de minimización. Por lo tanto, la -- función objetivo estará representada por:

$$\text{MINIMIZAR} \quad Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3$$

donde:

Z = Función objetivo por minimizar.

C_1 = Costo unitario por concepto de la explotación de 1 m^3 de agua de la fuente No. 1.

X_1 = Gasto de agua que será explotado de la fuente No. 1 ($\text{m}^3/\text{día}$).

C_2 = Costo unitario por concepto de la explotación de 1 m^3 del agua de la fuente No. 2.

X_2 = Gasto de agua que será explotado de la fuente No. 2 ($\text{m}^3/\text{día}$).

C_3 = Costo unitario por concepto de la explotación de 1 m^3 del agua de la fuente No. 3.

X_3 = Gasto de agua que será explotado de la fuente No. 3 ($\text{m}^3/\text{día}$).

RESTRICCIONES.

1a. Restricción:

$$X_1 + X_2 + X_3 = M$$

Donde:

M = Gasto máximo o futuro demandado por la población para uso doméstico, industrial y riego, (m³/día).

2a. Restricción:

$$X_1 \leq A$$

Donde:

A = Gasto máximo de explotación de la fuente No. 1, en (m³/día). Para nuestro caso A = 7344 (m³/día).

3a. Restricción:

$$X_2 \leq B$$

Donde:

B = Gasto máximo de explotación de la fuente No. 2,

en ($m^3/\text{día}$). Para nuestro caso: $B = 6048 m^3/d$.

4a. Restricción:

$$X_3 \leq C$$

Donde:

C = Gasto máximo de explotación de la fuente No. 3, ($m^3/\text{día}$). Para nuestro caso $C = 5616 (m^3/\text{día})$.

5a. Restricción:

$$c_1 X_1 + c_2 X_2 + c_3 X_3 \leq N$$

Donde:

c_1 = Costo unitario de $1 m^3$ de agua por concepto del mantenimiento y operación del sistema de la fuente No. 1

c_2 = Costo unitario de $1 m^3$ de agua por concepto del mantenimiento y operación del sistema de la fuente No. 2

c_3 = Costo unitario de $1 m^3$ de agua por concepto del mantenimiento y la operación del siste-

ma de la fuente No. 3

N = Cantidad diaria que están dispuestos a pagar el municipio, los industriales y los beneficiarios por el riego; por concepto de la operación y mantenimiento de los sistemas de cada una de las fuentes de abastecimiento.

a) Método Simplex.

De acuerdo con la nomenclatura antes expuesta, la función objetivo quedará establecida en la forma siguiente:

$$\text{Minimizar } Z = 4.50 X_1 + 22.45 X_2 + 4.51 X_3$$

Sujeta a las siguientes restricciones:

$$\begin{array}{rcll} X_1 & + & X_2 & + & X_3 & \geq & 18,110 \\ & & & & & & 7,004 \\ & & X_2 & & & \leq & 6,048 \\ & & & & X_3 & \leq & 5,616 \\ 2.33 X_1 & + & 6.61 X_2 & + & 2.67 X_3 & \leq & 70,000 \end{array}$$

$$X_j \geq 0, \text{ para toda } j$$

Dividiendo la función objetivo y la quinta restricción en

tre el coeficiente de las variables "X", tenemos:

$$\begin{array}{rcll}
 \text{Min } Z & = & X_1 & + & X_2 & + & X_3 & \geq & 18,110 \\
 & & X_1 & & & & & \leq & 7,344 \\
 & & & & X_2 & & & \leq & 6,048 \\
 & & & & & & X_3 & \leq & 5,616 \\
 & & X_1 & + & 2.83 X_2 & + & 1.14 X_3 & \leq & 30,043
 \end{array}$$

$$X_j \geq 0, \text{ para toda } j$$

Agregando variables ficticias y de holguras a la función objetivo y las restricciones, tendremos:

$$\text{Min } Z = X_1 + 4.98 X_2 + X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9$$

Sujeto a:

$$\begin{array}{rcll}
 X_1 + & X_2 + & X_3 - X_4 + & & + X_9 & = & 18,110 \\
 X_1 & & & + X_5 & & = & 7,344 \\
 & X_2 & & + X_6 & & = & 6,048 \\
 & & X_3 & + X_7 & & = & 5,616 \\
 X_1 + 2.83 X_2 + 1.14 X_3 & & & + X_8 & & = & 30,043
 \end{array}$$

Resolviendo por el método simplex, se tienen los siguientes resultados:

$$\begin{aligned}
 X_1 &= 7,344 \text{ m}^3/\text{día.} \\
 X_2 &= 6,048 \text{ m}^3/\text{día.} \\
 X_3 &= 4,718 \text{ m}^3/\text{día.} \\
 X_7 &= 898 \text{ m}^3/\text{día.} \\
 X_8 &= 11,272 \text{ m}^3/\text{día.}
 \end{aligned}$$

Las variables de holgura X_7 y X_8 tienen un costo de cero.

El valor real de la función objetivo, se obtendrá multiplicando el valor anterior por 4.50.

$$Z = 42,181.04 \times 4.50 = \$189,814.68$$

Que será el costo total diario debido a la explotación del agua de las tres fuentes.

Entonces, se tendrá que explotar las cantidades de agua siguientes, de cada una de las tres fuentes, para que nuestros costos de explotación de agua sean mínimos.

La fuente No. 1 (Manantial Tarimoro) se explotará en su totalidad; es decir, se explotará un gasto de 7,344 $\text{m}^3/\text{día.}$

De la fuente No. 2 (Río Santiago Papasquiari), se explotará el gasto total 6,048 $\text{m}^3/\text{día.}$

En cuanto a la fuente No. 3 (Pozos 1 y 2), se explotará - un gasto de $4,718 \text{ m}^3/\text{día}$.

b) Modelo de Transporte.

Distribución óptima de ofertas y demandas de agua.

Para la aplicación del modelo de transporte al problema, es necesario utilizar la información obtenida de las demandas de agua futuras, para cada uno de los destinos, -- las cantidades de agua que deben explotarse de cada una de las fuentes y los costos unitarios por transportar un metro cúbico de agua, desde cada una de las fuentes, hacia los destinos.

De la información obtenida anteriormente, se formó la tabla 3.1.7.

FUENTE	Destino (j)			Disponibilidades de cada uno de los orígenes ($\text{m}^3/\text{día}$)
	riego	doméstico	industrial	
Fuente No. 1 Manantial Tarimoro. (1)	1.47	0.74	0.95	7344
Fuente No. 2 Rfo Santiago (2)	0.51	0.16	0.46	6048
Fuente No. 3 Pozos No. 1 y 2 explotación aguas subterráneas. (3)	0.34	0.44	0.32	4718
Demandas de agua de c/u de los destinos. ($\text{m}^3/\text{día}$)	2661.17	5684.25	9764.58	18110

Tabla 3.1.7 MATRIZ DE COSTOS UNITARIOS DE CONDUCCION DEL AGUA ($\$/\text{M}^3$)

En la tabla 3.1.8 se muestra la asignación del agua de las diferentes fuentes a cada uno de los destinos obtenidos con el método de la columna mínima y que representa la solución básica factible.

1.47	0.74	0.95	7344	7344	a1	
0.51	0.16	0.46	5684.25	363.75	6048	a2
0.34	0.44	0.32	2661.17	2056.83	4718	a3
2661.17	5684.25	9764.58	18110	-	-	
b_1	b_2	b_3				

Tabla 3.1.8 SOLUCION BASICA FACTIBLE

Por lo tanto:

$$X_{31} = 2661.17 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$X_{22} = 5684.25 \text{ "}$$

$$X_{23} = 363.75 \text{ "}$$

$$X_{13} = 7344.0 \text{ "}$$

$$X_{33} = 2056.83 \text{ "}$$

Las demás " X_{ij} " tienen valor cero

Para que la solución básica sea no-degenerada, debemos tener $m + n - 1$ entradas positivas (X_{ij}).

Por lo tanto:

$$m = 3$$

$$n = 3 \dots \text{deberán ser } m+n-1 = 3+3-1=5 \text{ entra-}$$

das positivas para que la solución básica sea no-degenerada.

Como se observa en la tabla anterior existen 5 casilleros con entradas positivas, por lo tanto, nuestra solución básica es no-degenerada. Entonces, estamos en condiciones de aplicar el método de Stepping-Stone para obtener la solución óptima a partir de la solución básica factible.

El valor de la función objetivo para la solución básica factible es:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} = C_{11} X_{11} + C_{12} X_{12} + C_{13} X_{13} + C_{21} X_{21} + C_{22} X_{22} + C_{23} X_{23} + C_{31} X_{31} + C_{32} X_{32} + C_{33} X_{33}$$

$$Z = 1.47(0) + 0.74(0) + 0.95(7344) + 0.51(0) + 0.16(5684.25) + 0.46(363.75) + 0.34(2661.17) + 0.44(0) + 0.32(2056.83)$$

$$Z = \$ 9,617.22 \text{ diarios.}$$

Obtención de la Solución Óptima.

Se aplicó el método de Stepping - Stone para encontrar la solución óptima, la cual se representa en la tabla 3.1.9.

Tabla 3.1.9, DISTRIBUCION OPTIMA DEL AGUA (M³/DIA).

Origen	D e s t i n o			Total
	riego	doméstico	industrial	
No. 1	-	-	7344.00	7344.00
No. 2	-	5684.25	363.75	6048.00
No. 3	2661.17	-	2056.83	4718.00
Suma	2661.17	5684.25	9764.58	18110.00

5.2 Selección del esquema óptimo para el sistema del abastecimiento del agua de Santiago Papasquiario.

De la fuente No. 1 (Manantial Tarimoro), se explotará en su totalidad, es decir se explotará un gasto de 7344 m³/día. De la fuente No. 2 (Río Santiago Papasquiario), se explotará el gasto total 6048 m³/día. La fuente No. 3 (pozo 1 y 2) se explotará un gasto de 4718 m³/día.

Del Manantial Tarimoro, se deberá transportar un gasto de 7344 m³/día para uso de la industria de pulpa y papel.

Del río Santiago Papasquiario se transportará un gasto de 5684.25 m³/día para uso doméstico y un gasto de 363.75 m³/día a la industria de pulpa y papel.

De los pozos 1 y 2 para extracción de agua subterránea, se

debe transportar un gasto de 2661.17 m³/día. Para riego, y un gasto de 2056.83 m³/día a la industria de pulpa y papel. Lo anterior se puede apreciar en la fig. 3.1.2.

IMPLANTACION - OPERACION Y CONTROL.

Las siguientes fases del Método corresponden a la construcción del sistema. Una vez implantado se desarrollan las fases de operación y control.

III.2. EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES EN LOS PROYECTOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Descripción del problema.

Ubicación Geográfica.

La ciudad de Tepic, Nay. Se localiza en las coordenadas - 104° 53' 07 longitud Oeste y 21° 30' latitud Norte, y una altitud de 915 m.s.n.m., con una extensión de 1,629 Km², - el municipio de Tepic, se encuentra en la parte central -- del Estado, limitando al Norte con el municipio de Santiago Ixcuintla y El Nayar, al sur con Xalisco, al Oriente -- con El Nayar y Santa María del Oro y al Poniente con San Blas; actualmente, la mancha Urbana de la Ciudad de Tepic ocupa una extensión aproximada de 26.6 Km². La población del municipio de Tepic fue en 1970 de 110,939 habitantes, mientras que para 1980 se registró una población de 117,007

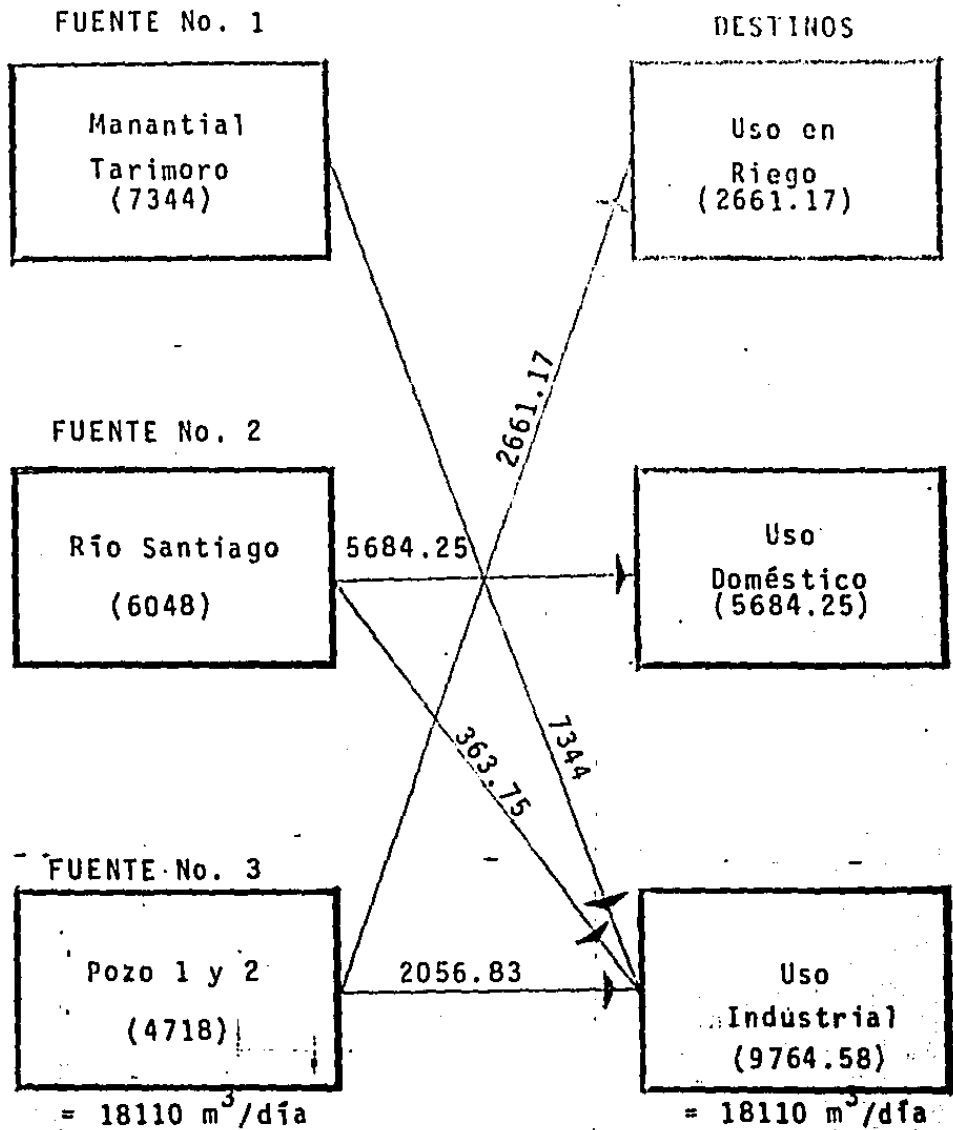


Figura 3.1.2 Distribución óptima del sistema de abastecimiento. Santiago Papasquiario, Dgo.

personas. (9)

Las autoridades municipales de Topic, desean establecer -- una planta de tratamiento de aguas residuales a fin de resolver el problema de contaminación del agua del río Molo-loa, principal cuerpo receptor de las descargas de aguas residuales de la población y la industria de esta zona, y además utilizar las aguas residuales tratadas en los usos más convenientes, de acuerdo con el nivel de tratamiento -- que es posible darles.

Asimismo, desean conocer que en caso de no poder tratar -- sus aguas residuales, que usos serían los más indicados.

Se pretende implantar un sistema productivo que produzca -- agua tratada para resolver el problema de contaminación -- del agua de un cuerpo receptor y definir los posibles usos que se podrán dar a las aguas una vez tratadas.

Se ha visto que la gran variedad de elementos contaminan-- tes que contienen las aguas residuales pueden producir una serie de perjuicios sobre las aguas del cuerpo receptor -- que las reciba, tales como: malos olores, muerte de peces, limitación del uso del agua para fines agrícolas, indus-- triales, etc. Por tanto el tratamiento de las aguas resi-- duales debe encaminarse para evitar estos perjuicios.

Para eliminar los elementos contaminantes de las aguas, --

existen una gran variedad de procesos de tratamiento. Las alternativas a considerar deben implicar bajos costos de construcción y mantenimiento y simplicidad en su operación.

Es importante además, efectuar un estudio de impacto ambiental que evalúe las diferentes alternativas propuestas, ya que en un gran número de casos en el país, la decisión conceptual de las plantas de tratamiento se ha tomado en forma aislada, sin realizar una evaluación del impacto ambiental que ocasionan las aguas residuales por controlar.

3.2.1. Ubicación del Sistema.

La planeación del sistema productivo de una planta de tratamiento y la definición de los usos más adecuados de las aguas residuales tratadas se hará para un período de 13 años de vida útil.

El sistema que se pretende implantar queda a nivel municipal, ya que su rango de acción físico y financiero queda limitado por la gestión de las autoridades de Tepic.

El sector que queda ubicado el sistema, es el terciario que corresponde a comercio y servicios, especialmente a servicios.

3.2.2. Análisis del Entorno.

2.1. Modelo general del sistema productivo.

Los recursos financieros para la construcción del sistema se propone que sean vía crédito, a través de BANOBRAS, con apoyo económico de los usuarios del sistema, que en este caso es el propio municipio que deberá imponer cuota por tratamiento a los habitantes.

Las componentes internas del modelo del sistema productivo corresponden a las instalaciones de la planta de tratamiento, equipo utilizado en la operación, personal encargado de operar la planta, patronato, energía, etc.

Los desechos del sistema son todos biológicos y basuras -- que son producto de la depuración del agua residual. Estos desechos son altamente contaminantes y su disposición final se propone que sean a través de áreas de secado, para estabilizarlos y disponerlos finalmente en rellenos sanitarios.

Los proveedores del sistema son los encargados de suministrar la tubería, equipo, reactivos, para análisis, etc. y se considera que no habrá problemas de suministro.

El producto final, será el agua residual tratada que deberá estudiarse cuidadosamente su disposición final, de tal manera que satisfaga dos condiciones: a) Uso adecuado del agua tratada y b) No ocasionar posibles problemas a cuer--

pos receptores.

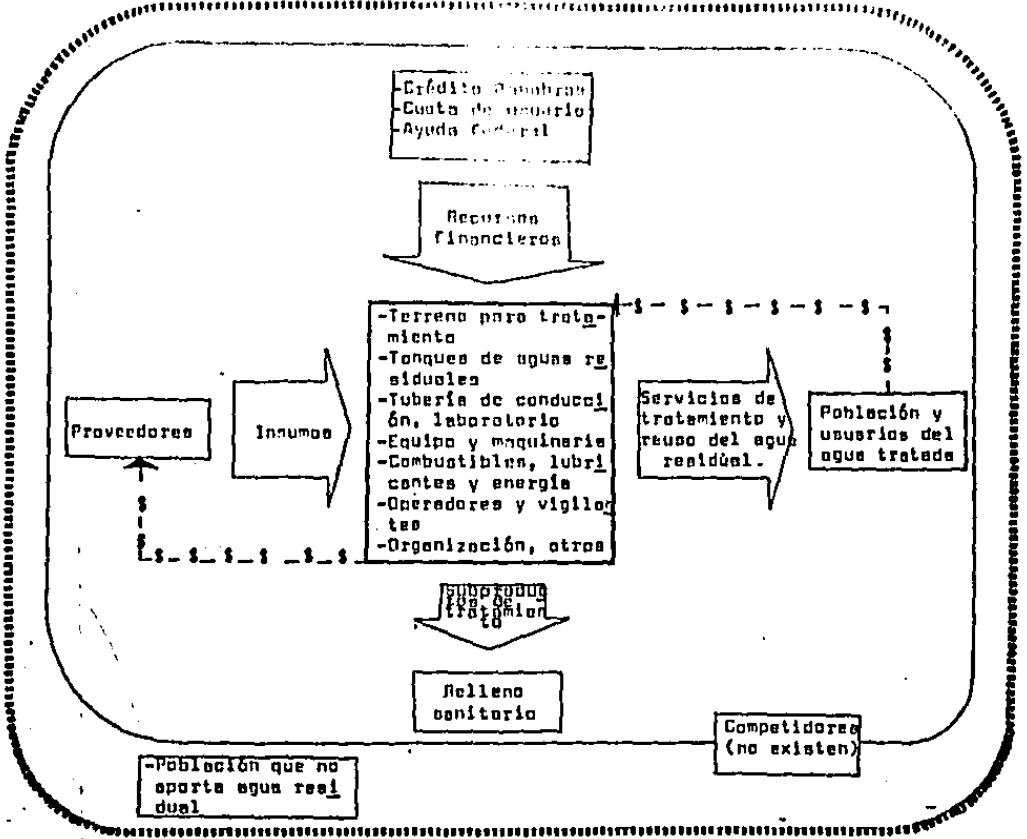
El impacto ambiental que tendrá este sistema será sumamente beneficioso, ya que vendrá a sanear un cuerpo receptor y la disponibilidad para el uso del agua tratada.

En la figura 3.2.1. se puede apreciar el esquema del Modelo General del Sistema Productivo.

Criterios de Calidad de las Aguas de los Cuerpos Receptores para Diversos Usos.

Normalmente las aguas de los cuerpos superficiales, que reciben las aguas residuales provenientes de los alcantarillados municipales son empleadas en diversos usos, tales como: Abastecimiento de aguas a poblaciones, Recreación, Riego de cultivos, Desarrollo de vida acuática, etc. De ahí la importancia de establecer ciertos criterios de calidad para las aguas de los cuerpos receptores con base en los requerimientos demandados por cada uno de los usos antes mencionados.

El uso de las aguas superficiales para propósitos de abastecimiento público, es considerado como uno de los más esenciales, por tanto, deberá estar libre de sustancias y restos flotantes atribuibles a vertidos municipales, industriales o de otra procedencia en cantidades suficientes pa



———— Entorno de 1o. orden
..... Entorno de 2o. orden

Figura 3.2.1 Sistema productivo de la planta de tratamiento de aguas residuales de Tepic, Nay.

ra que sean: estéticamente desagradables; produzcan color, olor u otras condiciones en grado tal que originen molestias, que sean tóxicas o perjudiciales para la vida humana.

Los requerimientos en cuanto a calidad del agua demandados por las industrias varía en un gran rango, debido a la gran variedad de procesos industriales; cuando se requiere una alta calidad del agua, generalmente se recurre al empleo de ciertos procesos típicos de tratamiento de aguas para abastecimiento industrial. En las aguas recreacionales, es importante, tanto el aspecto estético de ellas, como el desarrollo de ciertos deportes tales como: pesca, natación, etc.

El agua aplicada en la irrigación para cultivar el suelo puede escurrir sobre la superficie, evaporarse desde ésta, o infiltrarse en el suelo. El agua retenida por el suelo, llega a ser más concentrada con las sales disueltas. Con sólidos totales disueltos en cantidades menores a 500 mg/lt son usadas en la irrigación sin problemas de salinidad bajo condiciones normales. Aguas con cantidades de sólidos totales disueltos de 5,000 mg/lt, normalmente son de valor reducido para emplearlas en irrigación.

La propagación y desarrollo de la vida acuática en los cuerpos receptores superficiales, incluyendo el mar, es tan compleja que la información química y física por si

mismas no es suficiente para predecir los resultados de la contaminación. Otros factores, tales como los cambios estacionales y las variaciones diarias son esenciales. -- Idealmente el criterio de la calidad del agua, debe tomar en cuenta tales factores. Por todo lo anterior comentado, es notoria la importancia de controlar las descargas de -- aguas negras en un cuerpo receptor, de acuerdo con aque--- llos usos que posteriormente tendrán las aguas de dicho -- cuerpo receptor, que traigan consigo un mayor beneficio; -- para esto es necesario una reglamentación que contemple -- los requerimientos de calidad más adecuados, que deben cum-- plir las aguas de cualquier cuerpo receptor según los usos que pueden dárseles.

Los cuerpos de agua superficiales más importantes, recepto-- res de aguas negras, son: los ríos, lagos y lagunas, embal-- ses y océanos.

La calidad del agua de una fuente superficial, depende del carácter y área de la cuenca, de su geología y topografía, de la extensión y naturaleza del desarrollo realizado por el hombre, de la época del año y de las condiciones del -- tiempo. La calidad del agua de las corrientes es general-- mente más variable y menos satisfactoria que la de las la-- gunas y lagos. Las fuentes superficiales se ven afectadas normalmente por las aguas de los efluentes de aguas negras descargados por las poblaciones e industrias.

La disposición por dilución en los ríos, lagos, océanos, etc., es el método más empleado para la eliminación de las aguas negras, las cuales causan una serie de efectos indeseables en las aguas de dichos cuerpos receptores, que afectan los usos posteriores que se les pueden dar a ellas.

3.2.3. Elaboración de Diseños Alternativos.

Para la elaboración de los diseños alternativos del sistema que se desea construir, debe considerarse principalmente los bienes o servicios que el sistema deberá producir.

Como se indicó anteriormente, el objetivo principal de este sistema es producir un agua residual tratada para liberar el cuerpo receptor de contaminantes y definir los usos más adecuados para su reutilización posterior.

Dado el tipo de problema que se trata en esta fase se formularán los criterios para evaluar los impactos ambientales, que diferentes contaminantes que se encuentran presentes en el agua residual de origen municipal causan a los cuerpos receptores. Esto con el fin de medir el grado de daño que se tendrá en un cuerpo receptor por aguas residuales, considerando las alternativas de no dar tratamiento, un tratamiento primario o un tratamiento secundario.

Debido a que no se cuenta con los valores de los principa-

les contaminantes de la descarga municipal de Tepic, éstos se tomarán como los típicos de una descarga municipal.

Un método de evaluación son las matrices, estas tecnologías incorporan una lista de los conceptos del ambiente a una lista de acciones que causan ese impacto. Estas dos listas están relacionadas en una matriz que identifica los impactos en la interacción entre una acción y un concepto del ambiente.

Walski y Parker (10) propusieron que en lugar de desarrollar un cierto número de índices para los muchos usos del agua, es más significativo desarrollar detalladamente un índice de calidad del agua general. Otro gran problema es determinar que parámetros deben ser incluidos en un índice de calidad del agua.

Sesenta y cuatro expertos eligieron los siguientes parámetros como los más determinantes:

Oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, temperatura, turbiedad sólidos totales, tóxicos y pesticidas.

Walski y Parker, con base en una serie de investigaciones implantaron un índice de calidad del agua, el cual está definido por la siguiente expresión:

$$I.C.A. = \left[\prod_{i=1}^n [f_i(P_i)]^{a_i} \right]^{1/n} \dots 3.1$$

en donde:

P_i : Valor del parámetro i

$f_i(P_i)$: Función de sensibilidad del parámetro i ,

$0 < f_i(P_i) < 1$

a_i : Peso adjunto al parámetro i , $0 < a_i < 1$

n : Número total de parámetros.

Ellos establecieron una serie de funciones que llamaron de sensibilidad; para cada uno de los parámetros que consideraron de más significancia en la evaluación de la calidad de las aguas.

Las llamadas calificación o peso de sensibilidad a cada uno de los parámetros, según la concentración en que se encuentran en las aguas. Esta calificación variará de 0. a 1. Es decir, cuando nosotros queremos investigar el índice de calidad de las aguas de un determinado cuerpo receptor, mediremos las concentraciones de cada uno de los parámetros propuestos; a estas concentraciones, se les aplicará su función de sensibilidad correspondiente, obteniéndolo

se con esto las calificaciones de sensibilidad de cada uno de los parámetros medidos, la cual variará de 0 a 1 según su concentración; a continuación, con estas calificaciones de sensibilidad haremos uso de la expresión (3.1) la cual nos arrojará un valor que será el índice de calidad de las aguas del cuerpo receptor analizado.

Funciones de sensibilidad de parámetros base para determinar la calidad del agua. (10)

1.- TEMPERATURA.

Se obtuvo que la función de sensibilidad para la temperatura "T", puede consistir en una parábola invertida, descrita por la siguiente expresión:

$$f(T) = \frac{a^2 - (T-a)^2}{a^2} \quad \text{-----} \quad 3.2 \quad 0 \leq T \leq 40, \leq \text{ donde:}$$

a = Temperatura Ideal, para este caso será 20°C

$$f(a) = 1$$

T = Valor de la temperatura en grados centígrados (°C).

2.- NUTRIENTES.

Se consideró que la relación ideal de nitrógeno a fósforo para la reproducción de protoplasma varía en el siguiente rango: 30.1 - 15.1. Una buena función debe, sin embargo, tomar en cuenta esta consideración y debe ser de la forma.

$$f(Nu) = \exp. - 0.05 (N + 15p), (Np) \quad \text{-----} \quad 3.3.$$

donde:

$$N = \text{NO}_3 - \text{N}, \text{ mg/l} ;$$

$$P = \text{PO}_4 - \text{P}, \text{ mg/l} ;$$

NP = Indicador de la proximidad de la relación --
N:P, a la relación ideal para un florecimiento. El valor mínimo de este indicador puede ser; N:P = 20:1, mientras que el máximo es -
variable.

Si solamente uno de los parámetros es medido, entonces las funciones de sensibilidad se definen a continuación:

$$f(N) = \exp (- 0.16N) \text{ ----- } 3.4$$

$$f(P) = \exp (- 2.50P) \text{ ----- } 3.5$$

Estas funciones se pueden observar en la figura 3.2.2.

3. SOLIDOS SUSPENDIDOS.

Para determinar la función de sensibilidad de los sólidos suspendidos, se tomó en consideración que el efluente de una planta de aguas negras con tratamiento secundario presenta una consideración de sólidos suspendidos sobre los 30 mg/l; a esta concentración se le adjudicó un valor de 0.5 en la función de sensibilidad. Esta función se da a continuación y se encuentra graficada en la figura 3.2.2.

$$f(SS) = \exp (- 0.02 SS) \text{ ----- } 3.6$$

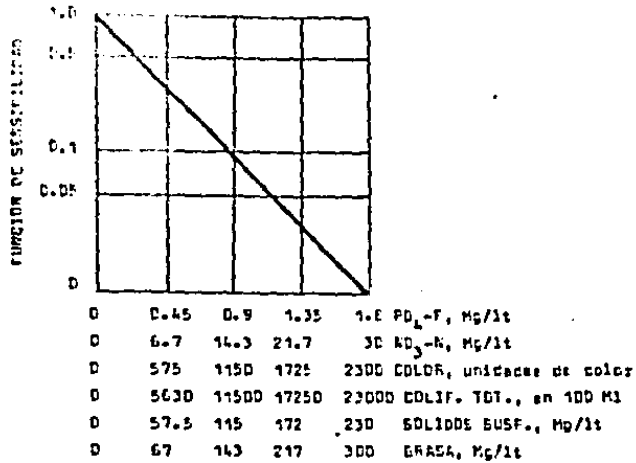


Figura 3.2.2 Funções de sensibilidade de: nutrientes, cor, coliformes, sólidos susp. e gordura.

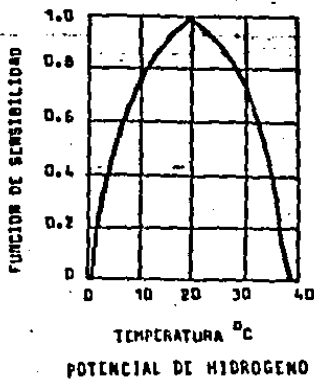
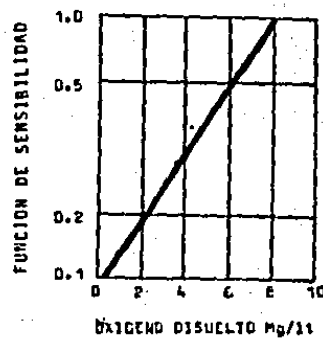


Figura 3.2.3 Funções de sensibilidade de: temperatura e pH.

Figura 3.2.4 Função de sensibilidade do oxigênio dissolto.



donde:

SS = Concentración de Sólidos Suspendedos en --
mg/l.

4. BACTERIAS COLIFORMES.

La función de sensibilidad para bacterias coliformes, está definida por la siguiente expresión, y se encuentra graficada en la figura 3.2.2.

$$f(C) = \exp(-0,0002 C) \text{ ----- } 3.7$$

donde:

C = Cantidad de coliformes totales en 100 ml.

5. OXIGENO DISUELTO.

La función de sensibilidad para el oxígeno disuelto se da a continuación, y se encuentra graficada en la figura ---
3.2.4.

$$f(O.D.) = 1, \text{ para } O.D. > 8 \text{ ----- } 3.8$$

$$f(O.D.) = \exp \left[0,3 (O.D. - 8) \right], \text{ para } O.D. < 8 \text{ -- } 3.9$$

donde:

O.D, = Concentración de oxígeno disuelto en mg/l

En la función de sensibilidad del oxígeno disuelto, no se tomó en cuenta que un nivel de oxígeno disuelto alto, también puede limitar el desarrollo de la vida acuática.

6.- COLOR,

La función de sensibilidad para el color aparece a continuación:

$$f(\text{Color}) = \exp(-0.002 \text{ Color}) \text{ -----} 3.10$$

donde:

Color = Valor de la concentración de color en unidades de color.

La función de sensibilidad, aparece graficada en la figura 3.2.2.

7. p H,

La función de sensibilidad esta representada a continuación por la siguiente expresión y se encuentra graficada en la figura 3.2.3.

$$f(\text{pH}) = \frac{25 - (\text{pH} - 7)^2}{25} \text{ para } 2 \leq \text{pH} \leq 12 \text{ -----} 3.11$$

$$f(pH) = 0, \text{ para } pH < 2 \text{ o } pH > 12 \text{ ----- } 3.12$$

B. GRASA

Una función basada en el espesor de la capa de aceite puede ser de la forma:

$$f(Gr) = \exp (-0.35 Gr_1) \text{ ----- } 3.13$$

donde:

Gr_1 = Espesor de la capa de grasa en micras.

Por otro lado, una función basada en la concentración de grasa y aceite en las aguas, en mg/l es de la forma:

$$f(Gr) = \exp (-0.016 Gr_2) \text{ ----- } 3.14$$

donde:

Gr_2 = Concentración de grasas, en mg/l.

Las funciones de sensibilidad anteriores se resumen en la tabla 3.2.1 (Ver tablas en el Anexo No. 2)

Evaluación del impacto de las descargas de aguas negras según el nivel de tratamiento.

Empleando las funciones de sensibilidad antes descritas, se propone realizar una evaluación no-subjetiva de los impactos que causará una descarga de un efluente municipal de aguas negras, según tres diferentes niveles de trata

miento en las aguas de un cuerpo receptor, para definir -- los usos que puedan tener posteriormente, con base en los requerimientos de calidad de demanda de cada uno de ellos. Tomando como base los datos de la tabla 3.2.2. obtenida de la referencia, (10) y aplicando las funciones de sensibilidad, se obtuvieron las calificaciones de la tabla 3.2.3.

Por otro lado, con los datos de la tabla 3.2.4., obtenida de la referencia No. 11, y aplicando las funciones de sensibilidad antes descrita, se obtuvieron las calificaciones de sensibilidad de cada uno de los parámetros de contaminación de las aguas de un cuerpo receptor para emplearlas en seis diferentes usos, tomando como base los requerimientos mínimos de calidad demandados por cada uno de ellos, los cuales serán: Uso Agrícola, Uso Industrial Bajo, Uso Industrial Alto, Uso recreacional, Uso para el desarrollo de la vida acuática (Pesca), y Uso para abastecimiento de agua potable (sujeto a tratamiento posterior).

Estas calificaciones aparecen en la tabla 3.2.5.

Habiendo obtenido las calificaciones anteriores, las cuales aparecen en las tablas 3.2.3. y 3.2.5., procederemos a evaluar el impacto de la descarga del efluente de aguas negras tendrá según los tres niveles de tratamiento descritos anteriormente, en seis diferentes usos que posteriormente podrán tener las aguas de un determinado cuerpo re--

ceptor, en el cual se descarga el efluente de aguas negras municipales. Para esto se aplicará la siguiente expresión:

$$F_i(j,R) = \frac{f_i(P_i) \cdot j}{f_i(P_i) \cdot R} \text{ ----- 3.15}$$

donde:

$F_i(j,R)$ = Valor del impacto del parámetro "i" de la descarga del efluente de aguas negras; para el nivel de tratamiento "R"; sobre el parámetro "i" de las aguas del cuerpo receptor, que es requerido para emplear dichas aguas en un determinado uso "j".

P_i = Valor del parámetro i.

$f_i(P_i)$ i = Valor de la función de sensibilidad del parámetro "i", correspondiente a las aguas del cuerpo receptor para un determinado uso "j".

$F_i(P_i)$ R = Valor de la función de sensibilidad del parámetro "i", de la descarga del efluente de aguas negras, para un determinado nivel de trata

miento "R".

i = Indicador del parámetro "i" , = 1,2,3,4,... 8

j = Indicador del uso que tendrán las aguas del cuerpo receptor. j = 1,2,3,4,5,6.

R = Indicador del nivel de tratamiento que tendrá la descarga del efluente de aguas negras. R = 1,2,3.

Cuando el valor de $F_i(jR)$ obtenido sea mayor de 1, el impacto de la descarga sobre las aguas del cuerpo receptor será adverso, en cuanto mayor sea de 1.

Por otro lado, cuando el valor de $F_i(jR)$ sea menor o igual a 1, el impacto de la descarga sobre las aguas receptoras, será benéfico o nulo; respectivamente; y será tanto más benéfico, cuanto menor sea de 1.

Aplicando la expresión 3.15, se obtuvieron las tablas 3.2.6, 3.2.7 y 3.2.8, en las cuales aparecen los impactos que la descarga del efluente municipal de aguas negras para tres niveles de tratamiento diferentes, tienen en 6 diferentes usos que posteriormente a la descarga, tendrán las aguas del cuerpo receptor.

En la fase de selección se emplean los datos de las tablas 3.2.6, 3.2.7 y 3.2.8 para establecer las alternativas más adecuadas a seguir para cada uno de los tres niveles de

tratamiento según los usos a que se vayan a destinar las aguas del cuerpo receptor. Esto se hará estableciendo un juego entre dos adversarios (Acciones del hombre Vs - la naturaleza), el cual se resuelve mediante el Método Simplex.

3.2.4. Evaluación Ex- Ante de Diseños Alternativos.

Para este caso, los actores principales del sistema son -- los usuarios, que pueden ser englobados en el municipio y su principal interés es el saneamiento del agua del cuerpo receptor y el uso adecuado del agua residual tratada.

Se ha obtenido la información básica para formular los diseños alternativos, se distinguen dos alternativas para definir el nivel de tratamiento de la planta.

- a) Proceso de tratamiento a nivel primario.
- b) Proceso de tratamiento a nivel secundario.

Sin embargo, para fines de definir los usos del agua residual en caso de que el sistema no se construya, es posible considerar una tercera alternativa o sea, que las aguas residuales no tengan tratamiento, que es el caso actual.

Para definir los usos más adecuados que tendrá una descarga de aguas residuales a un cuerpo receptor, se definieron 8 parámetros que normalmente se emplean para determinar el

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

grado de contaminación de las aguas y son: oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, color, nutrientes, temperatura, sólidos suspendidos y grasas y aceites.

Se obtuvieron las funciones de sensibilidad para cada uno de estos parámetros y se determinaron los requisitos de calidad del agua (concentraciones permisibles de los parámetros de contaminación).

Las funciones de sensibilidad determinadas ayudan a realizar una evaluación no subjetiva que sirve de base para poder definir los usos que se puedan tener posteriormente. Los valores que aportan estas funciones se usarán para "manejar" en forma matricial las diferentes calificaciones de uso posibles del agua residual y las calificaciones del grado de los contaminantes, según el nivel de tratamiento. Esto rompe con la tradición de manejar subjetivamente los impactos ambientales en los cuerpos de agua.

Debido a lo anterior, es necesario considerar en un enfoque integrado todos los usos posibles que se le puedan dar a las aguas residuales, según las diferentes calidades que demandan cada uno de ellos.

Se han obtenido todos los elementos o calificaciones para poder hacer una buena selección de los usos más adecuados. En la siguiente fase del método se hará la selección, apo-

yándose en algunas técnicas de optimización que se utilizan en el enfoque de sistemas, como son la programación lineal y la teoría de juegos.

3.2.5 Selección.

Aplicación de la programación lineal en el problema del juego "hombre contra naturaleza", para nuestro caso tomaremos las tablas 3.2.6, 3.2.7 y 3.2.8, obtenidas con las funciones de sensibilidad y con la expresión 3.15 como las matrices de pagos para el juego, "Acciones del hombre Vs. la Naturaleza", representado por la descarga de un efluente de aguas negras según tres niveles de tratamiento, se procederá a convertir el juego "Acciones del hombre Vs. la Naturaleza" según tres niveles de tratamiento en un problema de programación lineal cuya solución se obtendrá empleando el Método Simplex.

La formulación de los modelos para descargas sin tratamiento, con tratamiento primario y con tratamiento secundario; se presenta a continuación:

a) Para la descarga sin tratamiento.

Sistema inicial de restricciones:

$$1.003 X_1 + 1.334 X_2 + 7.44 X_3 + 451 X_4 + 1.22 X_5 + 1.04 X_6 + X_7 + 10 X_8 \geq 1$$

$$0.759 X_1 + 0.507 X_2 + 7.66 X_3 + 7.77 X_4 + 1.22 X_5 + 1.04 X_6 + 0.759 X_7 + 1.04 X_8 \geq 1$$

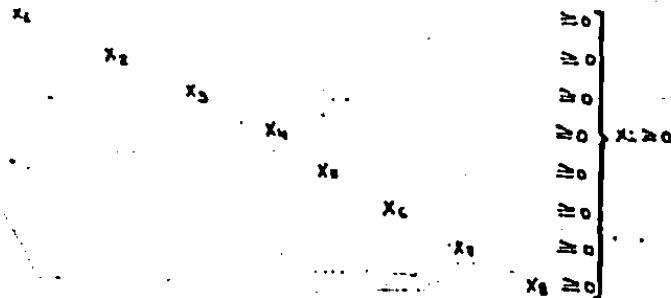
$$0.751 X_1 + 1.334 X_2 + 1.502 X_3 + 1.22 X_4 + 1.22 X_5 + 1.04 X_6 + 1.04 X_7 + 1.04 X_8 \geq 1$$

$$1.003 X_1 + 1.334 X_2 + 7.44 X_3 + 451 X_4 + 1.22 X_5 + 1.04 X_6 + 0.759 X_7 + 1.04 X_8 \geq 1$$

$$0.751 X_1 + 1.334 X_2 + 7.44 X_3 + 451 X_4 + 1.22 X_5 + 1.04 X_6 + 0.759 X_7 + 1.04 X_8 \geq 1$$

$$0.751 X_1 + 0.997 X_2 + 1.502 X_3 + 1.22 X_4 + 1.22 X_5 + 1.04 X_6 + 0.759 X_7 + 1.04 X_8 \geq 1$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 = 1$$



Restando variables de holgura no negativas, tenemos:

$$1.003 X_1 + 1.334 X_2 + 7.44 X_3 + 451 X_4 + 1.22 X_5 + 1.04 X_6 + X_7 + 10 X_8 - X_9 = 1$$

$$0.759 X_1 + 0.507 X_2 + 7.66 X_3 + 7.77 X_4 + 1.22 X_5 + 1.04 X_6 + 0.759 X_7 + 1.04 X_8 - X_{10} = 1$$

$$0.751 X_1 + 1.334 X_2 + 1.502 X_3 + 1.22 X_4 + 1.22 X_5 + 1.04 X_6 + 1.04 X_7 + 1.04 X_8 - X_{11} = 1$$

$$1.003 X_1 + 1.334 X_2 + 7.44 X_3 + 451 X_4 + 1.22 X_5 + 1.04 X_6 + 0.759 X_7 + 1.04 X_8 - X_{12} = 1$$

$$0.751 X_1 + 1.334 X_2 + 7.44 X_3 + 451 X_4 + 1.22 X_5 + 1.04 X_6 + 0.759 X_7 + 1.04 X_8 - X_{13} = 1$$

$$0.751 X_1 + 0.997 X_2 + 1.502 X_3 + 1.22 X_4 + 1.22 X_5 + 1.04 X_6 + 0.759 X_7 + 1.04 X_8 - X_{14} = 1$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 = 1$$

$$X_i \geq 0$$

Restando de la primera ecuación, la segunda, tercera, cuarta, quinta y sexta ecuaciones, se encuentra el problema de programación lineal consistente en maximizar:

$$\text{Max } Z = 1.003 X_1 + 1.334 X_2 + 7.44 X_3 + 451 X_4 + 1.22 X_5 + 1.04 X_6 + X_7 + 0.25 X_8 - X_9$$

Sujeto a:

$$-0.44 X_1 - 0.76 X_2 - 4.77 X_3 + 2.27 X_4 + 0 + 0 - 0.02 X_5 + 0.20 X_6 + X_7 - X_9 = 0$$

$$-0.25 X_1 + 0 + 2.77 X_2 + 2.66 X_4 + 0 + 0.02 X_5 + 0 + 0.41 X_6 + X_7 - X_9 = 0$$

$$0 + 0 + 7.66 X_2 + 0 + 1.22 X_3 + 0.04 X_4 - 0.02 X_5 + 0.13 X_6 + X_7 - X_9 = 0$$

$$-0.75 X_1 + 0 + 7.77 X_2 + 7.16 X_4 + 0.45 X_5 + 0 - 0.02 X_6 + 0.70 X_7 + X_9 = 0$$

$$-0.25 X_1 + 0 + 4.77 X_2 + 2.77 X_4 + 0.45 X_5 + 0 - 0.70 X_6 - 0.99 X_7 + X_9 = 0$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 = 1$$

b) Para la descarga con tratamiento.

Sistema inicial de restricciones:

$$\begin{aligned}
 1.000X_1 + 1.113X_2 + 0.966X_3 + 0.810X_4 + 1.113X_5 + 1.000X_6 + 0.917X_7 + 4.211X_8 &\leq V \\
 0.917X_1 + 0.810X_2 + 0.713X_3 + 0.616X_4 + 1.077X_5 + 1.000X_6 + 0.917X_7 + 4.010X_8 &\leq V \\
 0.713X_1 + 1.113X_2 + 7.219X_3 + 6.412X_4 + 1.077X_5 + 1.000X_6 + 0.917X_7 + 4.154X_8 &\leq V \\
 1.000X_1 + 1.113X_2 + 1.113X_3 + 0.810X_4 + 2.113X_5 + 1.211X_6 + 0.917X_7 + 4.010X_8 &\leq V \\
 0.713X_1 + 1.113X_2 + 1.077X_3 + 0.810X_4 + 2.113X_5 + 1.077X_6 + 0.917X_7 + 4.154X_8 &\leq V \\
 0.713X_1 + 0.810X_2 + 2.113X_3 + 0.810X_4 + 2.113X_5 + 1.000X_6 + 0.917X_7 + 3.810X_8 &\leq V
 \end{aligned}$$

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	$X_8 = 1$	≥ 0	$X_i \geq 0$
X_1								≥ 0	
	X_2							≥ 0	
		X_3						≥ 0	
			X_4					≥ 0	
				X_5				≥ 0	
					X_6			≥ 0	
						X_7		≥ 0	

Restando variables de holgura no negativas, tenemos:

$$\begin{aligned}
 1.000X_1 + 1.113X_2 + 0.966X_3 + 0.810X_4 + 1.113X_5 + 1.000X_6 + 0.917X_7 + 4.211X_8 - X_9 &= V \\
 0.917X_1 + 0.810X_2 + 0.713X_3 + 0.616X_4 + 1.077X_5 + 1.000X_6 + 0.917X_7 + 4.010X_8 - X_{10} &= V \\
 0.713X_1 + 1.113X_2 + 7.219X_3 + 6.412X_4 + 1.077X_5 + 1.000X_6 + 0.917X_7 + 4.154X_8 - X_{11} &= V \\
 1.000X_1 + 1.113X_2 + 1.113X_3 + 0.810X_4 + 2.113X_5 + 1.211X_6 + 0.917X_7 + 4.010X_8 - X_{12} &= V \\
 0.713X_1 + 1.113X_2 + 2.113X_3 + 0.810X_4 + 2.113X_5 + 1.077X_6 + 0.917X_7 + 4.154X_8 - X_{13} &= V \\
 0.713X_1 + 0.810X_2 + 2.113X_3 + 0.810X_4 + 2.113X_5 + 1.000X_6 + 0.917X_7 + 3.810X_8 - X_{14} &= V \\
 X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 &= 1 \\
 X_i &\geq 0
 \end{aligned}$$

Restando la primera ecuación de la segunda, tercera, cuarta, quinta, sexta ecuaciones, se encuentra el problema de programación lineal consistente en:

$$\text{Max } Z = 1.000X_1 + 1.113X_2 + 0.966X_3 + 0.810X_4 + 1.113X_5 + 1.000X_6 + 0.917X_7 + 4.211X_8 - X_9$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned}
 -0.083X_1 - 0.187X_2 - 0.134X_3 + 0.134X_4 + 0.000X_5 + 0 - 0.083X_6 - 0.113X_7 + X_9 - 0 &= 0 \\
 -0.113X_1 + 0 + 0.077X_2 + 0.412X_3 + 0 + 0.077X_4 + 0 - 0.077X_5 + X_{10} - 0 &= 0 \\
 0 + 0 + 1.104X_3 + 0 + 1.29X_4 + 0.042X_5 - 0.077X_6 - 0.083X_7 + X_{11} - 0 &= 0 \\
 -0.113X_1 + 0 + 1.219X_2 + 0.113X_3 + 0.342X_4 + 0 - 0.077X_5 - 0.077X_6 + X_{12} - 0 &= 0 \\
 -0.113X_1 - 0.077X_2 + 1.149X_3 + 0.113X_4 + 0.042X_5 + 0 - 0.077X_6 - 0.113X_7 + X_{13} - 0 &= 0 \\
 X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 &= 1 \\
 X_i &\geq 0
 \end{aligned}$$

c) Para la descarga con tratamiento primario.

Sistema inicial de restricciones:

$$\begin{aligned}
 1.0X_1 + 0.9X_2 + 0.8X_3 + 0.7X_4 + 0.6X_5 + 0.5X_6 + 0.4X_7 + 0.3X_8 &\geq 7 \\
 0.7X_1 + 0.6X_2 + 0.5X_3 + 0.4X_4 + 0.3X_5 + 0.2X_6 + 0.1X_7 + 1.1X_8 &\geq 7 \\
 0.7X_1 + 0.6X_2 + 0.5X_3 + 0.4X_4 + 0.3X_5 + 0.2X_6 + 0.1X_7 + 1.1X_8 &\geq 7 \\
 1.0X_1 + 0.9X_2 + 0.8X_3 + 1.1X_4 + 1.0X_5 + 0.9X_6 + 0.8X_7 + 0.7X_8 &\geq 7 \\
 0.7X_1 + 0.6X_2 + 0.5X_3 + 1.0X_4 + 0.9X_5 + 0.8X_6 + 0.7X_7 + 0.6X_8 &\geq 7 \\
 0.7X_1 + 0.6X_2 + 0.5X_3 + 0.4X_4 + 0.3X_5 + 0.2X_6 + 0.1X_7 + 1.0X_8 &\geq 7 \\
 X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 &= 1 \\
 X_1 &\geq 0 \\
 X_2 &\geq 0 \\
 X_3 &\geq 0 \\
 X_4 &\geq 0 \\
 X_5 &\geq 0 \\
 X_6 &\geq 0 \\
 X_7 &\geq 0 \\
 X_8 &\geq 0
 \end{aligned}$$

Restando variables de holgura no negativas para convertir las restricciones en igualdades, tenemos:

$$\begin{aligned}
 1.0X_1 + 0.9X_2 + 0.8X_3 + 0.7X_4 + 0.6X_5 + 0.5X_6 + 0.4X_7 + 0.3X_8 - X_9 &= 7 \\
 0.7X_1 + 0.6X_2 + 0.5X_3 + 0.4X_4 + 0.3X_5 + 0.2X_6 + 0.1X_7 + 1.1X_8 - X_{10} &= 7 \\
 0.7X_1 + 0.6X_2 + 0.5X_3 + 0.4X_4 + 0.3X_5 + 0.2X_6 + 0.1X_7 + 1.1X_8 - X_{11} &= 7 \\
 1.0X_1 + 0.9X_2 + 0.8X_3 + 1.1X_4 + 1.0X_5 + 0.9X_6 + 0.8X_7 + 0.7X_8 - X_{12} &= 7 \\
 0.7X_1 + 0.6X_2 + 0.5X_3 + 1.0X_4 + 0.9X_5 + 0.8X_6 + 0.7X_7 + 0.6X_8 - X_{13} &= 7 \\
 0.7X_1 + 0.6X_2 + 0.5X_3 + 0.4X_4 + 0.3X_5 + 0.2X_6 + 0.1X_7 + 1.0X_8 - X_{14} &= 7 \\
 X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 &= 1
 \end{aligned}$$

Reordenando la primera ecuación de la segunda, tercera, cuarta, quinta y sexta ecuaciones, se encuentra el problema de programación lineal consistente en:

Max $Z = X_1 + 0.9X_2 + 0.8X_3 + 0.7X_4 + 0.6X_5 + 0.5X_6 + 0.4X_7 + 0.3X_8 - X_9$
 Sujeto a:

$$\begin{aligned}
 -0.000X_1 - 0.000X_2 - 0.000X_3 + 0.000X_4 + 0.000X_5 + 0.000X_6 - 0.01X_7 - 0.03X_8 + X_9 - X_{10} &= 0 \\
 -0.7X_1 + 0 + 0.6X_2 + 0.5X_3 + 0.4X_4 + 0.3X_5 + 0.2X_6 + 0.1X_7 + 1.1X_8 - X_{11} &= 0 \\
 0 + 0 + 0.7X_2 + 0 + 0.6X_3 + 0.5X_4 - 0.01X_5 - 0.03X_6 + X_{10} - X_{11} &= 0 \\
 -0.7X_1 + 0 + 0.6X_2 + 0.5X_3 + 0.4X_4 + 0.3X_5 - 0.01X_6 - 0.03X_7 + X_{11} - X_{12} &= 0 \\
 -0.7X_1 - 0.000X_2 + 0.000X_3 + 0.000X_4 + 0.000X_5 + 0.000X_6 - 0.01X_7 - 0.03X_8 + X_{12} - X_{13} &= 0 \\
 X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 &= 1 \\
 X_i &\geq 0
 \end{aligned}$$

Interpretación de los Resultados Obtenidos de las Corridas del Programa.

1.- Descarga sin tratamiento.

La estrategia obtenida con el programa de computadora, para el juego "Acciones del hombre Vs. la Naturaleza" (13), para la condición de descarga sin tratamiento es la siguiente:

Temp. Nitrat. Solid. Bact. Oxíg. Color pH
 $X_1 = 0, X_2 = 0, X_3 = 0, X_4 = 1, X_5 = 0, X_6 = 0, X_7 = 0,$

Grasas
 $X_8 = 0.$

De tal forma que se cumple la condición:

$$X = \sum_{i=1}^8 X_i = 1$$

El valor del juego "v" es igual a 451.00.

Por tanto:

$$X = (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_8) = 1$$

$$y \quad V = 451$$

La estrategia "X", ($X_4 = 1$), es la que maximiza las ganancias del jugador "F" (descargas de los efluentes de aguas

negras). O sea que la acción que creará un mayor impacto en las aguas del cuerpo receptor y que por tanto le reportará mayores dividendos a dicho jugador será las de las bacterias coliformes.

El valor de uno para X_4 , es la probabilidad asociada a la acción de alterar las aguas del cuerpo receptor mediante las bacterias coliformes por el jugador "F".

Por otro lado, cabe hacer notar que en la simulación del juego "Acciones del hombre Vs. la Naturaleza", para descarga sin tratamiento, se obtuvo una estrategia pura: por lo que no era necesario simular un juego. Una estrategia pura es cuando se encuentra un "punto de silla" en la matriz de pagos.

Para nuestro caso, los valores máximos por columna de la matriz de pagos (tabla 3.2.6), son:

Los valores mínimos por renglones son:

Usos	Parámetros
1 ----- $Y_1 = 451$	1 ----- $X_1 = 0.751$ 7 ----- $X_7 = 0.703$
2 ----- $Y_2 = 2729$	2 ----- $X_2 = 0.580$ 8 ----- $X_8 = 9.394$
3 ----- $Y_3 = 3016$	3 ----- $X_3 = 2.666$
4 ----- $Y_4 = 451$	4 ----- $X_4 = 451$
5 ----- $Y_5 = 3267$	5 ----- $X_5 = 1.83$
6 ----- $Y_7 = 2729$	6 ----- $X_6 = 1.040$

Por tanto el punto de silla, lo define el valor $V = 451$. El cual es el valor del juego encontrado con la simulación de dicho juego realiza mediante la programación lineal, y que corresponde a:

$$X_4 \text{ ————— } = 451 \text{ (Coliformes Totales)}$$

$$Y_1 \text{ ————— } = Y_4 = 451 \text{ (Uso para abastecimiento de --- } \\ \text{ agua potable y uso para desa- } \\ \text{ rrollo de vida acuática) .}$$

De ésto, podemos concluir que:

La estrategia que debe seguir el jugador " F " (Acciones del hombre representadas por los parámetros de contaminación), para minimizar sus ganancias es la de elegir la acción contaminante " Bacterias coliformes ", la cual tiene probabilidad asociada de ocurrencia de 1, por ser estrategia pura. Por otro lado, la estrategia que debe seguir el jugador " E " (Naturaleza, representada por los diferentes usos que podrán dárseles a las aguas de la corriente), para minimizar sus pérdidas, es destinar las aguas de la corriente receptora para el abastecimiento de agua potable, y para el desarrollo de la vida acuática; esta estrategia tendrá un valor de importancia igual al valor del juego, por ser una estrategia pura, por lo tanto:

$$Y \text{ (usos Nos. 1 y 4) } = 451.0$$

La cual nos indica la importancia que debemos dar a los usos 2, 3, 5 y 6 para protegerlos de la acción contaminante " bacterias coliformes ".

Puesto que la estrategia $X_4 = 1$ (Bacterias Coliformes), será la que maximizará las ganancias del jugador " F ", -- también será la que cause el efecto más adverso en las --- aguas del cuerpo receptor. Entonces la acción " Bacterias Coliformes", será la limitante más importante para el empleo de las aguas de dicho cuerpo receptor en los siguientes usos 2, 3, 5 y 6.

2. Descarga con tratamiento primario.

Para la condición de descarga con tratamiento primario la estrategia es la siguiente:

X_1	=	0	(Para Temperatura)
X_2	=	0	(Para Nitratos)
X_3	=	0.013	(Para Sólidos Suspendidos)
X_4	=	0.123	(Para Bacterias Coliformes)
X_5	=	0	(Para Oxígeno Disuelto)
X_6	=	0	(Para Color)
X_7	=	0	(Para el pH)
X_8	=	0.864	(Para Grasas)

De tal forma que se cumple la condición:

$$X = \sum_{i=1}^8 X_i = 1$$

El valor del juego "V" es igual a 3.751.

Es necesario aclarar que en la simulación del juego "Acciones del hombre Vs. la Naturaleza", para descarga con tratamiento primario se obtuvo una estrategia mixta. Por tanto debemos determinar la estrategia que debe seguir el jugador "E" para minimizar sus pérdidas, mediante el problema dual de programación lineal, y expresado en la forma:

Max. CX

Sujeto a: $AX \leq b$, $X \geq 0$

Existe otro llamado "dual", el cual se expresa de la forma siguiente:

Min. bW

Sujeto a: $AW \geq C$

$W \geq 0$

De tal forma que cuando ambos problemas tienen solución -- factible, se tiene:

Max. CX = Min. bW

A cada restricción del " primal " le corresponde una varia

ble en el " dual ", y viceversa. Si la restricción es \leq o \geq , la variable del " dual " debe ser positiva.

Si el problema primal tiene restricciones de igualdad, también en el dual le corresponde una variable, no solo que dicha variable no está restringida en signo. El algoritmo simplex al resolver el primal, resuelve implícitamente el dual. Los valores óptimos de las variables duales correspondientes a las restricciones \leq o \geq , se encuentran en el último renglón del arreglo simplex final (última interacción), en las columnas correspondientes a las variables de holgura primales de dichas restricciones, los valores óptimos de las variables duales correspondientes a las igualdades aparecen en las columnas correspondientes a las variables artificiales primales de las restricciones de igualdad.

De la última fila del arreglo simplex final obtuvimos los valores siguientes, que corresponden a las variables duales:

$$\begin{array}{rcl}
 x_{15} & = & 0 = w_1 \\
 x_{16} & = & 0 = w_2 \\
 x_{17} & = & -0.131 = w_3 \\
 x_{18} & = & 0 = w_4 \\
 x_{19} & = & -0.710 = w_5 \\
 x_{20} & = & 3.753 = w_6
 \end{array}$$

Por tanto; se debe corroborar que:

$$\text{Max } Cx = \text{Min } bW = Y$$

Sabemos con anterioridad que: $\text{Max } Cx = 3.751$

$$\text{Min } bW = (0 \times 0) + (0 \times 0) + (-0.131 \times 0) + (0 \times 0) + (-0.171 \times 0) + (3.752 \times 1) = 3.752$$

Se comprueba que:

$$\text{Max } Cx = \text{Min } bW$$

$$3.751 \quad 3.752$$

Como ya se dijo anteriormente que a cada restricción de igualdad del problema primal le corresponde una variable específica del problema dual, y sabiendo que cada una de las restricciones identifican a cada uno de los usos propuestos; entonces las variables duales nos servirán para determinar la estrategia óptima del jugador " E ". Por tanto aquellas variables duales con valor diferente de cero sin importar el signo, nos indicarán a que usos no se deben destinar las aguas de las corrientes receptoras para minimizar las pérdidas del jugador " E "; para nuestro caso será:

La asignación de las variables duales a los diferentes usos es como sigue:

Usos

1.-	X_{15}	= 0	Uso para abast. de Agua Potable
2.-	X_{16}	= 0	Uso Agrícola
3.-	X_{17}	= 0.131	Uso Recreacional
4.-	X_{18}	= 0	Uso para Desarrollo Vida Acuática
5.-	X_{19}	= -0.710	Uso para Abast. Ind. Alto
6.-	X_{20}	= 3.752	Uso para Abast. Ind. Bajo

Por tanto concluimos que las aguas del cuerpo receptor no deben destinarse a los siguientes usos: Para abastecimiento de Agua Potable para uso en agricultura, para desarrollo Vida Acuática con el fin de minimizar las pérdidas de igualdad del jugador " E ". Mientras que los valores --- $X_{17} = 0.131$, $X_{19} = 0.710$, $X_{20} = 3.752$, representan por orden de prioridades, el empleo que debe darse a los usos 3, 5 y 6, estableciendo el orden de importancia, con base en la probabilidad de ocurrencia de cada una de las tres acciones: Grasas, Bacterias, Coliformes y Sólidos Suspendidos. Para esto habrá de cumplirse con las normas existentes al respecto.

3.- Descarga con Tratamiento Secundario.

Para la condición de descarga con tratamiento secundario - la estrategia es la siguiente:

X_1	=	0	(Para Temperatura)
X_2	=	0	(Para Nitratos)
X_3	=	0	(Para Sólidos Suspendedos)
X_4	=	0	(Para Bacterias Coliformes)
X_5	=	0	(Para Oxígeno Disuelto)
X_6	=	0	(Para Color)
X_7	=	0	(Para pH)
X_8	=	1	(Para Grasas)
X_9	=	0.173	(Variable de Holgura, sin valor para nuestro problema)

De tal forma que se cumple la condición:

$$X = \sum_{i=1}^8 X_i = 1$$

El valor del juego " V " es igual a 1.000

Esto es fácil de comprobar analizando la función objetivo:

$$\text{Max. } Z = \sum_{i=1}^8 a_{i1} \cdot X_i = V$$

La estrategia X , ($X_8 = 1$), es la que maximiza las ganancias del jugador " F " (Descargas de los efluentes de aguas negras). O sea que la acción creará un mayor impacto en las aguas del cuerpo receptor y que por tanto le reportará mayores dividendos a dicho jugador será la de las grasas.

El valor de l para X_8 , es la probabilidad asociada a la acción de alterar las aguas de cuerpo receptor mediante las grasas, por el jugador " F ".

En la simulación del juego " Acciones del hombre Vs. la Naturaleza ", para la condición de descarga con tratamiento secundario, se obtuvo una estrategia pura, por lo tanto, no era necesario simular el juego.

Aplicando el criterio descrito en el primer análisis, determinaremos el " punto de silla " para la condición que se analiza:

Los valores máximos por columnas de la matriz de pagos (tabla 3.2.8.) son:

1	_____	Y_1	=	1.173
2	_____	Y_2	=	1.136
3	_____	Y_3	=	1.154
4	_____	Y_4	=	1.118
5	_____	Y_5	=	1.154
6	_____	Y_6	=	1.0 ✓

Los valores mínimos por renglones son:

Parámetros.

1	_____	X_1	=	0.75
2	_____	X_2	=	0.4046

3	_____	X_3	=	0.0039
4	_____	X_4	=	0.1408
5	_____	X_5	=	0.548
6	_____	X_6	=	0.970
7	_____	X_7	=	0.64
8	_____	X_8	=	1 ✓

Por tanto el punto de silla lo define el valor: $V = 1.00$

El cual, es el valor del juego encontrado con la simulación de dicho juego realizada mediante la programación lineal, y que corresponde a:

$$X_8 = 1 \text{ (Grasas)}$$

$$X_6 = 1 \text{ (Uso para abastecimiento industrial bajo)}$$

De lo anterior podremos concluir:

La estrategia que debe seguir el jugador " F " para maximizar sus ganancias, es la de elegir la acción contaminante "grasas", la cual tienen una probabilidad asociada de ocurrencia de 1, por ser estrategia pura, por tanto:

$$X_8 \text{ (Grasas)} = 1$$

Por otro lado, la estrategia que debe seguir el jugador " E ", para minimizar sus pérdidas, es destinar las aguas corrientes receptoras para el abastecimiento industrial ba

jo; ésta estrategia tendrá un valor de importancia igual - al valor del juego, por ser una estrategia pura, por consi- guiente:

$$Y_6 \text{ (Uso No. 6) } = 1.00 = V$$

Este valor nos indica la importancia que debemos dar a los usos 1, 2, 3, 4 y 5 para protegerlos de la acción contami- nante debido a las grasas.

Puesto que dicha estrategia será la que maximizará las ga- nancias del jugador " F ", también será la que cause el -- efecto más adverso en las aguas del cuerpo receptor. En-- tonces la acción "grasas" será la mayor limitante para el empleo de las aguas de dicho cuerpo receptor para los usos 1, 2, 3, 4 y 5.

Ahora ya se tiene un criterio para definir el nivel de tra- tamiento que tendrá el Sistema Productivo, (planta de tra- tamiento de aguas negras). Según las necesidades de trata- miento, los usos potenciales que se les pueden dar a las - aguas residuales de Tepic, se recomienda dar un tratamien- to a nivel primario por lo anteriormente dicho.

IMPLANTACION - OPERACIONAL Y CONTROL.

Las siguientes fases del método de los Sistemas son la im- plantación, que es la fase en que el sistema productivo es materializado, y Operación y Control, que es el periodo de

tiempo que transcurre desde la puesta en marcha de las operaciones hasta que estas son sujetadas satisfactoriamente.

III.3. OPTIMIZACION DEL MOVIMIENTO DE TERRACERIAS DE UN RELLENO SANITARIO: CAZADEROS, OAX.

Descripción del problema.

Ubicación Geográfica.

La localidad de Cazaderos, del Municipio de la Ventoza, -- Oax., con una población de 2 500 Hab., desarrolla sus actividades económicas a la agricultura y a la pesca; tiene -- una baja tasa de crecimiento poblacional ya que existe una fuerte emigración de sus habitantes a las ciudades cercanas de Juchitan, Salina Cruz y Oaxaca.

La sindicatura de esta localidad quiere resolver el problema del manejo y disposición de la basura que generan sus habitantes, a través de la construcción de un Relleno Sanitario.

En este caso, el sistema productivo que se pretende crear corresponde a la planeación de un Relleno Sanitario, para lo cual se hará uso del Método del "proceso de solución de problemas de Sistemas Productivos". (Método de Planeación)

La parte fundamental de este tipo de obra, es la optimiza-

ción del movimiento de terracerías, ya que un buen diseño del funcionamiento del relleno sanitario, permitirá un ahorro considerable en la operación del mismo, por lo tanto - en este caso se hará hincapié en la optimización de este punto.

3.3.1. Ubicación del sistema.

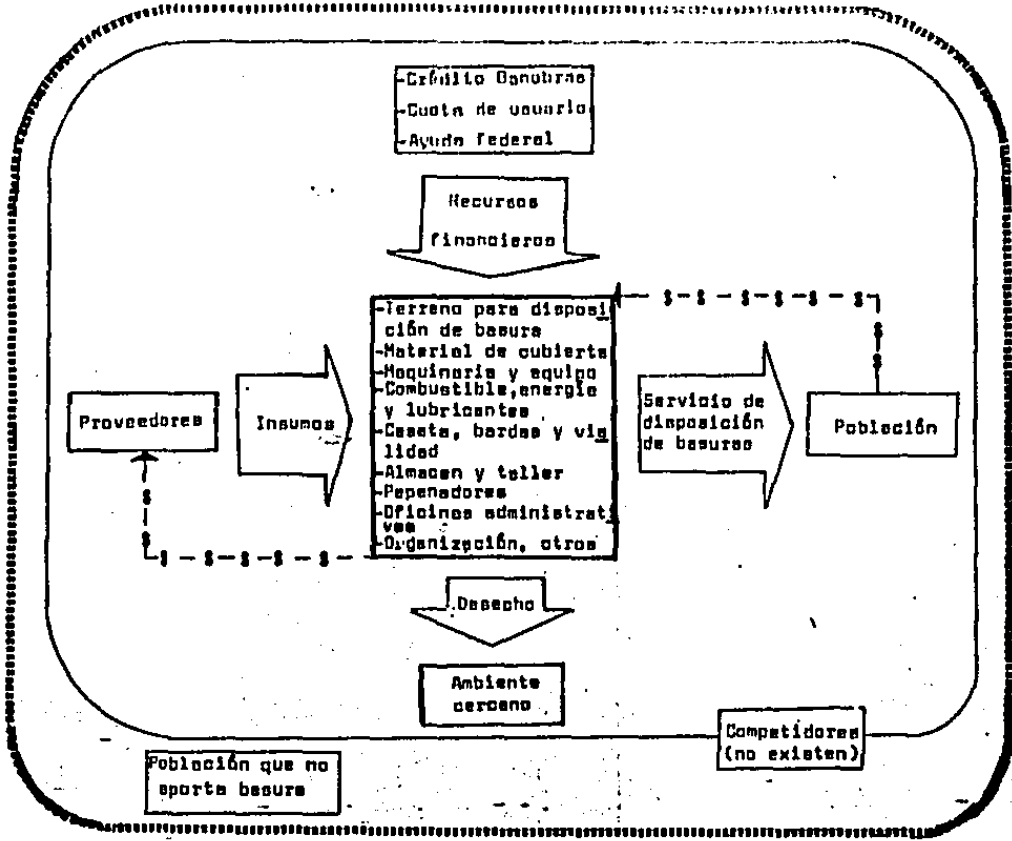
La planeación del sistema se hará para dos años, ya que -- las condiciones en donde se piensa ubicar el sistema, así lo determinan (la topografía del sitio seleccionado y el - desarrollo urbano de la población).

El sistema que se creará será para servir sólo a esta localidad y el sector a que pertenece dicho sistema es a comercio y servicios y especialmente a servicios.

3.3.2. Análisis del entorno.

En esta fase sólo se presentará el Modelo del sistema productivo, fig. 3.3.1 y la información básica para la Elaboración de los Diseños Alternativos, omitiendo los aspectos como los financieros, estudios de mercado, etc. que si --- bien son muy importantes, para la implantación de cual --- quier sistema productivo, pero dado el alcance de este trabajo, no se hará hincapié en ellos.

El principal problema a enfrentar, para lograr una adecua-



————— Entorno de 1o. orden
 - - - - - Entorno de 2o. orden

Figura 3.3.1 Sistema productivo del relleno sanitario de Cazaderos, Oax.

da operación de cualquier relleno sanitario, se debe a que la tierra disponible será empleada como material de cubierta, se encuentra raramente distribuida en forma proporcional sobre el sitio, de manera que el movimiento de terracerías sea nulo, o bien mínimo. Es muy común durante la operación de un relleno sanitario, el hecho de transportar -- tierra de cubierta desde ciertas zonas con excedentes, hasta algunas otras que requieren dicho material.

El personal encargado de operar la maquinaria pesada en el relleno sanitario, es a fin de cuentas, el responsable directo del movimiento de terracerías, realizando dicha operación de acuerdo con su criterio muy personal el cual en la mayoría de los casos, dista mucho de ser el más adecuado. Además es frecuente emplear un solo tipo de maquinaria para realizar todas las actividades de movimiento de terracerías a diferentes distancias; lo cual resulta inoperante, ya que para ciertas distancias el equipo empleado podrá ser el apropiado, mientras que para otras ya sean mayores o menores, puede ser inadecuado.

Los parámetros requeridos para determinar el volumen del material de cubierta, el cual debe transportarse dentro del sitio seleccionado para el relleno sanitario, son:

- a) La topografía del sitio donde se establecerá el relleno sanitario.

- b) El nivel freático de las aguas, en el sitio.
- c) La interfase del suelo necesaria, para proteger de contaminación a las aguas subterráneas.
- d) Los niveles de piso terminado que tendrá el relleno sanitario, cuando su vida útil haya concluido.
- e) La relación promedio de: "material de cubierta/basura por cubrir", requerida en el relleno sanitario, los valores más comunes para tal relación son: 1:4 (una unidad típica de material de cubierta, por cuatro unidades típicas de basura).

3.3.3. Elaboración de los Diseños Alternativos.

El sistema productivo que se pretende crear contará con un terreno, ya determinado por los habitantes en la zona Este de la población, una oficina, caseta de vigilancia y almacén de maquinaria, equipo y refacciones.

Debido a que se pretende obtener una adecuada disposición de la basura de este lugar, se tomo en cuenta, para la creación del sistema productivo la topografía de los terrenos seleccionados previamente, para servir a una población de 3 000 habitantes durante dos años. A continuación, se calculó la cantidad de basura que recibiría dicho sitio en ese lapso de tiempo, y el volumen de tierra necesario para cubrir la basura, con base en la relación 1:4, entre el ma

terial de cubierta y la basura; así como en la interfase de suelo necesaria para proteger las aguas subterráneas -- (1.50 m) entre el nivel del fondo del relleno y el nivel de las aguas freáticas.

La cantidad de basura que recibirá el sitio en 2 años, será; 1330 ton. la cantidad de tierra de cubierta requerida para cubrir las 1330 ton. de basura, será de 333 ton.

Se dividió, tanto la topografía del sitio como la topografía final del relleno, en 8 celdillas de operación, para determinar las cantidades de tierra disponibles y requeridas en cada una de las 8 celdillas. A continuación se realizó un balance en cada una de las celdillas con tales cantidades, obteniéndose 2 celdillas fuente, 3 celdillas destino y 3 celdillas que demandaban aproximadamente, una cantidad de tierra igual a la disponible, por lo que se eliminaron del análisis. El siguiente paso fue determinar las distancias entre los centros de gravedad de las celdillas fuente y las celdillas destino.

En la tabla 3.3.1, se presenta la matriz de distancias entre los orígenes y destinos.

Tabla 3.3.1. MATRIZ DE DISTANCIAS (Valores en metros).

Destinos Orígenes	Celdilla 1	Celdilla 2	Celdilla 3
Celdilla 1	60	150	300
Celdilla 2	1250	100	90

De acuerdo con las distancias registradas en la tabla anterior, para realizar los movimientos de terracerías entre las celdillas fuente y las celdillas destino, los posibles equipos a emplear, son:

- a. Un tractor de orugas de 60 H.P., para excavación y transporte de material tipo "A"; con cuchilla excavadora y empujadora de 2.15 m x 0.80 m; una velocidad de operación promedio de 45 m/min con carga de 50 m/min sin carga; un volumen empujado por la cuchilla de 1.30 m³. Esta maquinaria se empleará para el movimiento de terracerías, a una distancia máxima de 100 m.
- b. Una motoescrepa autocargable de 6 m³, para excavación y transporte de material tipo "A", para distancia máxima de 1 Km, con velocidades de operación promedio de; 167 m/min. con carga de 250 m/min., sin carga.

En este caso aplicar la programación lineal al movimiento de terracerías en un relleno sanitario para minimizar los costos de operación de la maquinaria a emplear, resulta -- adecuado.

Para esto, se divide en un número determinado de celdillas (n), tanto el plano ejecutivo del relleno sanitario, como la topografía existente del sitio donde se instalará dicho relleno. Con base en estos planos y tomando en cuenta: el nivel freático de las aguas, la interfase de suelo para -- proteger las de posibles contaminaciones, el nivel del fondo que tendrá el relleno en dicho sitio, y la relación promedio "suelo de cubierta/basura" requerida para el relleno; se determinan los volúmenes disponibles y requeridos de material de cubierta para cada una de las "n" celdillas, con el fin de balancearlas y determinar las celdillas fuente, las celdillas destino y las que no entrarán en el análisis.

Las celdillas con material excedente, serán las "fuentes", las que no requieran se conviertan en los "destinos"; y -- las que presenten un balance equitativo entre el material requerido y el disponible, no se tomarán en cuenta.

A continuación, se determinan las distancias en metros (d), entre los centros de gravedad de cada una de las celdillas fuentes, a cada una de las celdillas destinos.

Con la información anterior, se establece la matriz de orígenes y destinos (fuentes y sumideros), entre las celdillas con material de cubierta sobrante y las que presentan un cierto déficit de dicho material; para la cual, se numeran las celdillas destino 1 a "p". Dicha matriz se muestra a continuación en la tabla 3.3.2.

De acuerdo con dicha tabla:

"n" es el número total de celdillas.

"q" es el número de celdillas con balance equitativo entre el material de cubierta disponible y requerido, que no entran en el análisis.

"m" es el número de celdillas fuentes.

"p" es el número de celdillas destinos.

$$n = q + m + p \dots \dots \dots (4.1)$$

Tabla 3.3.2. MATRIZ DE ORIGENES Y DESTINOS.

Destinos	Celdilla (1)	Celdilla (j)	Celdilla (p)	Disponibilidades (m ³)
Orígenes				
Celdilla (1)	X_{d11}	X_{d1j}	X_{d1p}	a_1
Celdilla (2)	X_{d21}	X_{d2j}	X_{d2p}	a_2
Celdilla (i)	X_{di1}	X_{dij}	X_{dip}	a_i
Celdilla (m)	X_{dm1}	X_{dmj}	X_{dmp}	a_m
Requerimientos (m ³)	b_1	b_j	b_p	$\sum_{j=1}^p b_j$ $\sum_{i=1}^m a_i$

Dicha matriz debe cumplir con las condiciones siguientes:

$$a_i = \sum_{j=1}^p X_{ij} ; i = 1, 2, \dots, m \dots\dots\dots 4.2$$

$$b_j = \sum_{i=1}^m X_{ij} ; j = 1, 2, \dots, p \dots\dots\dots 4.3$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^p X_{ij} = \sum_{j=1}^p b_j \dots\dots\dots 4.4$$

$$\sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^p b_j = 0 \dots\dots\dots 4.5$$

Donde:

X_{ij} : Volumen de suelo de cubierta que puede ser transportado de la celdilla fuente "i", a la celdilla destino "j", en m^3 .

d_{ij} : Distancia que deberá cumplir la maquinaria, transportar el volumen de suelo de cubierta " X_{ij} ", entre la celdilla fuente "i", y la celdilla destino "j", en metros.

a_i : Volumen de suelo de cubierta disponible, de la celdilla fuente "i", en m^3 .

$\sum a_i$: Suma de los volúmenes de suelo de cubierta -

de las celdillas destinos, en m^3 . (disponibilidades).

$\sum b_j$: Suma de los volúmenes de suelo de cubierta de las celdillas destinos, en m^3 . (requerimientos).

El modelo anterior debe ser empleado, de tal forma que todas las restricciones (expresiones 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y -- 4.5), sean satisfechas. Un problema grave ocurre cuando las expresiones 4.4 y 4.5 no se cumplen, pudiendo presentarse las dos condiciones siguientes:

$$\sum_{i=1}^m a_i \geq \sum_{j=1}^p b_j \quad \dots\dots\dots (4.6)$$

o bien:

$$\sum_{i=1}^m a_i \leq \sum_{j=1}^p b_j \quad \dots\dots\dots (4.7)$$

Estos casos pueden ser estructurados de manera que cumplan con las expresiones 4.4 y 4.5, tal como a continuación se indica:

Cuando la demanda es mayor que el suministro, expresión -- 4.6, se deberá introducir a la matriz de orígenes y destinos, una celdilla fuente ficticia (renglón), con distancias para cada uno de los destinos más grandes a las que --

puedan tenerse en la realidad; de tal forma, que las restricciones se cumplan.

Ahora bien, si la demanda es menor que el suministro, expresión 4.7, debe de introducirse en la matriz de orígenes y destinos, una celdilla destino ficticia (columna), con valores para las distancias a las diferentes celdillas -- fuentes, mayores a las que se tengan registradas en dicha matriz; de tal forma, que las restricciones se cumplan.

El siguiente paso es determinar los diferentes tipos de maquinaria a emplear, de acuerdo con las distancias máximas y mínimas registradas en la matriz de orígenes y destinos. A continuación, dicha matriz se estructura nuevamente para obtener una matriz de restricciones, aumentando variables " X_{ij} " según sea el número de posibles equipos a emplear, en cada cuadro " ij " de la matriz original (orígenes y destino), de acuerdo con la distancia registrada " d_{ij} ". Con base en lo anterior, dicha matriz de restricciones quedará tal y como se muestra en la tabla 3.3.3.

Si " s " es el número de posibles equipos a emplear, variando de la siguiente manera, $s = 1, 2, 3, \dots, k, \dots, (4.8)$

Tabla. 3.3.3. MATRIZ DE RESTRICCIONES (*).

		Destinos (j)		Disponibilidades (m ³)	
		Celdilla (1)	Celdilla (j)		
(i) Orígenes		Celdilla (1)	Celdilla (j)	Celdilla (p)	
	CELDILLA (1)	Maquinaria Tipo (1)	X_{111} γ_1	X_{1j1} γ_2	X_{1p1} γ_3
Maquinaria Tipo (k)		X_{11k} γ_4	X_{1jk} γ_5	X_{1pk} γ_6	
CELDILLA (2)	Maquinaria Tipo (1)	X_{211} γ_7	X_{2j1} γ_8	X_{2p1} γ_9	a_2
	Maquinaria Tipo (k)	X_{21k} γ_{10}	X_{2jk} γ_{11}	X_{2pk} γ_{12}	
CELDILLA (i)	Maquinaria Tipo (1)	X_{i11} γ_{13}	X_{ij1} γ_{14}	X_{ip1} γ_{15}	a_i
	Maquinaria Tipo (k)	X_{ik1} γ_{16}	X_{ijk} γ_{17}	X_{ipk} γ_{18}	
CELDILLA (m)	Maquinaria Tipo (1)	X_{m11} γ_{19}	X_{mj1} γ_{20}	X_{mpk} γ_{21}	a_m
	Maquinaria Tipo (k)	X_{mk1} γ_{22}	X_{mjk} γ_{23}	X_{mpk} γ_{24}	
Requerimientos (m ³)		b_1	b_j	b_p	$\sum_{i=1}^m a_i$

(*) Las distancias de cada una de las fuentes, a cada uno de los destinos, para los diferentes tipos de maquinaria, son las mismas.

Con la tabla anterior, se podrá estructurar el problema en términos de la programación lineal, para ser resuelto mediante el método simplex y estar en condiciones de eliminar posibles limitaciones, si se pretende incluir otras restricciones.

Por tanto, a partir de la tabla 3.3.3 se pueden construir las restricciones, por las variables que aparecen en la extrema superior derecha de cada cuadro, de tal forma que para el problema que se analiza (matriz de la tabla 3.3.3.), se tendrán siete restricciones con 36 variables cada una.

A continuación se establecerán las restricciones del problema que nos ocupa, para el caso de dos celdillas fuentes y tres celdillas destino, con dos tipos de maquinaria por emplear, según se aprecia en la tabla 3.3.4.

Tabla 3.3.4. MATRIZ DE RESTRICCIONES.

$Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$	\leq	a_1
$0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + Y_7 + Y_8 + Y_9 + Y_{10} + Y_{11} + Y_{12}$	\leq	a_2
$Y_1 + 0 + 0 + Y_4 + 0 + 0 + Y_7 + 0 + 0 + Y_{10} + 0 + 0$	\leq	b_1
$0 + Y_2 + 0 + 0 + Y_5 + 0 + 0 + Y_8 + 0 + 0 + Y_{11} + 0$	\leq	b_2
$0 + 0 + Y_3 + 0 + 0 + Y_6 + 0 + 0 + Y_9 + 0 + 0 + Y_{12}$	\leq	b_3

$$y_i \geq 0, \forall 1, 2, \dots, 12.$$

La función objetivo para el caso que se analiza y que está sujeta a las restricciones anteriores, tendrá la siguiente forma:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{12} C_i Y_i \dots\dots\dots(4.10).$$

3.3.4. Evaluación Ex-Ante de Diseños Alternativos.

La planeación de un relleno sanitario, incluye tanto el diseño como su operación o construcción. El diseño, reúne básicamente los siguientes puntos: selección del sitio, con base en ciertos parámetros del suelo y del agua subterránea, así como su accesibilidad y cercanía a la población por servir; determinación del volumen de tierra disponible en el sitio, para emplearse como material de cubierta en el relleno; protección de las aguas subterráneas, de los efectos contaminantes de los líquidos percolados y por último, determinación y distribución de las celdas de basura diarias, las cuales constituirán el relleno sanitario. Por otro lado, las acciones encaminadas a formar las celdas de basura, constituyen lo que se ha dado en llamar como la operación de relleno.

De acuerdo con la experiencia, se puede decir que existe un divorcio entre el diseño y la operación de un relleno, lo cual da como resultado un inadecuado movimiento de te--

rracerías y por consiguiente, una disminución en la capacidad del sitio para almacenar basura; así como un incremento considerable en los costos de operación de la maquinaria.

En las fases anteriores se estableció la forma en que un relleno sanitario puede ser operado eficientemente, seleccionando adecuadamente el tipo de maquinaria a emplear.

Dado el tipo de sistema a crear, la evaluación para este caso, será económica, ya que el hecho de utilizar la maquinaria adecuada representará ahorros considerables en la operación del relleno.

3.3.5. Selección.

Con la información de las fases anteriores, se procede a elaborar la matriz de restricciones, la cual se presenta en la tabla 3.3.5.

Tabla 3.3.5 MATRIZ DE RESTRICCIONES (*)

Destinos Orígenes		Celdilla 1	Celdilla 2	Celdilla 3	Disponibili- dades
Celdilla (1)	Tractor	Y_1 X_1	Y_2	Y_3	110
	Motoescre- pa	Y_4 X_2	Y_5 X_3	Y_6 X_4	
Celdilla (2)	Tractor	Y_7	Y_8 X_5	Y_9 X_6	70
	Motoescre- pa	Y_{10} X_7	Y_{11} X_8	Y_{12} X_9	
Requerimien- tos m_3		45	75	60	180

(*) En los pasos posteriores del análisis, no se tomarán en cuenta las variables que aparecen en la tabla 3.3.3 encerradas en el círculo. Esto se debe a que en tales casos, la maquinaria para realizar el movimiento de terracerías, no es la adecuada para la distancia que deberá cumplir entre la celdilla fuente y la celdilla destino.

A continuación se presenta el problema, formulado en términos de la programación lineal (Función Objetivo y Restricciones).

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } Z = & 17.16 X_1 + 20.40 X_2 + 24.60 X_3 + 33.12 X_4 + \\ & 31.20 X_5 + 29.16 X_6 + 34.32 X_7 + 26.04 X_8 + \\ & 25.56 X_9. \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} 1X_1 + 1X_2 + 1X_3 + 1X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 & \leq 110 \\ 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 1X_5 + 1X_6 + 1X_7 + 1X_8 + 1X_9 & \leq 70 \\ 1X_1 + 1X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 1X_7 + 0X_8 + 0X_9 & \geq 45 \\ 0X_1 + 0X_2 + 1X_3 + 0X_4 + 1X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 1X_8 + 0X_9 & \leq 75 \\ 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 1X_4 + 0X_5 + 1X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 1X_9 & \geq 60 \end{aligned}$$

$$X_i \geq 0, \forall i$$

NOTA: Los valores que aparecen en la función objetivo, representan los costos de la maquinaria, por cada m^3 de tierra de cubierta transportado, por lo cual están dados en $(\$/m^3)$. Dichos costos se obtuvieron con la siguiente expresión:

$$C = \frac{P}{\left(\frac{t_1}{d}\right)VN + t_2} \cdot \frac{1}{V1 + V2}$$

donde:

C : Costo de la maquinaria por cada m^3 de tierra transportada, en $\$/m^3$.

P : Costo diario de la maquinaria, en $\$/día$.

- Y : Volumen de tierra transportada por la maquinaria en un viaje, en m^3 /viaje.
- N : Número de horas laborables al día de la maquinaria, en horas/día.
- t_1 : Tiempo empleado por la maquinaria en cada viaje, para carga de material y cambios de velocidad, en minutos.
- t_2 : Tiempo empleado por la maquinaria en cada viaje, para carga de material y cambios de velocidad, en minutos.
- V_1 : Velocidad promedio de operación de la maquinaria sin carga, en mts/min.
- V_2 : Velocidad promedio de operación de la maquinaria con carga, en mts/min.
- d : Distancia de tiro entre una celdilla fuente y una destino, en metros.

El problema antes descrito, fue resuelto mediante el Método Simplex, con un programa de computadora. Los resultados arrojados se muestran en la tabla 3.3.6.

Tabla 3.3.G. MATRIZ DE RESULTADOS (VALORES EN M³).

Destinos Orígenes		Celdilla 1	Celdilla 2	Celdilla 3	Disponibili- dades
G ₁	Tractor	45			110
	Motoescre- pa		40	25	
G ₂	Tractor				70
	Motoescre- pa		35	35	
Requerimien- tos		45	75	60	180

La interpretación de los resultados es como sigue:

- De la celdilla fuente No. 1, se enviarán: 45 m³ de tierra a la celdilla destino No. 1 con tractor; con motoescrepa, 40 m³ y 25 m³, a las celdillas destinos Nos. 2 y 3, respectivamente.
- De la celdilla fuente No. 2 se enviarán con motoescrepa, 35 m³ de tierra tanto a la celdilla destino No. 2 como a la celdilla destino No. 3.

El valor de la función objetivo, será:

$$Z = 17.16 (45) + 24.60 (40) + 33.12 (25) + 26.04 (35) + 25.56 (35) = 4390.20$$

Ahora ya se cuenta con la información necesaria para que -

Las autoridades locales puedan planear el relleno sanitario en forma eficiente.

IMPLANTACION - OPERACION Y CONTROL.

Las siguientes fases del "Método de los sistemas" son la implantación, que es la fase en que el sistema es materializado y, Operación y Control, que es el período que transcurre desde la puesta en marcha de las operaciones hasta que estos son sujetos satisfactoriamente.

III.4. MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE AFECTADO POR LA EMANACION DE GASES CONTAMINANTES DE UNA FABRICA DE ACERO (12).

Descripción del Problema.

Los gases y humos que despiden una fábrica de acero por sus actividades productivas afectan en forma alarmante la calidad del aire de la ciudad de Stelltown, E. U. y es la única fuente importante de trabajo de esta zona, (este caso es muy semejante al que ocurre en Nonclova, Coah.).

Los propietarios de dicha fábrica quieren seguir políticas socialmente responsables y han decidido atacar el problema de los humos y gases contaminantes.

Para este caso, no se trata de crear un sistema productivo,

ya que el sistema es la fábrica de acero, sino que el problema radica en mejorar la calidad de aire. Por lo tanto, se empleará el METODO OPERACIONAL.

3.4.1. Ubicación del Sistema.

La fábrica de acero se localiza en la ciudad de Stelltown, E. U. y pertenece al sector secundario o industrial.

3.4.2. Análisis del Sistema Existente.

Como se indicó anteriormente, el problema radica en mejorar la calidad del aire de la ciudad de Stelltown, mejorando la calidad de la descarga de contaminantes de la fábrica de acero.

Los tres tipos principales de contaminantes que son emanados al aire son: materia particulada, óxido de azufre e hidrocarburos. Las normas de la EPA (Para México sería el equivalente a la SEDUE) requieren que la compañía cumpla los siguientes parámetros:

- . Partículas \leq 60 millones de libras/año.
- . Oxido de azufre \leq 150 millones de libras/año.
- . Hidrocarburos \leq 125 millones de libras/año.

3.4.3. Evaluación Ex-Post de los Resultados del Sistema.

De acuerdo con límites establecidos por la EPA la fábrica

de acero no esta cumpliendo con la calidad exigida para estos contaminantes (no se cuenta con los valores de los parámetros de la descarga de gases de la fábrica, por lo tanto no es posible definir que tan excedida se encuentra con relación a las normas).

3.4.4. Diagnóstico del Comportamiento del Sistema.

La fábrica de acero tiene dos fuentes principales de contaminación a la atmósfera:

- 1) Los altos hornos para fabricar el arraiño.
- 2) Los hornos de hogar abierto para cambiar el hierro en acero.

Estas dos fuentes contaminantes son las responsables de causar grave detrimento a la calidad del aire de la ciudad de Stelltown.

3.4.5. Identificación de Opciones de Corrección o Mejoramiento.

Los métodos más adecuados para abatir la contaminación de estas dos fuentes son:

- . Incrementar la altura de las chimeneas.
- . Filtros (incluyendo trampas de gas) en las chimeneas.
- . Empleo de materiales limpiadores de alto grado entre --

los combustibles para los hornos.

Todos estos métodos tienen límites tecnológicos sobre de -
cuanta emisión pueden eliminar. Estas reducciones se mues-
tran en la tabla 3.4.1.

Contaminante	Chimeneas más altas		F i l t r o s		Combustibles Mejores	
	Altos Hornos	Hornos de hogar abierto	Altos hornos	Hornos de hogar abierto	Altos hornos	Hornos de hogar abierto
Partículas	12	9	25	30	17	13
Oxido de azufre	35	42	18	31	56	49
Hidrocarburos	37	53	28	24	29	20

+ Millones de libras.

Tabla 3.4.1 REDUCCION DE LA TASA DE EMISION A PARTIR DEL USO
MAXIMO FACTIBLE DEL METODO DE ABATIMIENTO PARA
UNA FABRICA DE ACERO. +

Estos métodos pueden aplicarse a cualquier fracción de sus capacidades de abatimiento.

Dado que operan de modo independiente, las reducciones en la emisión logradas por cada uno de los métodos no son -- afectadas sustancialmente por el hecho de si también se -- aplican o no los otros métodos.

3.4.6. Evaluación Ex-Ante de Opciones.

Después de que se desarrollan todos estos datos, se determinó que ninguno de los métodos anteriores por si sólo puede lograr todas las reducciones requeridas por la EPA.

Por otra parte, combinar los tres métodos a toda su capacidad (lo que sería prohibitivamente caro si deben mantenerse los productos de la fábrica a un precio competitivo) es mucho más de lo adecuado.

Como consecuencia, se busca usar una combinación de estos métodos, con capacidades fraccionarias con base en sus costos relativos. Además, debido a las diferencias entre los altos hornos y los de hogar, probablemente los dos tipos -- no deban usar la misma combinación.

Se realizó un análisis para estimar el costo anual total -- en el que se incurriría por cada método de abatimiento. -- Además de los gastos incrementados de operación y manteni-

miento, también se consideraron los costos iniciales (convertidos a una base anual equivalente) del método, así como cualquier pérdida resultante en la eficiencia de los procesos de producción.

El análisis anterior condujo a las estimaciones de costo total (millones de dólares) que se presentan en la tabla 3.4.2., para usar los métodos a sus capacidades plenas de abatimiento.

Además, se determinó que el costo de usos menores de un método es esencialmente proporcional a sus capacidades fraccionaria. Por tanto, para cualquier fracción dada que se use, el costo anual total sería el de la fracción de la cantidad correspondiente a la Tabla 3.4.2.

Tabla 3.4.2. COSTO ANUAL TOTAL A PARTIR DEL USO MAXIMO FAC
TIBLE DEL METODO DE ABATIMIENTO PARA LA FABRI
CA DE ACERO. (MILLONES DE DOLARES).

Métodos de abatimiento (o reducción)	Altos hornos	Hornos de hogar abierto
Chimeneas más altas	8	10
Filtros	7	6
Combustibles mejores	11	9

La información obtenida servirá para formar el plan de reducción de contaminantes emanados por la fábrica de acero.

Este plan consistirá en la especificación de que tipos de métodos de abatimiento o reducción se usarán y que fracciones de sus capacidades de abatimiento, para los altos hornos y los hornos de hogar abierto.

3.4.7. Selección.

Para determinar la selección más adecuada de este problema, nos apoyaremos en la programación lineal.

El modelo de programación lineal presenta 6 variables de decisión X_j ($j = 1, 2, \dots, 6$), representando cada una el uso de los tres métodos de abatimiento para uno de los dos tipos de hornos, expresada como una fracción de la capacidad de abatimiento, según se aprecia en la tabla 3.4.3.

Tabla 3.4.3. VARIABLES DE DECISION (FRACCION DEL USO MAXIMO FACTIBLE DEL METODO DE ABATIMIENTO).

Métodos de abatimiento	Altos hornos	Hornos de hogar abierto
Chimeneas más altas	X_1	X_2
Filtros	X_3	X_4
Combustibles mejores	X_5	X_6

Debido a que el objetivo es minimizar el costo total mientras se satisfacen los requerimientos de reducción de la emisión, el modelo es:

$$\text{Min. } Z = 8X_1 + 10X_2 + 7X_3 + 6X_4 + 11X_5 + 9X_6$$

Sujeta a las restricciones:

$$12X_1 + 9X_2 + 25X_3 + 20X_4 + 17X_5 + 13X_6 \geq 60$$

$$35X_1 + 42X_2 + 18X_3 + 31X_4 + 56X_5 + 49X_6 \geq 150$$

$$37X_1 + 53X_2 + 28X_3 + 24X_4 + 29X_5 + 20X_6 \geq 125$$

$$X_j \leq 1, \text{ para } j = 1, 2, \dots, 6$$

$$X_j \geq 0, \text{ para } j = 1, 2, \dots, 6$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones anteriores se obtuvo el valor de cada variable.

$$X_1 = 1.000$$

$$X_4 = 1.000$$

$$X_2 = 0.623$$

$$X_5 = 0.048$$

$$X_3 = 0.343$$

$$X_6 = 1.000$$

Por lo tanto el valor de la función objetivo es el siguiente:

$$Z = 8(1.0) + 10(0.623) + 7(0.343) + 6(1.0) + 11(0.048) + 9(1.0)$$

$$-Z = 32 \text{ millones de dólares.}$$

Y la distribución óptima es la siguiente:

Método	Altos hornos	Hornos para hogar abiertos
Chimeneas más altas	1.000	0.623
Filtros	0.343	1.000
Combustibles mejores	0.048	1.000

Las fases de Implementación de la Opción Seleccionada y --
Control quedan fuera del alcance de este trabajo.

IV. OTROS CASOS DE APLICACION.

IV. OTROS CASOS DE APLICACION

IV.1. EL ENFOQUE DE SISTEMAS EN LA PLANEACION REGIONAL DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, AGUAS RESIDUALES Y DESECHOS SOLIDOS. (14)

Descripción del problema.

En el siguiente caso se emplean las técnicas del análisis de sistemas y los modelos de simulación de computadora para planear la infraestructura de los servicios de abastecimiento de agua, aguas residuales y manejo de los residuos sólidos en la ciudad estadounidense de Tucson, Arizona, en un área de 5000 millas cuadradas.

Este estudio fué desarrollado en un período de dos años bajo la dirección de un Comité integrado por los responsables del manejo de los sistemas de abastecimiento de agua, aguas residuales y desechos sólidos de Tucson. (14)

En esta zona se han venido incrementando los problemas de abastecimiento de agua y de aguas residuales. Lo anterior se agrava con una sobreexplotación del acuífero de aguas subterráneas principalmente por los usos municipal, agrícola e industrial, ocasionando además una degradación del agua por la contaminación por sales por esa sobreexplotación. La constante y creciente generación de los desechos sólidos y la carencia de sitios para ubicar rellenos sanitarios, incrementa aún más los problemas de esta zona.

El planteamiento de estos problemas se hizo mediante el uso de modelos de computadoras que analizaron muchas alternativas posibles. Los modelos consideraron la optimización del costo mínimo, sujeto a las restricciones físicas, legales e institucionales de cada caso.

1) Modelos.

Tres modelos fueron empleados:

- a) Un modelo de distribución en el cual se analiza una red para determinar a un costo mínimo la ruta óptima de fuentes probables de abastecimiento de agua, incluyendo el agua subterránea, agua superficial y las aguas residuales tratadas para varios puntos de demanda del área de estudio.
- b) Un modelo de agua subterránea, el cual simula cambios en la profundidad del acuífero en un punto a una milla de distancia, considerando la recarga y la operación de bombeo en un tiempo dado y simula además, las características de calidad del agua con relación a las sales por la sobreexplotación.
- c) Un modelo que facilita la selección más adecuada para la disposición de los desechos sólidos, en un período de generación de 50 años. El modelo incluye la localización y capacidades de estaciones de transferencia, incineradores y rellenos sanitarios,

a costos mínimos para el manejo del sistema de los desechos sólidos en el área de estudio.

Diez alternativas fueron analizadas para los sistemas de manejo de agua de abastecimiento y aguas residuales en la modelación del Sistema Tucson. Una matriz fue desarrollada para comparar los valores de los factores, tales como el impacto del medio ambiente. Diecisiete alternativas de transportación para desechos sólidos, procesamiento y disposición que involucran diferentes niveles de regionalización, fueron costeadas en el Modelo.

El análisis anterior fue hecho para una planeación regional de 50 años; el cual integra el manejo de la infraestructura de los elementos de abastecimiento de agua, aguas residuales y desechos sólidos.

2) Pasos seguidos en el estudio.

1. Definición de los límites del sistema.
2. Especificación de los subsistemas independientes.
3. Obtención de la información del sistema.
4. Establecimiento de una función de planeación en el área de estudio.
5. Bosquejo de las restricciones del sistema/sub-

sistema y la función objetivo.

6. Obtención de la información presente y futura de las características del área de estudio.
7. Modificación de los modelos de Ingeniería existentes.
8. Bosquejo de las alternativas posibles para cada subsistema.
9. Análisis de alternativas.
10. Formulación del plan elegido como un Plan Maestro de Ingeniería.

3) Formulación del problema como un sistema.

Las tres principales categorías de usuarios de los sistemas de abastecimiento de agua, aguas residuales y desechos sólidos son: el municipio, el agricultor y el industrial. Cada uno de estos usuarios tiene diferentes requerimientos de calidad y cantidad de agua y cada uno produce desechos líquidos y sólidos en cantidades y calidades diversas.

En la figura 4.1.1 se presenta la interrelación entre el sistema, los usuarios y el medio ambiente.

La solución del problema se hace a través de un proceso compuesto por tres elementos integrales: definición de objetivos, restricciones y evaluación de alternativas.

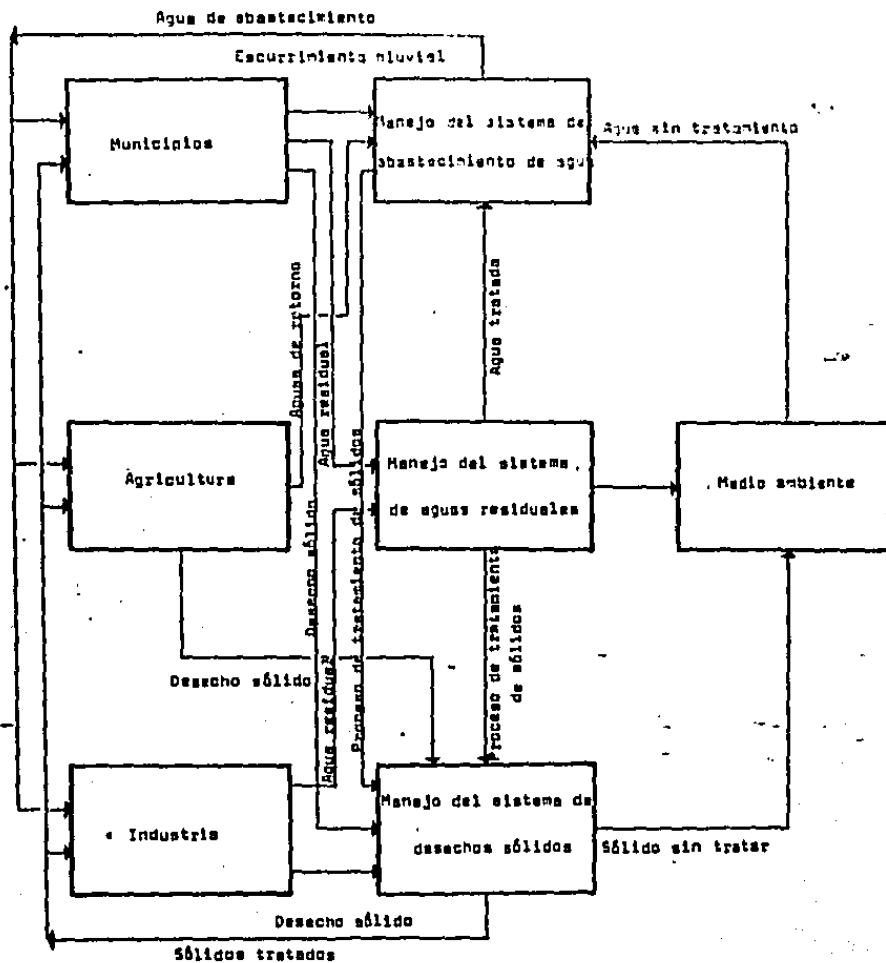


Figura 4.1.1 Principales interrelaciones entre el manejo de los sistemas y la categoría de usuarios.

Antes de que se seleccionaran los modelos que se usaron en este estudio, se cuantificó el problema lo mejor posible a fin de emplear los modelos más adecuados en el proceso de planeación. La figura 4.1.2 es un diagrama esquemático de las interrelaciones entre la información necesaria de planeación, y tipos de modelos requeridos en el estudio. En las figuras 4.1.3 y 4.1.4 se presenta el sistema y estructura de los componentes del modelo de asignación.

IV.2 UN MODELO DE SIMULACION COMO ESTRATEGIA PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL EN LOS PUERTOS INDUSTRIALES Y SU ZONA DE INFLUENCIA. (15)

Descripción del problema.

La construcción y desarrollo de un puerto industrial plantea múltiples factores de cambio sobre el entorno donde se asienta su área de influencia. Tradicionalmente los problemas del manejo de los desechos líquidos, sólidos y gaseosos han sido tratados en forma separada entre sí, en relación con la parte del medio ambiente receptora, es decir el aire, la tierra y los cuerpos de agua. Este enfoque fraccionario a menudo ha tenido como resultado efectos no previstos.

Acciones tendientes a controlar la calidad del aire, han afectado la calidad de los cuerpos de agua o de los suelos

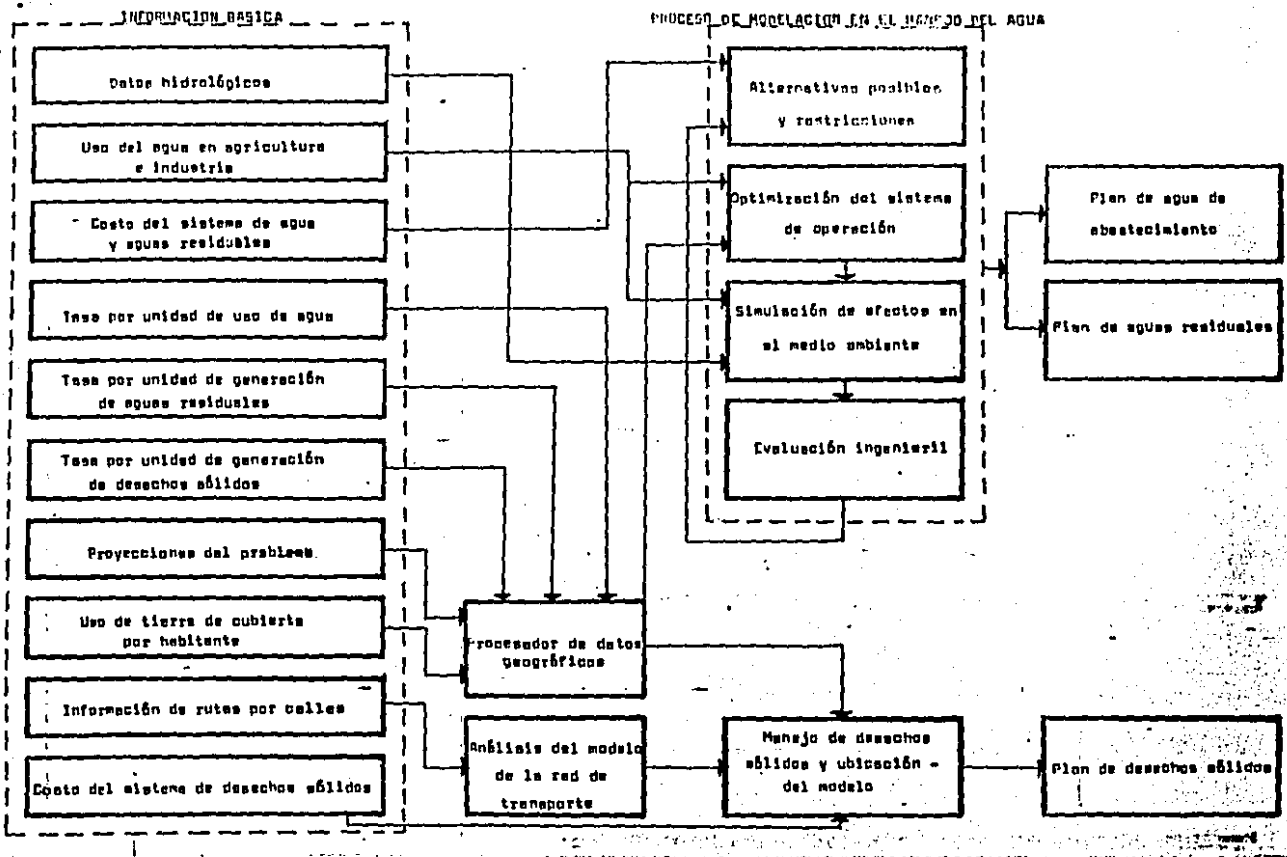


Figura 4.1.2 Interrelación entre la información básica, el proceso de modelación y el plan.

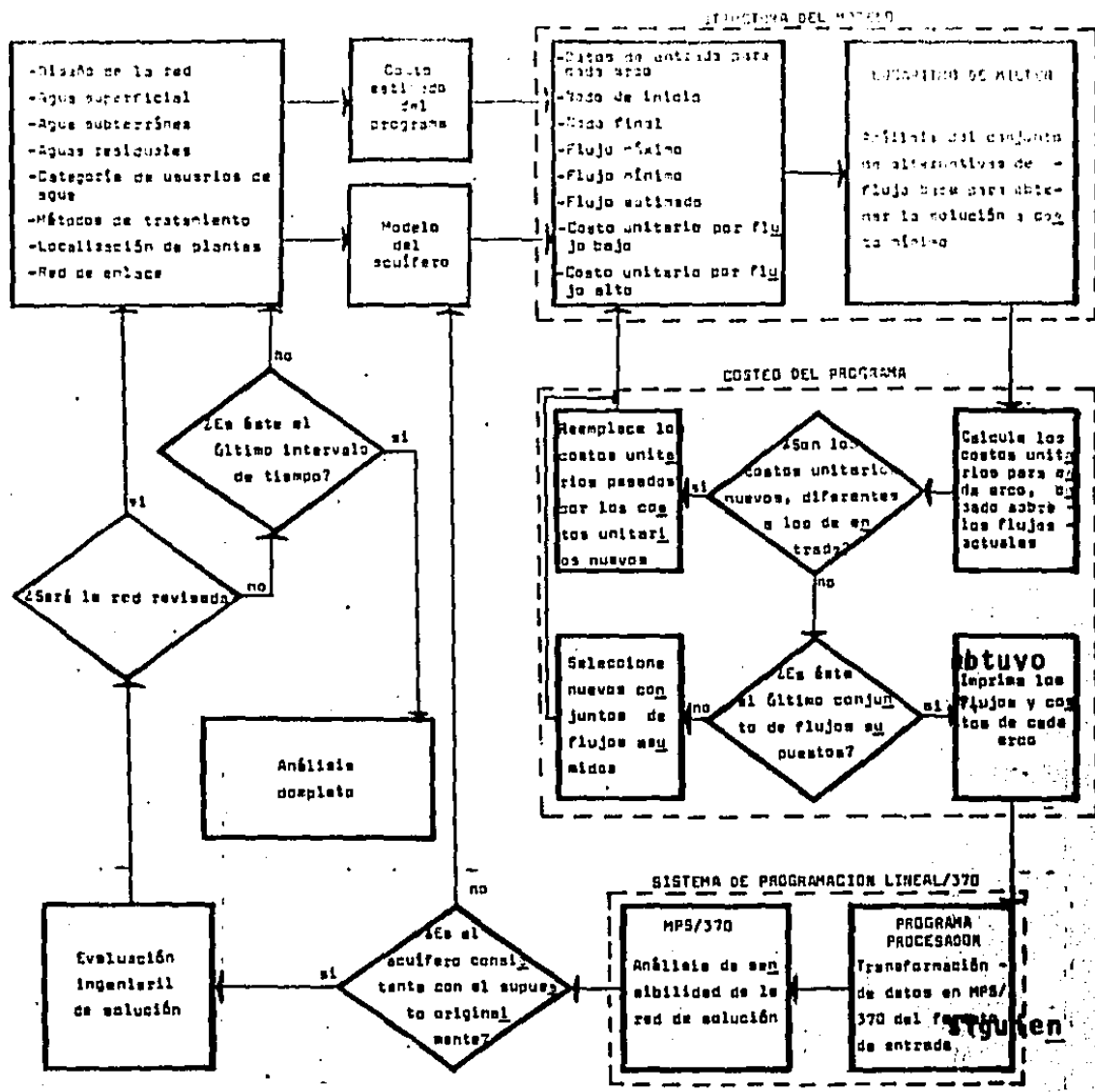
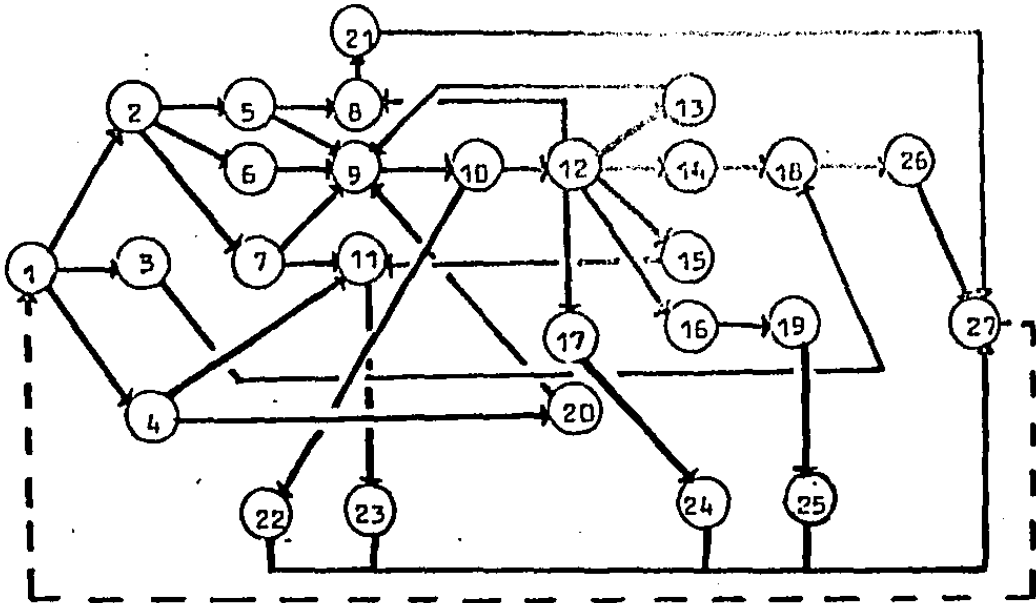


Figura 4.1.3 Sistema de asignación de agua del Modelo Tucson.



- | | |
|----------------------------------|---|
| 1. Fuente | 17. Riego urbano |
| 2. Agua subterránea | 18. Sitio de recarga del acuífero |
| 3. Luvia y arroyos | 19. Torres de enfriamiento |
| 4. Agua importada | 20. Tratamiento de aguas residuales |
| 5. Bombeo para agricultura | 21. Pérdida de carga en uso agrícola |
| 6. Bombeo municipal | 22. Pérdida de carga para uso municipal |
| 7. Bombeo para minas | 23. Pérdida de carga por extracción |
| 8. Riego agrícola | 24. Pérdida de carga por riego urbano |
| 9. Consumo municipal interno | 25. Pérdida de carga por enfriamiento |
| 10. Consumo municipal externo | 26. Recarga de acuífero |
| 11. Extracción | 27. Desagüe (pila) |
| 12. Tratamiento de agua residual | |
| 13. Desmineralización | |
| 14. Remoción de nitrógeno | |
| 15. Remoción de fosfatos | |
| 16. Filtración | |

Figura 4.1.4 Estructura de los componentes del modelo de asignación de agua de Tucson.

y viceversa, por ejemplo; la tecnología para reducir las emisiones gaseosas y líquidas han originado la producción de una enorme cantidad de desechos sólidos, que exigen de lugares adecuados para su tratamiento y disposición final. En estas condiciones, un enfoque integrado que analice en forma conjunta todas las opciones de manejo de residuos -- puede ser útil para el proceso de toma de decisión, y en los estudios de impacto ambiental.

1.- MODELO DE SIMULACION,

Para resolver el problema, se propone un modelo de simulación que analice regionalmente el manejo de los residuos -- que se generan en un sistema dado, incluyendo la gama de opciones disponibles para manejar la calidad del ambiente e indicando como todos los componentes del sistema pueden ser expresados y utilizados dentro del mismo esquema computacional.

1.1. Sistema Regional de manejo de residuos.

Los integrantes del sistema se pueden definir en:

a) Modelos de generación de residuales y descargas.

Describe las características y los factores que influyen en la generación, las modificaciones factibles (por ejemplo; tratamiento) y las -- descargas finales de residuos que se producen --

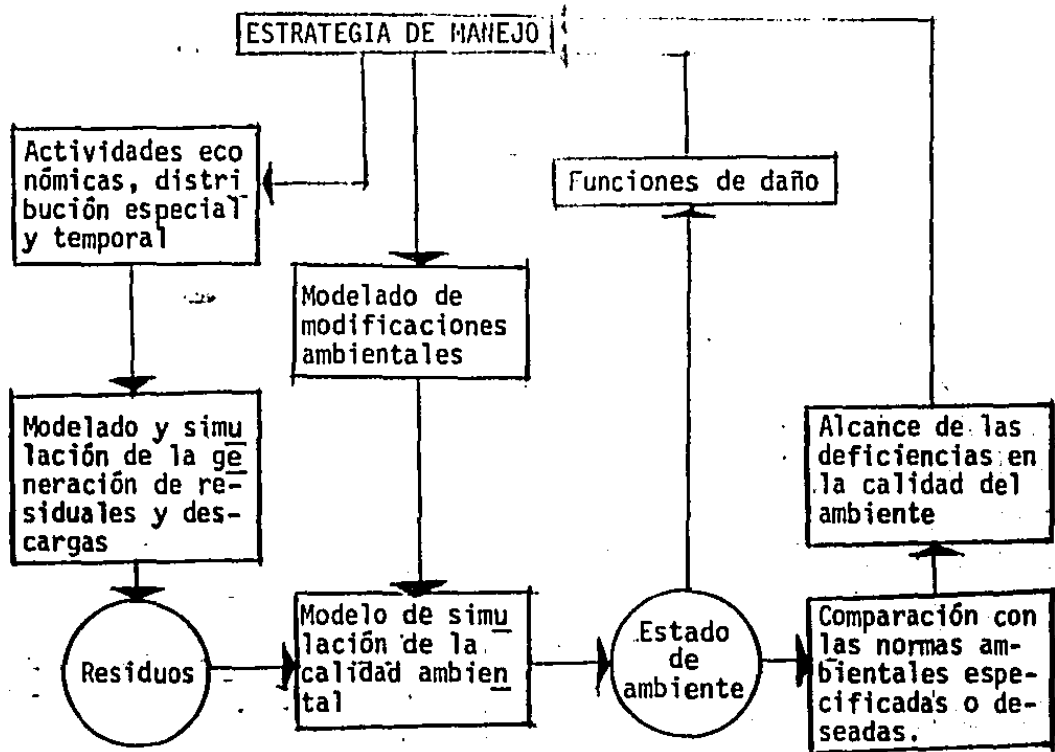
al ambiente, derivados de las actividades de -- producción y consumo incluyendo los costos relevantes.

- b) Modelos de modificaciones al ambiente. Describen las opciones disponibles para mejorar la capacidad de asimilación del ambiente, incluyendo costos.
- c) Modelos de calidad del ambiente. Describen el medio ambiente natural, sus características -- (concentraciones y sus variaciones en el tiempo y el espacio), las poblaciones de interés, etc.
- d) Funciones de daño. Relacionan los patrones de concentración (variaciones en el tiempo y en el espacio) de los residuos en el ambiente y su impacto en los receptores: el hombre, los -- animales, las plantas y las estructuras en términos físicos, biológicos y económicos.
- e) Estrategias de manejo. Las constituyen el conjunto de alternativas evaluadas que afectan a -- uno o más puntos en el sistema de manejo, junto con los costos y beneficios asociados a cada alternativa.

En la fig. 4.2.1 se muestra un esquema conceptual simplifi

cado del sistema anteriormente descrito.

Fig. 4.2.1. ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA.



2.- FORMULACION DEL MODELO Y OPTIMIZACION DEL ESQUEMA.

El modelo que se presenta es determinístico y de régimen permanente. Desde el punto de vista económico el modelo es estático. La función-objetivo del modelo es maximizar el beneficio neto total regional y minimizar el costo total de mantener determinados estándares de calidad en el ambiente. Se asumen que existen ciertas normas de calidad en el ambiente previamente especificadas que se desean sa-

tisfacer. El modelo permite la importación y exportación regional. Ver figura 4.2.2.

Los elementos positivos de esta función incluyen en forma aproximada beneficios obtenidos de la venta de varios productos.

Los elementos negativos incluidos son: todos los costos de oportunidad de la producción tradicional, los costos de tratamientos (modificaciones) de todos los desechos líquidos, gaseosos o sólidos, y los costos del tratamiento de la recolección, el tratamiento, el transporte y la disposición asociada con los desechos residuales sólidos.

En el modelo de generación de residuos y de descargas o ambos, existen o pueden ser construidos usando algunas de las formas de programación lineal estandar, además de cada modelo se puede programar en forma separada o en forma integrada mezclando todo en conjunto.

IV.3. OPTIMIZACION DINAMICA DE UN SISTEMA REGIONAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. (16)

El presente caso describe un modelo de optimización de un sistema tratamiento de aguas residuales, desarrollado para analizar las necesidades regionales de tratamiento. (16)

Descripción del problema.

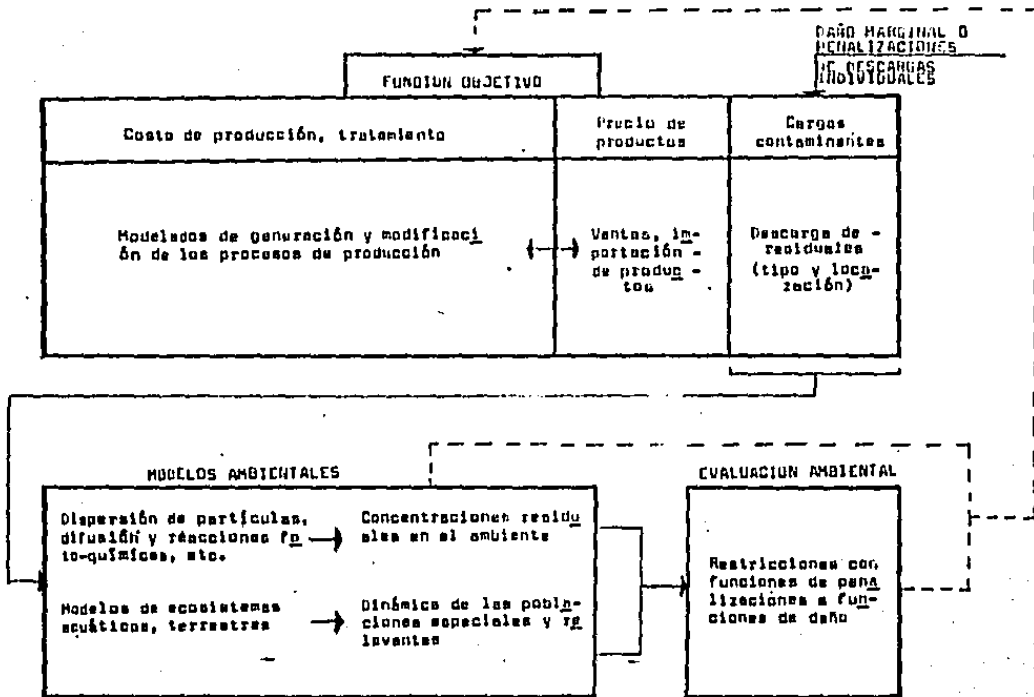


Figura 4.2.2 Diagrama esquemático del modelo regional para el manejo de residuos.

Muchas ciudades e industria del país padecen de problemas por el tratamiento de sus aguas residuales debido a la falta adecuada de una buena planeación de los sistemas de tratamiento. Por otra parte, la complejidad creciente de los procesos de tratamiento y la limitada capacidad de financiamiento destinadas a plantas de tratamiento, obligan a utilizar herramientas y técnicas de planeación. Se sabe por experiencia, además que la construcción y operación de plantas de pequeña capacidad generalmente es menos eficiente que la construcción y operación de una planta de gran capacidad, principalmente la economía de escala que se llega a obtener.

Un modelo matemático de computadora es frecuentemente una buena herramienta para cuantificar las interrelaciones específicas de este tipo de problemas.

1) TEORIA DEL MODELO.

El presente modelo se desarrolló para evaluar el control, en lapsos de tiempo y permite la toma de decisiones sobre la capacidad de expansión (hidráulica y eficiencia de tratamiento) para sistemas de tratamiento de aguas residuales. El procedimiento consiste en seleccionar la combinación de las plantas de tratamiento y niveles de tratamiento, en el período de planeación que mejor satisfaga los objetivos deseados a costos mínimos. El modelo cuantifica

Los efectos de la economía de escala, tasas de interés de la inversión y los costos por operación y mantenimiento y reemplazo de un proyecto a través del tiempo.

El modelo es apropiado para resolver problemas que implican decisiones secuenciales, pero tiene la limitante de los costos por computadora cuando se usan más de 2 variables de estado.

La determinación de la combinación óptima de plantas, niveles de tratamiento, alcantarillados troncales o principales, durante un horizonte de planeación, considerando tasas de interés crecientes e inflación, se manejan mejor mediante un modelo de programación dinámica.

Para hacer el modelo apropiado para un gran número de variables de decisión, el problema completo de optimización se descompone en partes de suboptimización de cada uno de los alternativas de tratamiento por cada año, a fin de obtener un solo parámetro que pudiera ser usado como la variable de estado para optimizar el sistema completo.

Una vista general del modelo esta representada mediante conceptos generalizados en la fig. 4.3.1.

En las alternativas se analiza la posibilidad de incorporar las aguas residuales presentes y futuras, a través de

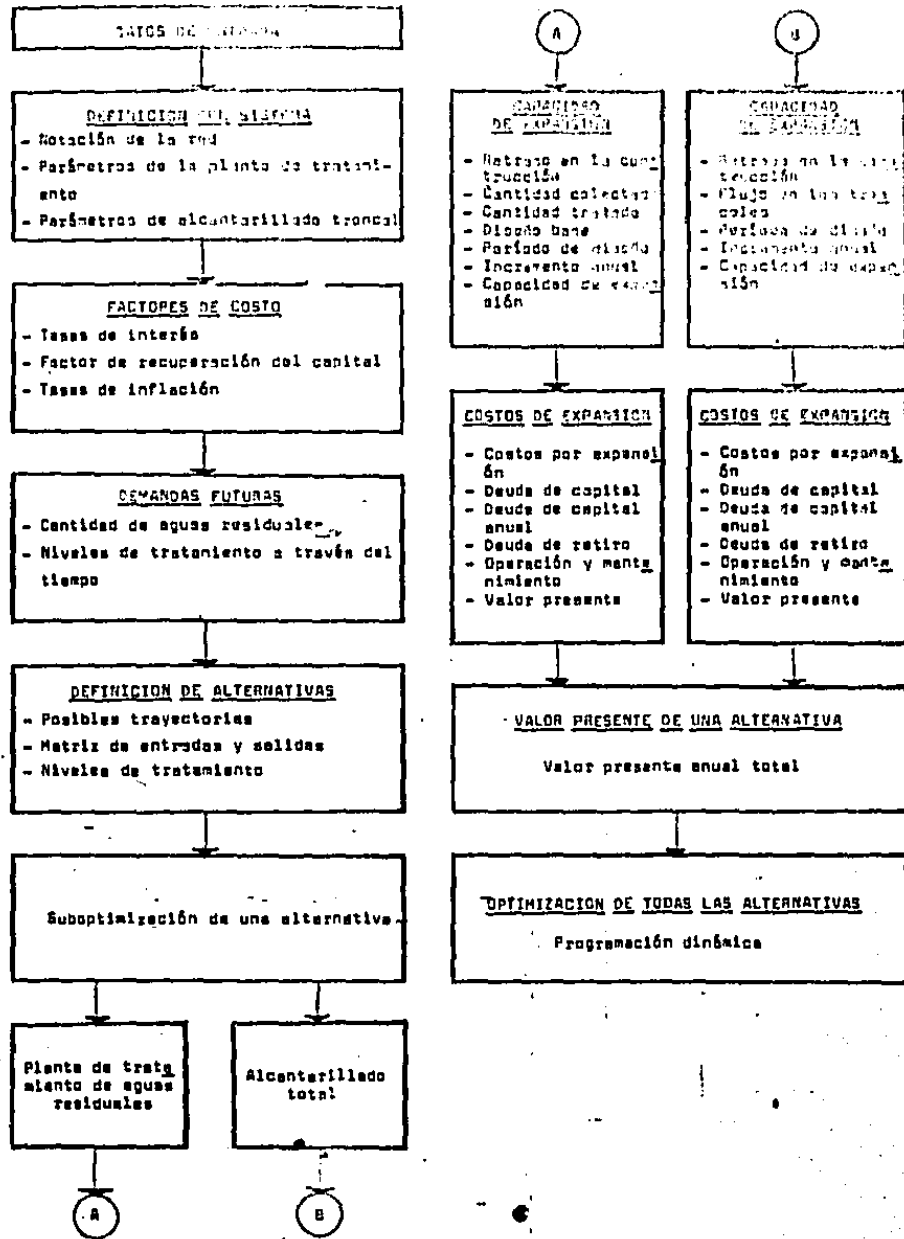


Figura 4.3.1 Diagrama general del modelo de optimización.

alcantarillados troncales, a otra planta, en caso que fuera incosteable construir u operar una determinada planta de tratamiento.

En el modelo se usó una notación basada en la ley de nodo de Kirchoff's. El principio básico consiste en cualquiera que sean los flujos que entran sean los que salen.

Es posible tener cualquier número de entradas, pero la planta de tratamiento esta limitada a una sola salida, no importa que si se esta descargando efluente tratado o como un punto de colección para transportación a otra planta de tratamiento.

En el modelo se emplean los siguientes subíndices:

i = fuente de entrada al nodo,

j = nodo de planta de tratamiento.

k = destino de la salida del nodo.

l = año de análisis.

m = esquema de alternativa de tratamiento.

Los parámetros del control son:

J = Número de plantas de tratamiento.

L = Número de años de planeación.

M = Número de alternativas que se analizan.

Todos los sistemas alternativos de tratamiento (planta, - niveles de tratamiento y colectores troncales) por considerarse en el modelo, estan especificamente designados por el usuario. Esto se lleva a cabo por medio de matrices de enteros de 0 y 1, indicando que planta de tratamiento y al cantarillas troncales estan siendo usadas por cada alternativa.

El modelo, aparte de considerar los costos por construcción, expansión o mejoría en las plantas de tratamiento y colectores troncales, agrega los costos por deuda de capital y pago de capital anual.

Como se indicó, el propósito del programa es determinar la trayectoria de costo mínimo desde la etapa inicial hasta la etapa final. Es decir, el conjunto de alternativas de costos mínimos que pueda manejar las necesidades de requerimientos que satisfaga las especificaciones de calidad -- desde el principio hasta el final del período de planeación.

Resolver un problema de programación dinámica requiere el análisis de todas las alternativas disponibles en el paso siguiente y la selección de la alternativa óptima en el paso anterior. En el paso siguiente se incluyen los costos mínimos desde el estado inicial a cada posible estado y en cada etapa o año de una etapa a la siguiente, cuando se --

completa el paso siguiente, se selecciona la alternativa - de tratamiento que da el mínimo costo (ver fig. 4.3.2.).

La mayor parte de los casos de programación dinámica termina en este punto, pero en este modelo es necesario un paso posterior a lo largo de la trayectoria óptima para recalcular todos los parámetros deseados del sistema y para determinar cuales proyectos serán construidos en un futuro.

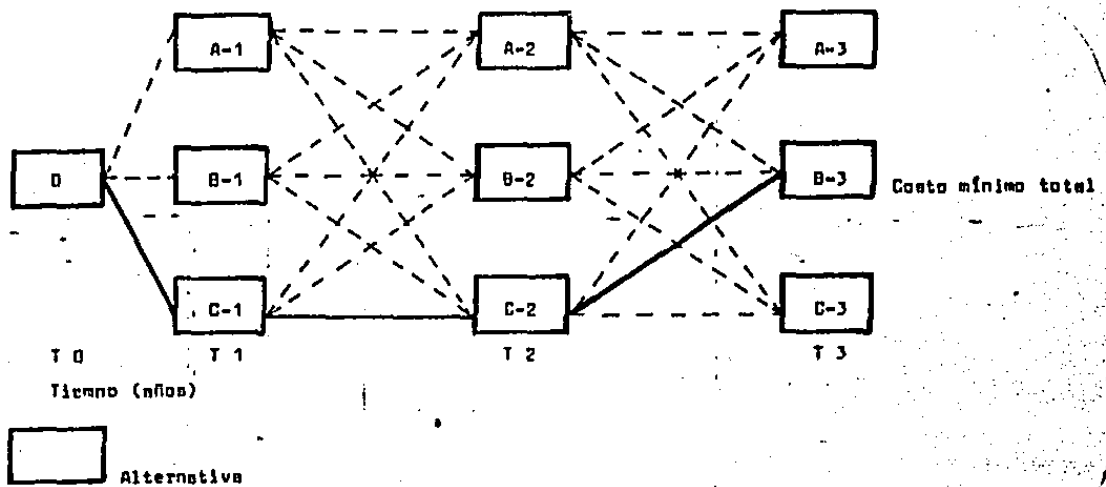


Figura 4.3.2 Formulación de la programación dinámica.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

V.1. CONCLUSIONES.

Es sabido por todos el rápido desarrollo que han experimentado durante el presente siglo, el tamaño y la complejidad de las organizaciones humanas. Lo anterior, conlleva a -- una interrelación que implica que la toma de decisiones -- tenga efectos positivos o negativos, cuyo alcance repercute en otros sectores y afecta a grandes núcleos humanos. Los errores pueden ser tremendamente costosos y una sola - decisión equivocada puede requerir años para rectificarse.

Lo anterior nos obliga a realizar una adecuada planeación de nuestros recursos humanos y/o materiales, a fin de optimizarlos y sacar mayor provecho de ellos.

Una manera adecuada para enfrentar este tipo de problemas, es a través de un enfoque de sistemas que emplea metodologías como la Ingeniería de Sistemas, Proceso estructurado de Solución de Problemas, Metodo de Hall, etc. A través - de involucrar las variables y conceptos relevantes de un - problema, proporciona soluciones que a simple vista son difíciles de determinar.

La programación matemática ha sido usada con bastante éxito en problemas de asignación de personal, mezclado de materiales, distribución y transportación, así como políticas de inversión. En este trabajo, se aprecia como se pue

de utilizar en la resolución de problemas del área de ingeniería ambiental, ya que esta se ha venido desarrollando - en forma casi artesanal, un tanto ajena a las nuevas técnicas de optimización empleadas a partir de los años 50's.

Se vió; a través del empleo de la metodología del "Proceso Estructurado de Solución de Sistemas Productivos" y de las herramientas de las técnicas de optimización, que son un - buen apoyo para la solución de determinados problemas que se presentan en el área de la Ingeniería Ambiental, aún -- cuando estos sean de diversa índole.

En el primer caso, el sistema productivo creado corresponde a un sistema de abastecimiento de agua, el cual, a través de la programación matemática empleada, se define el - funcionamiento óptimo, tomando en cuenta los costos de explotación y las distancias de las fuentes y destinos entre otros conceptos.

Se consideraron, en este caso, el volumen de explotación - de cada una de las fuentes de abastecimiento que es posible operar en la zona, a fin de satisfacer las demandas de la población, industria y riego, de forma tal, que los costos de explotación sean mínimos. Además se definió la cantidad de agua de cada una de las fuentes de suministro que se debe asignar a las demandas para que los costos de --- transportación resulten mínimos.

Los resultados para ambos procesos se determinaron a través de la aplicación de la programación matemática, empleando la programación lineal y el algoritmo del transporte.

Para el caso No. 2, consistente en planear un sistema productivo que definiera los cursos de acción que deberán tomarse cuando una descarga de aguas residuales, de un municipio es vertida a un cuerpo receptor, la teoría de juegos resultó ser una herramienta sumamente eficiente. Se consideraron diversos resultados: cuando existía tratamiento a la descarga, cuando se implantaba un tratamiento tipo primario y cuando se contaba con un tratamiento secundario.

Los adversarios en la teoría de juegos resultan ser el hombre y la naturaleza. El hombre con sus actividades cotidianas contamina el agua y de acuerdo con el grado de contaminación de sus descargas, la naturaleza le responde con la eliminación de algún uso o usos.

Para este caso, se seleccionaron los siguientes usos, catalogados como los más importantes: abastecimiento de agua potable, riego agrícola, recreativo, desarrollo de vida acuática, abastecimiento industrial alto y abastecimiento industrial bajo. De acuerdo con los diferentes grados de contaminación provocados por el hombre, la naturaleza responderá con parámetros de calidad inadecuados para un uso determinado.

Los parámetros de contaminación seleccionados para definir una descarga y la calidad de un cuerpo receptor son: temperatura, nitratos, sólidos suspendidos, bacterias coliformes, oxígeno disuelto como medida de materia orgánica, color y pH.

Utilizando las funciones de sensibilidad propuestas por Parker y Walski, se definen el grado de afectación que se tendrá al utilizar las aguas residuales municipales con los tres niveles de tratamiento indicados, según los usos mencionados anteriormente.

La matriz de pago de la teoría de juegos, se forma con los diferentes valores obtenidos de los tres niveles de tratamiento y la respuesta de la naturaleza a los seis usos considerados.

Este arreglo se resuelve por programación lineal y nos permite conocer los cursos de acción más adecuados.

En el caso No. 3, la parte fundamental era la creación de un sistema productivo para determinar la manera más eficiente para operar un relleno sanitario. La programación lineal se aplicó en el movimiento de terracerías para determinar la maquinaria más adecuada y minimizar los costos de operación, debido a que este factor es fundamental para planear un relleno sanitario.

La solución al problema consideró un movimiento de terracerías

rias mínimo, considerando que la tierra disponible que se rá empleada como material de cubierta, raramente se encuentra distribuida en forma proporcional sobre el sitio. Se consideró además que el personal encargado de operar la maquinaria pesada en el relleno sanitario, realiza inadecuadamente el movimiento de terracerías, puesto que lo efectúa de acuerdo a su criterio personal.

Mediante el empleo del algoritmo del transporte, se optimiza la transportación de los diferentes bancos de terracería de cubierta al sitio de disposición en el relleno sanitario. Utilizamos el método simplex para optimizar el uso de la maquinaria a emplear en el relleno sanitario.

El caso No. 4 presenta un problema de mejoramiento de la calidad de desechos gaseosos de una fábrica de acero, que causa serios problemas de salud por la emanación de partículas, óxido de azufre e hidrocarburos. Para resolver este problema se aplicó el método operacional. Se detectaron las fuentes contaminantes de la fábrica y se determinaron los métodos posibles para abatir los niveles de contaminación. Dado que cada método tiene una eficiencia y un costo determinado, se buscó la forma de combinar dichos métodos a fin de reducir al mínimo los costos de tratamiento.

Nuevamente, la programación lineal se aplicó para determinar los valores óptimos que debemos utilizar de cada método de remoción para obtener la mejor calidad de emisión al

menor costo.

Con el fin de complementar la ilustración sobre la aplicación de conceptos y herramientas del enfoque de sistemas - en la Ingeniería Ambiental, se realizó un análisis de sensibilidad sobre el caso No. 1, ya que es el que presenta - características más interesantes para realizar dicho análisis.

En este caso, se considera que la restricción No. 5 es una de las más críticas, pues involucra la cantidad de dinero que están dispuestos a pagar el municipio, los industriales y los agricultores, por concepto de operación y mantenimiento de los sistemas, de cada una de las fuentes de -- abastecimiento.

El problema se resuelve con la fijación de una cuota diaria de \$70,000.00 pero, considerando que desde el punto de vista del usuario la cuota más baja es siempre la mejor, - se trató de determinar la cuota mínima que aportará soluciones al sistema, encontrándose que para cuotas inferiores a \$21,000.00 el sistema de ecuaciones no tiene solución. Para obtener el resultado anteriormente mencionado, se aplicó la metodología descrita en la sección del análisis de sensibilidad, que se presenta en el anexo.

Es muy importante subrayar que en el caso que nos ocupa, - no existió en la práctica ningún problema entre la solu---

ción óptima encontrada desde el punto de vista matemático y de planeación y lo que los usuarios están dispuestos a pagar, disponiéndose de un margen para la fijación de cuotas que asegure el funcionamiento del sistema.

Cuando la planeación se realiza inadecuadamente, una solución óptima no siempre es factible, pues en ocasiones no considera la capacidad de pago de los usuarios, lo que en último caso impide el funcionamiento del sistema.

En el capítulo "Otros Casos de Aplicación" se mostró el empleo de modelos de simulación para una adecuada planeación de sistemas regionales con que se enfrenta la Ingeniería Ambiental, como son: la demanda de los servicios de abastecimiento de agua, tratamiento y disposición de aguas residuales y disposición de residuos sólidos.

En el primer caso, se emplearon las técnicas de análisis de sistemas y los modelos de simulación de computadora, para planear la infraestructura de los servicios de abastecimiento de aguas, tratamiento de aguas residuales y manejo de los residuos sólidos, en la ciudad estadounidense de Tucson, Arizona (U.S.A.).

En el segundo caso, se usó un modelo de simulación como estrategia para el control de la contaminación ambiental, en los puertos industriales (Altamira, Tam. y Lázaro Cárdenas, Mich.) y su zona de influencia, se propone un modelo de si

mulación que analice regionalmente el manejo de los residuos que se generan, incluyendo la gama de opciones disponibles para manejar la calidad del ambiente, e indicando - como todos los componentes del sistema. pueden expresarse y utilizarse dentro del mismo esquema computacional.

El tercer caso describe un modelo de optimización dinámica para analizar un sistema regional de tratamiento de aguas residuales. El modelo de optimización se desarrolló para evaluar el control, en el tiempo, sobre la capacidad de expansión de un sistema regional de tratamiento de aguas residuales. El procedimiento consiste en seleccionar la combinación de las plantas de tratamiento, en el período de planeación, que mejor satisfaga los objetivos deseados a - costos mínimos, cuantificando los efectos de las economías de escala, tasas de interés de la inversión y los costos - de operación y mantenimiento.

Finalmente, de acuerdo con una búsqueda bibliográfica sobre las técnicas y herramientas de sistemas utilizadas con más frecuencia para resolver problemas relacionados con la Ingeniería Ambiental, se detectó que el uso de estas técnicas, es escaso.

Sin embargo, con la información recabada, fué posible elaborar la tabla 5.1.1, en la cual se presentan, en forma matricial, el tipo de problemas del área ambiental y las técnicas de sistemas que fueron aplicadas.

Se puede concluir, tomando como base los resultados de todos los casos presentados en este trabajo, que la aplicación de metodologías y herramientas del enfoque de sistemas es de alta utilidad y muy recomendable para aplicarse en el área de la Ingeniería Ambiental.

TIPO DE PROBLEMA	INFORMACION GENERAL	MODELO DE SIMULACION	TEORIA DE COLAS	PROGRAMACION DINAMICA	TEORIA DE JUEGOS	ANALISIS ESTADISTICO	MODELOS DE EDADES
Distribución óptima de agua en un sistema de abastecimiento para usos municipales, agrícolas e industriales.	X						
Evaluación de impactos ambientales (no subjetivos) en los proyectos de plantas de tratamiento de aguas resid.	X				X		
Optimización del movimiento de terracerías de un relleno sanitario.	X						
Reducción de contaminantes emanados a la atmósfera por fábricas de acero.	X					X	
Estrategia para optimar la recolección de basura en una zona determinada.	X		X			X	
Planeación regional, en la forma integrada de los servicios de abastecimiento de agua, tratamiento de aguas residuales y disposición de desechos sólidos.		X				X	X
Determinación cualitativa y cuantitativa de las necesidades regionales de tratamiento de aguas residuales (comprende la obtención del no. de plantas, sus capacidades y niveles de tratar).		X		X		X	X
Planeación de un enfoque integrado para el control de contaminación ambiental en los puertos industriales y su zona de influencia.	X	X				X	
Administración de los recursos hidráulicos en zonas con carencias de abastecimiento de agua.	X	X				X	
Pronóstico de la cantidad de basura doméstica que se generará a través del tiempo en una población	X	X				X	

Tabla 5.1.1 TECNICAS DE SISTEMAS QUE PUEDEN APLICARSE EN LA SOLUCION DE DETERMINADOS PROBLEMAS DEL AREA DE INGENIERIA AMBIENTAL.

V.2. RECOMENDACIONES.

- 1) El empleo de las metodologías del enfoque de sistemas es muy recomendable en las diversas actividades profesionales en donde es necesario analizar sistemas complejos. El uso de estas metodologías puede aplicarse en una amplia gama de actividades profesionales, con mayor éxito cuanto más cuantificables sean los fenómenos que estudian.
- 2) En sistemas de alta complejidad, se recomienda la integración de grupos de trabajo de carácter interdisciplinario, ya que es difícil que un profesional cuente con todos los conocimientos necesarios para resolver los diversos problemas que se presentan en el análisis de sistemas.
- 3) Debido a que la Ingeniería Ambiental se enfrenta a problemas complejos, que involucran gran cantidad de variables, y a que el uso de los conceptos y herramientas de sistemas ha sido escaso hasta la fecha, en este campo, se propone realizar una mayor aplicación de ellos, con el fin de sistematizar su empleo.
- 4) A través de la aplicación de las metodologías y herramientas del enfoque de sistemas, en problemas de Ingeniería Ambiental, se identifican variables rele-

vantes y se propone el modelo más adecuado. En el caso de que existan diversas alternativas de solución, estas deben evaluarse a través de técnicas como la programación matemática, para seleccionar la más adecuada.

- 5) Todo estudio de un sistema, tiene que basarse en un modelo del mismo, es decir, en una representación simplificada e idealizada del prototipo. Este modelo se emplea, en combinación con las técnicas de simulación para determinar el comportamiento del sistema.
- 6) Cuando se ataque un problema de Ingeniería Ambiental. Es preferible que el número de alternativas sea demasiado grande que pequeño, ya que el costo de esta etapa, en general resulta menor que los perjuicios que causa un sistema implementado e inadecuado por falta de una exploración suficiente de alternativas.
- 7) En aquellos casos en que todos los objetivos de un sistema son cuantificables, se podrá establecer una sola función objetivo, lo cual permitirá que la toma de decisión se reduzca a un problema de optimización.
- 8) Es frecuente, cuando se aplican métodos de sistemas

al área de la Ingeniería Ambiental encontrar que es difícil establecer una sola medida de efectividad, que agrupe a todos los objetivos del sistema, ya -- que en muchas ocasiones los beneficios no son econó-- micos, sino de mejoramiento del ambiente, por lo -- tanto, difíciles de cuantificar. Esto implica el - establecimiento de la función objetivo.

- 9) Al tratar de utilizar el "Método de Sistemas" u --- otro, a un problema particular, pueden presentarse - dificultades en la planeación o implementación. Es conveniente tener en cuenta las siguientes conside-- raciones:

9.1 Definir exactamente el problema. Con ello se conseguirá una buena formulación de la función -- objetivo. Asimismo, describir en forma adecua-- da el sistema propuesto, en sus partes o sub-- sistemas y la interacción entre ellas.

9.2 Seleccionar el tipo de metodología adecuada pa-- ra el problema a resolver; considerar si se -- trata de crear o mejorar un sistema.

9.3 Si se plantea la solución de un modelo matemá-- tico de programación lineal y no se obtienen - las soluciones esperadas, se debe revisar las variables involucradas y el número de restric--

ciones formuladas. En el área de la Ingeniería Ambiental es posible que la maximización de utilidades no sea un objetivo fundamental.

9.4 El tiempo es un factor importante a considerar. En algunas ocasiones en el momento de producir u operar un sistema existe un desfaseamiento -- respecto al momento en que este resultaba adecuado u óptimo.

9.4 Al planear y diseñar un Sistema Ambiental, se debe considerar, en forma especial a los usuarios del mismo, ya que de nada sirve un sistema resuelto en forma óptima, si el usuario no es acorde con él.

10) En general, se requiere de tres tipos de entrenamiento académico para enfrentar con éxito cualquier clase de problemas, bajo un enfoque sistémico:

10.1 Conocimientos suficientes de matemáticas y ciencias, como temas de álgebra lineal y teoría de matrices teoría de la probabilidad, inferencia estadística, procesos estocásticos, ciencia de la computación, microeconomía, contabilidad y administración de empresas, teoría de la organización y las ciencias del comportamiento.

10.2 Conocimiento de las técnicas como la programación lineal y no lineal, la programación dinámica, la teoría del inventario, la teoría de flujo de redes, modelos de colas, confiabilidad, teoría de juegos y simulación.

10.3 Entrenamiento especializado en algún campo diferente al de las metodologías de sistemas como la Ingeniería Ambiental, Economía, Ingeniería Industrial, etc. El conocimiento de una disciplina determinada permitirá al individuo aplicar las metodologías de sistemas en esa área.

VI. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

CAPITULO VI.

VI. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA.

VI.1. REFERENCIAS.

- 1.- La planeación y La Administración, Límites y Confluencias Isaías Alvarez García. Curso de Análisis y Proyectos. Vol. III, CECADA. S.P.P. México 1984.
- 2.- Teoría General de los Sistemas, Ludwing Von Bertalanffy. Fondo de Cultura Económica. México 1984.
- 3.- Método de los sistemas. Felipe Ochoa Rosso. División de Estudios de Posgrado. Fac. de Ing. UNAM, D-5. México, 1985.
- 4.- Diseño de Nuevas Ciudades. Enfoque Sistémico. J.E. Gibson. Edit. Limusa. México, 1981.
- 5.- Teoría General de Sistemas. John P. Van Gigch., 2a. Edición Edit. Trillas. México, 1987.
- 6.- A Systems map of the universe. Checkland, P.B., Journal of Systems Engineering, 2,2, 1971.
- 7.- Three Dimensional Morphology of Systems Engineering. Hall Arthur D. I E E E Trans. on Systems Science and cybernetics. U.S.A.
- 8.- Ecoplan del Municipio de Santiago Papasquiaro, Dgo. --

- 9.- Estudio de Factibilidad e Ingeniería Básica para el Sistema de Tratamiento de las Aguas Residuales de la Cd. de Tepic, Nay. SEDUE México, 1986.
- 10.- Consumers Water Quality Index. Thomas M. Walski y Frank L. Parker, Journal Environmental Engineering. División (A.S.C.E.), Vol. 100, No. EE3, Junio 1974 pp 539-611.
- 11.- Water Supply and Pollution Control, Clark, Viessman y Hammer, Ed. I.E.P., 3ra. Edición N.Y. 1977.
- 12.- Introducción a la Investigación de Operaciones. Hillier/Lieberman Edit. Mc. Graw-Hill, 3a. edición México, 1982.
- 13.- Aplicaciones de Computación a la Ingeniería. M.A. Murray Lasso y E. Chicurel Uziel, Ed. Limusa México, 1975.
- 14.- The use of Systems Engineering in Comprehensive Regional Infrastructure Planning. J.M. Mc. Gill, R.L. White and W.O. Maddaus. Aidis Congress, México 1974.
- 15.- Estrategia para el Control de la Contaminación Ambiental den los Puertos Industriales y su zona de influencia.
- 16.- Optimización Dinámica de un Sistema Regional de tratamiento de Aguas Residuales. Stanley L. Klemetson y

William J. Grenney, Journal WPCF, Vol. 57, No. 2, Febrero 1985.

17.- "El Enfoque de Sistemas", Gerez - Grijalva, Limusa Wiley, México 1976.

18.- Apuntes de Programación lineal (Ingeniería de Sistemas). Benito Marin Pínillos, Fac. de Ing., UNAM, México, 1980.

19.- Programación lineal y flujo en Redes. Mokhtar S. Bazaraa, y John J. Jarvis. Edit. Limusa, México 1981.

20.- Ingeniería de Sistemas. Victor Flores Zavala Fac. de Ingeniería, UNAM. México, 1982.

21.- Tesis: "Modulo de Programación para Optimizar la Recolección de Basura en una Delegación Política del D.F.". F.A. Lovera Hidalgo G.A. Mauricio Flores; F. Romero y A. Solis Mexicano. Fac. de Ing. UNAM, México, 1985.

22.- Programación lineal, Saul I. Gass, Ed. C.E.C.SA. 3a. Impresión en Español, México, 1964.

23.- "Una Introducción a la Programación Lineal y la Teoría de los Juegos" S. Vajda, Limusa Wiley, Nueva York 1960.

VI.2. BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Liquid Waste of Industry. Theories, Practices and -- treatment, N.L. Nemerow, Ed. Addison Wesley, New York 1971.
- 2.- "Método de Optimización", F. J. Jauffred, A.M. Bonet y J. J. Acosta, Representaciones y Servicios de Ingeniería A.C., México 1971.
- 3.- "El Enfoque de Sistemas ", Gerez - Grijalva, Limusa - Wiley, México 1976.
- 4.- " Una Introducción a la Programación Lineal y la Teoría de los Juegos " S. Vajda, Limusa Wiley, Nueva York 1960.
- 5.- " Guía Ilustrada para la Programación Lineal "; Saul I. Gass, C. E. C. A., México 1975.
- 6.- " Manual para el Uso del Programa Symplex ". Instituto de Ingeniería, México 1977.
- 7.- Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales. Metcalf y Eddy. Ed. Labor, 1ra. Edición España 1977.

VII. ANEXOS

VII.1 Plano General de la Población de Santiago
Papasquiáro, Dgo. Caso No. 1



ZONA No 2

FRACCIONAMIENTO
LOMA DE LA DUE

ZONA No. 1

TAMBORE DE REGULACION
18x121x121

DESTINO No. 2
(USO DOMESTICO)
DEMANDA Q = 5594.25 m³/d

FUENTE No 2

RIO SANTIAGO PAPAQUIARI

MANANTIAL TARINORO
FUENTE No. 1

PRODUCCION CONSTANTE 02 7346 m³/d
PRODUCCION MAXIMA 02 7800 m³/d
EXPLOTACION ACTUAL 02 1312 m³/d
EXPLOTACION MAXIMA 02 7346 m³/d
EXPLOTACION 2 7346 m³/d

MANANTIAL TARAÑO A 2.400

PLANTA POTABILIZADORA PARA
TRATAR AGUAS DEL RIO SANTIAGO P
PRODUCCION CONSTANTE 02 4041 m³/d
PRODUCCION MAXIMA 02 4998 m³/d
EXPLOTACION ACTUAL 02 0 m³/d
EXPLOTACION MAXIMA 02 4041 m³/d
EXPLOTACION 2 4041 m³/d

PARA EL CONSUMO
PRODUCCION CONSTANTE
PRODUCCION MAXIMA
EXPLOTACION ACTUAL
EXPLOTACION MAXIMA
EXPLOTACION 2 4041 m³/d

DESTINO No. 1

(USO DOMESTICO)
DEMANDA Q = 291.11 m³/d
EXPLOTACION 2 291.11 m³/d



ZONA No. 2

FRACCIONAMIENTO
LEVA DE LA D.L.C.

MOCHEMTO

ESUELA

RIO SANTIAGO
PAPASQUIAR. O

POZO No 1 (EXISTENTE)
 PRODUCCION CONSTANTE DE 3455 m³/d
 PRODUCCION MAXIMA DE 4500 m³/d
 EXPLOTACION ACTUAL DE 0 m³/d
 EXPLOTACION MAXIMA DE 3455 m³/d

POZO No 2 (DE PROYECTO)
 PRODUCCION CONSTANTE DE 3455 m³/d
 PRODUCCION MAXIMA DE 4500 m³/d
 EXPLOTACION ACTUAL DE 0 m³/d
 EXPLOTACION MAXIMA DE 3455 m³/d

EXISTENTE

DESTINO No. 3
(USO INDUSTRIAL)
DEMANDA CC 9764.58 m³/d



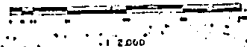
PLANTA
HIDROELECTRICA

PANTEON

PISTA DE
ATEORIZAC.

- TUBERIA DE CONDUCCION QUE SALE DE LA FUENTE No. 1
- - - TUBERIA DE CONDUCCION QUE SALE DE LA FUENTE No. 2
- TUBERIA DE CONDUCCION QUE SALE DE LA FUENTE No. 3

ESCALA GRAFICA



DESTINO No 1
(USO AGRICOL)
 DEMANDA CC 2200 m³/d

USO PARA
 DESTINO No. 2
 DEMANDA CC 2200 m³/d

VII.2 Tablas del Caso No. 2

PARAMETROS	FUNCIONES DE SENSIBILIDAD.
1.- Temperatura	$f(T) = \frac{a^2 - (T - a)^2}{a^2}$ para $0 \leq T \leq 40$
2.- Nutrientes (Nitrógeno, Fósforo)	$f(N) = \exp[-0.05(N - 15P)(Np)]$
2.1- Nitratos	$f(N) = \exp(-0.16N)$
2.2- Fosfatos	$f(P) = \exp(-2.50 P)$
3.- Sólidos Suspendidos	$f(SS) = \exp(-0.02 SS)$
4.- Bacterias Coliformes	$f(C) = \exp(-0.0002 C)$
5.- Oxígeno Disuelto	$f(OD) = 1$ para $OD > 8$, $f(OD) = \exp[0.3(OD - 8)]$ para $OD \leq 8$
6.- Color	$f(\text{Color}) = \exp(-0.002 \text{ Color})$
7.- pH	$f(\text{pH}) = \frac{25 - (\text{pH} - 7)^2}{25}$ para $2 \leq \text{pH} \leq 12$ $f(\text{pH}) = 0$ para $\text{pH} < 2$ ó $\text{pH} > 12$
8.- Grasas	$f(\text{Gr}) = \exp(-0.35 \text{ Gr}_1)$ en micras, $f(\text{Gr}) = \exp(-0.0165 \text{ Gr}_2)$ en mg/lt.

TABLA 3.2.1 Funciones de sensibilidad de los parámetros.

Parámetros	Efluente sin Tratamiento	Efluentes del tratamiento primario	Efluente del tratamiento secundario
Temperatura	21°C	20.5°C	20°C
Nitratos	Como Nitrógeno 20mg/l (4.5)	Como Nitrógeno 15mg/l (3.35)	Como Nitrógeno 10mg/l (2.25)
Sólidos suspendidos	350 mg/l	200 mg/l	25 mg/l
Coliformes totales	$4 \times 10^6 / 100 \text{ ml}$	$9 \times 10^5 / 100 \text{ ml}$	200/100 ml
Oxígeno disuelto	0mg/l	0.5 mg/l	4 mg/l
Color	50 U.C.	40 U. C.	15 U.C.
pH	8.5	7.5	7
Grasas	150 mg/lt	90 mg/lt	10 mg/lt

TABLA 3.2.2 Características de los desechos líquidos municipales según tres niveles de tratamiento.

Parámetros	Valores de las funciones de sensibilidad.		
	Efluente sin tratamiento	Efluente del tratamiento primario	Efluente del tratamiento secundario
Temperatura	0.9975	0.9993	1
Nitratos	0.4859	0.5822	0.6976
Sólidos suspendidos	0.0009	0.0103	0.6065
Coliformes totales	0.0003	0.1653	0.9607
Oxígeno disuelto	0.0900	0.1053	0.3011
Color	0.9048	0.9231	0.9704
pH	0.91	0.99	1.0
Grasas	0.0907	0.2369	0.8521

TABLA 3.2.3 Calificaciones de sensibilidad de las concentraciones de cada uno de los parámetros característicos de un típico efluente municipal de aguas negras, según 3 niveles de tratamiento.

UNDA PARÁMETROS	ABASTECIMIENTO INDUSTRIAL					
	ABASTECIMIENTO AGUA POTABLE - Sujeto a tratamiento posterior)	AGRICOLA (Riego de verduras y otros)	RECREACIONAL (Baños, natación)	DESARROLLO DE VIDA ACUÁTICA (Pesca)	(ALTO) Elaboración de Alimentos.	(BAJO) Refrigeración y Riego de zonas verdes.
Temperatura	20°	25°C	30°C	35°C	30° C	30° C
Nitratos	12 mg/lit.	35 mg/lit.	12 mg/lit.	12 mg/lit.	12 mg/lit.	20 mg/lit.
Sólidos Suspendidos	250 mg/lit.	300 mg/lit.	100 mg/lit.	70 mg/lit.	20 mg/lit.	100 mg/lit.
Coliformes Totales	10,000/100ml	1000/100 ml	500/100 ml	10,000/100 ml	100 /ml	1000 / 100 ml
Oxígeno Disuelto	2 mg/lit.	2 mg/lit.	2 mg/lit.	4 mg/lit.	2 mg/lit.	2 mg/lit.
Color	20 U. C.	20 U.C.	20 U.C.	10 U. C.	20 U.C.	20 U. C.
pH	8.5 min. 8.5 max.	8.5 min.	8.5 min.	8.5 min.	8.0 min.	8.0 min.
Grasas	0	2 mg/lit.	1 mg/lit.	2 mg/lit.	1 mg/lit.	10 mg/lit.

TABLA 3.2.4 Requisitos de calidad máximos tolerables, del agua de los cuerpos receptores de aguas negras, según sus usos.

PARÁMETROS	VALORES DE LAS CALIFICACIONES DE SENSIBILIDAD					
	ABASTECIMIENTO DE AGUAS POTABLES.	AGRICOLA	RECREACIONAL	DE VIDA ACUÁTICA - (PISCICULTA)	ABASTECIMIENTO INDUSTRIAL - ALTO	ABASTECIMIENTO INDUSTRIAL - BAJO.
Temperatura	1	0.9375	0.75	1	0.75	0.75
Nitratos	0.6482	0.2023	0.6482	0.6482	0.6482	0.4054
Sólidos Susp.	0.0067	0.0024	0.1353	0.2466	0.6703	0.2497
Coliformos totales	0.1353	0.8187	0.5048	0.1353	0.5901	0.5187
Oxígeno Disuelto	0.1653	0.1653	0.1653	0.3011	0.2231	0.2231
Color	0.9417	0.9417	0.9607	0.9001	0.9417	0.9417
pH	0.91	0.84	0.91	0.84	0.84	0.64
Grasas	1	0.9688	0.9841	0.9531	0.9841	0.8521

TABLA 3.2.5 Calificaciones de sensibilidad de las concentraciones máximas tolerables de cada uno de los parámetros que definen la calidad de las aguas de los cuerpos receptores de aguas negras, según el uso posterior que tengan.

PARÁMETROS DE LA DESCARGA.	VALORES DEL IMPACTO (FALTA) DE CADA UNO DE LOS PARÁMETROS DE DESCARGA SIN TRATAMIENTO DE C/U DE LOS USOS.					
	USOS DE AGUAS POTABLES	USOS AGRICOLA	RECREACIONAL	DE VIDA ACUÁTICA - (PISCICULTA)	ABASTECIMIENTO INDUSTRIAL (ALTO)	ABASTECIMIENTO INDUSTRIAL (BAJO)
Temperatura	1.000	0.9375	0.7517	1.000	0.751	0.751
Nitratos	1.334	0.5009	1.334	1.334	1.334	0.9908
Sólidos Susp.	7.64	2.666	180.33	274	766.7	55.22
Coliformos Tot.	451	2729	3018	451	3267	2729
Oxígeno Disuelto	1.83	1.834	1.83	3.34	2.478	2.478
Color	1.040	1.040	1.041	1.083	1.040	1.040
pH	1.80	0.923	1.80	0.923	0.923	0.703
Grasas	10.30	10.678	10.85	10.508	10.85	9.394

TABLA 3.2.6 Evaluación del impacto que ocasiona la descarga sin tratamiento del efluente municipal de aguas negras, en las aguas de un cuerpo receptor que tendrán seis posibles usos posteriores.

PARAMETROS DE LA DESCARGA	VALORES DE IMPACTO FS(%) DE CADA UNO DE LOS PARÁMETROS DE LA DESCARGA CON TRATAMIENTO PRIMARIO DE C/U DE LOS USOS.					
	ASOCIACIÓN INDUSTRIAL	AGRICOLA	RECREACIONAL	DESARROLLO DE VIDA ACUÁTICA	ASOCIACIÓN INDUSTRIAL ALTA	ASOCIACIÓN INDUSTRIAL BAJA
Temperatura	1.007	0.9381	0.7505	1.0007	0.7505	0.7505
Nitrosos	1.113	0.4045	1.113	1.113	1.113	0.0337
Sólidos Susp. Total	0.366	0.131	7.39	15.47	36.67	7.715
Coliformes Totales	0.0185	4.95	5.473	0.418	5.928	4.952
Oxígeno Disuelto	1.569	1.57	1.569	2.459	2.118	2.118
Color	1.020	1.020	1.040	1.061	1.020	1.020
pH	0.919	0.848	0.919	0.848	0.848	0.848
Trasno	4.721	4.088	4.154	4.023	4.154	3.596

TABLA 3.2.7 Evaluación del impacto que ocasiona la descarga con tratamiento primario del efluente municipal de aguas negras, en las aguas de un cuerpo receptor que tendrán seis usos posteriores.

PARAMETROS DE LA DESCARGA	VALORES DEL IMPACTO FS(%) DE CADA UNO DE LOS PARÁMETROS DE LA DESCARGA CON TRATAMIENTO SECUNDARIO DE C/U DE LOS USOS.					
	ASOCIACIÓN INDUSTRIAL BAJA	AGRICOLA	RECREACIONAL	DESARROLLO DE VIDA ACUÁTICA	ASOCIACIÓN INDUSTRIAL ALTA	ASOCIACIÓN INDUSTRIAL BAJA
Temperatura	1.0	0.9375	0.75	1	0.75	0.75
Nitrosos	0.929	0.4046	0.929	0.929	0.929	0.0998
Sólidos Susp. Total	0.011	0.0039	0.223	0.406	1.198	0.0039
Coliformes Totales	0.1400	0.0321	0.0410	0.1400	1.029	0.032
Oxígeno Dis.	0.548	0.5489	0.548	1	0.741	0.741
Color	0.970	0.9706	0.90	1.000	0.9706	0.9706
pH	0.91	0.90	0.91	0.90	0.90	0.90
Trasno	1.173	1.196	1.196	1.110	1.154	1

TABLA 3.2.8 Evaluación del impacto que ocasiona la descarga con tratamiento secundario del efluente municipal de aguas negras, en las aguas de un cuerpo receptor que tendrán seis usos posteriores.

VII.3 Descripción General de algunas técnicas de programación matemática

- Programación Lineal
- Teoría de Juegos
- Análisis de Sensibilidad

VII.3. DESCRIPCION GENERAL DE ALGUNAS TECNICAS DE PROGRAMACION MATEMATICA.

Para mayor detalle sobre los siguientes temas, se recomienda consultar las referencias indicadas para cada caso.

Programación Lineal.

Es un medio matemático que permite asignar una cantidad fija de recursos a la satisfacción de una demanda determinada en tal forma que, mientras se optimiza algún objetivo, se satisfacen otras condiciones definidas.

Para poder utilizar la programación lineal es necesario -- que el sistema en cuestión satisfaga ciertas condiciones -- que limitan la aplicabilidad de este método y que son: (18)

- Proporcionalidad.

Implica que el sistema debe ser lineal, por lo que -- cada recurso utilizado será proporcional al nivel de cada actividad tomada individualmente. Con esto que --
remos decir que si lo que deseamos es duplicar el nivel de las actividades bastará con duplicar las cantidades que intervienen para el nivel unitario.

- Aditividad.

La aditividad presupone que la medida total de efectividad y la utilización de recursos resultantes de la operación conjunta de las actividades debe igua--

lar las sumas respectivas de estas cantidades resultantes de la operación individual de las actividades.

- No negatividad.

Mientras que cualquier múltiplo positivo de una actividad es posible, cantidades negativas para una actividad no son posibles. Por ejemplo supongamos el caso de una transportación de cierto producto. Aquí es imposible el transportar cantidades negativas de dicho producto.

- Divisibilidad.

En infinidad de problemas los cuales satisfacen las tres primeras condiciones y son por lo tanto aptos de ser resueltos por programación lineal nos encontramos con que las variables de decisión tienen sentido unicamente cuando toman valores enteros.

Cuando existe la necesidad de obtener las variables en valores enteros existen 2 procedimientos para resolver el problema.

- a) Utilizando programación lineal de enteros. Este método garantiza la obtención del valor óptimo entero buscado, pero cuenta con el inconveniente de que la obtención de valores enteros para nuestra solución es una restricción difícil de manejar matemáticamente.

- b) Utilizando programación lineal normal y redondeando los valores obtenidos a sus valores enteros próximos. Las ventajas de este método son obvias. Las desventajas sin embargo llegan a ser importantes en algunos casos.

A continuación se presenta un modelo general: (12), (19), (20) y (21), función objetivo:

$$\text{Mín } Z = - \text{Máx } C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n$$

Sujeto a:

$$A_{11} X_1 + A_{12} X_2 + \dots + A_{1n} X_n \geq b$$

$$A_{21} X_1 + A_{22} X_2 + \dots + A_{2n} X_n \geq b$$

⋮

$$A_{m1} X_1 + A_{m2} X_2 + \dots + A_{mn} X_n \geq b_m$$

donde:

C_1, C_2, \dots, C_n = coeficiente de costo.

X_1, X_2, \dots, X_n = variables de decisión.

b_1, b_2, \dots, b_m = requerimientos mínimos que deberán satisfacerse.

y $X_1, X_2, \dots, X_n \geq 0$ restricciones de no negatividad.

La representación matricial del modelo es la siguiente:

$$\text{Min } Z = CX$$

Sujeto a:

$$AX \geq b$$

$$X \geq 0$$

Método Simplex.

Este método es un procedimiento algebraico que progresivamente se acerca a la solución óptima a través de un proceso iterativo bien definido, que actúa hasta que la optimización es finalmente alcanzada. Este procedimiento se puede decir que es mecánico y puede hacerse manualmente, sin embargo por lo general se necesita tiempo y paciencia para resolverlo. También es posible programarlo para una computadora digital.

El método simplex se puede representar en forma de tableau, donde el problema de programación lineal se muestra de la siguiente manera: (12), (19) y (22).

$$\text{Min } Z = C_B X_B + C_N X_N$$

Sujeto a:

$$Z - C_B X_B - C_N X_N = 0$$

$$B X_B + N X_N = b$$

$$X_{B1}, X_N \geq 0$$

$$C = \begin{bmatrix} C_{B1} & C_N \end{bmatrix}$$

donde:

C_B = vector de costos básicos,

C_N = vector de costos no básicos.

X_B = matriz de variables básicas.

X_N = matriz de variables no básicas.

En donde:

$$X = \begin{bmatrix} X_B \\ X_N \end{bmatrix}; \quad \left. \begin{array}{l} X_B = B^{-1}b \\ X_N = 0 \end{array} \right\} \text{ Se llama una solución básica del sistema.}$$

Si $X_B \geq 0$, entonces X se llama solución básica factible del sistema.

Aquí B se le llama matriz básica (simplemente la base) y N se le llama matriz no básica. Las componentes de X_B se llaman variables, y las componentes de X_N se llaman variables no básicas. Si $X_B > 0$, entonces X se llama solución básica factible no degenerada y si al menos una componente de X_B es cero, entonces X se llama solución básica factible degenerada.

La representación en forma de tableau queda de la siguiente manera:

	Z	X_B	X_N	LD
Z	1	0	$C_B B^{-1} - C_N$	$C_B B^{-1} b$
X_B	0	I	$B^{-1} N$	$B^{-1} b$

Para iniciar el método simplex es necesario disponer de una solución básica factible inicial. En muchos casos, -- sin embargo, es difícil conseguir tal solución y se requiere de algún trabajo previo antes de iniciar el método simplex.

Para encontrar una solución básica inicial existen 2 métodos; el método de dos fases o etapas y método de penalización o de la gran M.

Ambos usando variables artificiales, para obtener una solución básica factible inicial para un conjunto ligeramente modificado de restricciones. El método simplex se utiliza para eliminar variables artificiales y resolver el problema original.

En el método de las dos fases, en la primera etapa, se reducen las variables artificiales al valor cero, o bien, se concluye que el problema original no tiene soluciones factibles, la segunda fase minimiza la función objetivo original empezando con la solución básica factible obtenida al final de la fase 1. A continuación se describe, de manera general, el método de dos fases. (19)

Fase 1.

Resuélvase el siguiente programa lineal empezando con la solución básica factible $X = 0$ y $X_a = b$.

Min $1 X_a$

Sujeta a:

$$AX + X_a = b$$

$$X, X_a \geq 0$$

Si al alcanzar optimalidad $X_a \neq 0$, entonces el proceso termina; en este caso, el problema original no tiene soluciones factibles. De lo contrario, sean X_B y X_N las variables legítimas básica y no básica, respectivamente. (se supone que todas las variables artificiales salieron de la base. El siguiente paso es la fase II.

Fase II.

Resuélvase el siguiente programa lineal empezando con la solución factible básica $X_B = B^{-1} b$ y $X_N = 0$

$$\text{Min } C_B X_B + C_N X_N$$

Sujeta a:

$$X_B + B^{-1} N X_N = B^{-1} b$$

$$X_B, X_N \geq 0$$

La solución óptima de este problema es la solución óptima del problema original.

Método de la Gran M.

Si no se conoce una base conveniente, se introduce el vector artificial X_a , lo cual conduce al siguiente sistema:

$$Ax + Xa = b$$

$$X, Xa \geq 0$$

La solución básica factible está dada por $Xa = b$ y $X = 0$. Para reflejar la inconveniencia de un vector artificial de cero, la función objetivo se modifica de tal forma que se pague un castigo o pena muy alta cuando se tenga una solución de este tipo. Más específicamente, considérese el siguiente problema.

$$\text{Min } CX + MXa$$

Sujeta a:

$$AX + Xa = b$$

$$X, Xa \geq 0$$

En donde M es una constante positiva muy grande. El término MXa se puede interpretar como una pena (o multa) que debe pagar por cualquier solución con $Xa \neq 0$. Aunque la solución inicial $X = 0, Xa = b$, es factible para las nuevas restricciones, tiene un valor objetivo muy poco atractivo, a saber, Mb . Por lo tanto, el mismo método simplex tratará de sacar a las variables artificiales fuera de la base, y después, continuará hasta encontrar la solución óptima del problema original.

La Teoría de Juegos.

El término "Juego" se refiere a un grupo de reglas y con--

venciones para jugar, y una "Partida" se refiere a una realización posible particular de las reglas, o sea, a una competencia en particular. Supondremos, al final de cada partida del juego "T", cada uno de los jugadores "Pi" recibirá una cantidad de dinero "Vi" llamada "El pago al jugador Pi". Entonces supondremos que, con objeto de lograr el resultado más favorable para sí mismo, el único objetivo de un jugador será maximizar la cantidad de dinero que recibe. En la mayor parte de los juegos de salón, la cantidad total de dinero perdido por los jugadores perdedores es igual a la cantidad total de dinero ganado por los jugadores ganadores (23). Así tenemos:

$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = 0$$

A continuación se tratarán algunos criterios aplicables a juegos para dos adversarios, de suma cero y finitos.

Criterio de Newmann - Dantzig.

La principal preocupación de la teoría de los juegos, es el estudio del siguiente problema, establecido por Von Newman: "Si dos jugadores P_1 y P_2 juegan un juego determinado "T", ¿cómo deberán jugar estos, para obtener los resultados más favorables?".

El criterio de Newmann - Dantzig utiliza los siguientes conceptos y teoremas. La demostración no fué incluida en

el presente trabajo. Esta demostración se puede localizar en la referencia (6).

Definición 1.- Un juego matricial "T" está determinado por cualquier matriz de $m \times n$.

$$A = \begin{array}{|cccc|} \hline a_{11} & a_{12} & \text{-----} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \text{-----} & a_{2n} \\ \text{-----} & & & \\ \hline a_{m1} & a_{m2} & \text{-----} & a_{mn} \\ \hline \end{array}$$

En la cual los elementos A_{ij} son números reales cualesquiera. La matriz "A", recibe el nombre de matriz de pago. El elemento A_{ij} representa la cantidad pagada a P_1 por P_2 , si P_1 selecciona el movimiento asociado con la fila i y P_2 selecciona el movimiento asociado con la columna j .

Definición 2.- Por estrategia mixta de P_1 , queremos indicar un vector renglón $X = (x_1, x_2, x_3, \text{-----}, x_m)$ de números no negativos x_i tales que:

$$x_1 + x_2 + x_3 + \text{-----} + x_m = 1$$

Por estrategia mixta de P_2 , queremos significar un vector columna $Y = (y_1, y_2, y_3, \text{-----}, y_n)$ de números no negativos y_i tales que:

$$y_1 + y_2 + y_3 + \text{-----} + y_n = 1$$

Los elementos " x_i " y " y_i " presentan, respectivamente, las

frecuencias con que P_1 selecciona su movimiento renglón i -ésimo, y P_2 selecciona su movimiento columna j -ésimo.

Definición 3.- La función de pago para P_1 , o sea, la esperanza matemática de P_1 , esta definida por:

$$E(X, Y) = XAY = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_i A_{ij} Y_j$$

Donde: $X = (X_1, X_2, \dots, X_m)$ y $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$ son estrategias mixtas cualesquiera para P_1 y P_2 , respectivamente.

Definición 4.- Una solución a un juego con matriz "T" es un par de estrategias mixtas:

$$\bar{X} = (\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_m)$$

$$\bar{Y} = (\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \dots, \bar{Y}_n)$$

Y un número real "V" tal que:

$E(\bar{X}, j) \geq V$ para las estrategias puras $= 1, 2, \dots, n$

$E(i, \bar{Y}) \geq V$ para las estrategias puras $= 1, 2, \dots, m$

Las \bar{X} y \bar{Y} reciben el nombre de estrategias óptimas, y el número "V" recibe el nombre de valor del juego.

De esta definición vemos, que si P_1 selecciona sus jugadas tal como los determinan las probabilidades de su estrategia óptima, entonces sean las que sean las jugadas que se-

lección P_2 , P_1 puede a la larga estar seguro de ganar --- cuando menos V unidades.

Un enunciado similar resulta verdadero para P_2 ; o sea, P_2 puede esperar perder no más de V unidades. Debemos notar que V puede ser positivo, negativo o cero.

Teorema Fundamental de los Juegos matriciales (A)

" Para cada juego con matriz", existen X y Y tal que

$$\max_X \min_Y E(X,Y) \quad \text{y} \quad \min_Y \max_X E(X,Y)$$

Son iguales, esto es, cada juego matricial tiene una solución.

Equivalencia entre la Teoría de Juegos y la Programación Lineal.

Como la programación lineal, la teoría de juegos puede ser considerada como un desarrollo moderno en el campo de las matemáticas. Para el observador casual, esto podría parecer el único elemento que tiene en común estas dos áreas, pues mientras que en el problema general de programación lineal nos preocupamos con el uso eficiente con la asignación de recursos limitados para alcanzar ciertos objetivos deseados; en la teoría de juegos estamos interesados en desarrollar un patrón estrategia para un juego determinado, que nos permita ganar lo más posible y perder lo menos po-

sible. Esta relación fue establecida por primera vez por Von Newman y Dantzing.

A continuación se presenta la equivalencia entre el modelo de programación lineal y el modelo matemático del juego de suma cero para dos personas.

Supongamos que tenemos un juego de matriz arbitraria:

$$\begin{matrix}
 & \begin{matrix} E_1 & E_2 & \dots & E_n \end{matrix} \\
 \begin{matrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}
 \end{matrix} = A$$

Por las definiciones 3 y 4 anteriores, el problema para -- " F " consiste en encontrar un vector.

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_m)$$

Y un número V tal que:

$$\left. \begin{array}{l}
 a_{11} X_1 + a_{21} X_2 + \dots + a_{m1} X_m \geq V \\
 a_{12} X_1 + a_{22} X_2 + \dots + a_{m2} X_m \geq V \\
 \dots \\
 a_{1n} X_1 + a_{2n} X_2 + \dots + a_{mn} X_m \geq V \\
 X_1 + X_2 + \dots + X_m = 1 \\
 X_1 \geq 0 \\
 X_2 \geq 0 \\
 \dots \\
 X_m \geq 0
 \end{array} \right\}$$

O sea que existe " n " desigualdades, una para cada ejemplo, de la forma:

$$a_{1j} X_1 + a_{2j} X_2 + \dots + a_{mj} X_m \geq V$$

También existen " m " inadecuaciones para cada F_i de la forma:

$$X_i \geq 0$$

Y hay otra ecuación de la forma:

$$\sum_{i=1}^m X_i = 1$$

En forma similar para " E " tenemos:

$$\left. \begin{array}{l} a_{11} Y_1 + a_{12} Y_2 + \dots + a_{1n} Y_n \leq V \\ a_{21} Y_1 + a_{22} Y_2 + \dots + a_{2n} Y_n \leq V \\ \dots \\ a_{m1} Y_1 + a_{m2} Y_2 + \dots + a_{mn} Y_n \leq V \\ Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n = 1 \\ Y_1 \geq 0 \\ Y_2 \geq 0 \\ \dots \\ Y_n \geq 0 \end{array} \right\} \dots B$$

Puesto que cada elemento de A puede ser hecho positivo mediante la suma de una constante apropiada a todas las a_{ij} , podemos suponer que $V > 0$. Dividamos cada una de las relaciones de \mathcal{A} y \mathcal{B} por V.

$$x_i^1 = \frac{x_i}{V} \quad y \quad y_j^1 = \frac{y_j}{V}$$

Por tanto:

$$\sum_i x_i^1 = \frac{1}{V} \sum x_i = \frac{1}{V}$$

$$\sum_j y_j^1 = \frac{1}{V} \sum y_j = \frac{1}{V}$$

Por lo tanto, minimizando $\sum_i x_i^1$, F maximizará el valor del juego, y maximizando $\sum_j y_j^1$, E minimizará el valor del juego.

Entonces las relaciones de \mathcal{L} y \mathcal{B} , pueden expresarse en términos de programación lineal para obtener los siguientes problemas simétricos:

1.- Problema Primario.

Encontrar un vector $x^1 = (x_1^1, x_2^1, \dots, x_m^1)$ tal que cumpla con:

$$\text{Min. } Z = x_1^1 + x_2^1 + \dots + x_m^1$$

Sujeto a:

$$a_{11} x_1^1 + a_{12} x_2^1 + \dots + a_{m1} x_m^1 \geq 1$$

$$a_{21} x_1^1 + a_{22} x_2^1 + \dots + a_{m2} x_m^1 \geq 1$$

$$a_{i1} x_1^1 + a_{i2} x_2^1 + \dots + a_{in} x_m^1 \geq 1$$

$$x_i^1 \geq 0$$

2.- Problema Dual.

Encontrar un vector $Y^1 = (Y_1^1, Y_2^1, \dots, Y_n^1)$ tal que cumpla con:

$$\text{Max } Z = Y_1^1 + Y_2^1 + \dots + Y_n^1$$

Sujeta a:

$$\begin{array}{r} a_{11} Y_1^1 + a_{12} Y_2^1 + \dots + a_{1n} Y_n^1 \leq 1 \\ a_{21} Y_1^1 + a_{22} Y_2^1 + \dots + a_{2n} Y_n^1 \leq 1 \\ \hline a_{m1} Y_1^1 + a_{m2} Y_2^1 + \dots + a_{mn} Y_n^1 \leq 1 \\ Y_j^1 = 0 \end{array}$$

Puesto que cada juego tendrá una solución, existen soluciones óptimas a los problemas anteriores, los cuales son:

$$\text{Min } \sum_i X_i^1 \qquad \text{max } \sum_j Y_j^1 = 1/V$$

El conjunto de X_i^1 y Y_j^1 que satisfacen el problema de programación lineal debe, ser convertida a las X_i y Y_j óptimas que resuelven los problemas del juego.

Análisis de Sensitividad.

En la mayoría de las aplicaciones prácticas, algunos de los datos del problema no se conocen con exactitud y por lo tanto, se tiene que estimar lo mejor posible. En conse

cuencia es importante poder determinar la nueva solución - óptima del problema conforme se dispone de otras estimaciones de algunos datos, sin necesidad de resolver el problema desde el principio. Se busca examinar el efecto de reflejar algunas restricciones sobre el valor del objetivo - óptimo.

Se considerarán las siguientes variaciones en el problema de programación lineal. (19)

Min Cx

S. A.

$$AX = b$$

$$x \geq 0.$$

- Cambio en el vector c de costos.
- Cambio en el vector b del lado derecho.
- Cambio en la matriz A de restricciones.
- Adición de una nueva actividad.
- Adición de una nueva restricción.

1. Cambio en el vector de costos.

Dada una solución factible básica óptima, supóngase que el coeficiente de costos de una (o más) de las variables se cambia de C_k a C'_k . El efecto de este cambio sobre el tableau final ocurrirá en el renglón de costos; es decir, se puede perder la factibilidad dual.

Considérense los 2 casos siguientes:

Caso 1, X_k es no básica.

C_B no es afectado y por tanto $Z_j = C_B B^{-1} a_j$

... $Z_k - C_k$ se sustituye por $Z_k - C'_k$, $Z_k - C_k \leq 0$

Si $Z_k - C'_k = (Z_k - C_k) + (C_k - C'_k)$ es positivo

entonces X_k entra a la base y el método simplex primal se continua como es usual. En caso contrario, la solución anterior sigue siendo óptima con respecto al nuevo problema.

Caso 2, X_k es básica, por ejemplo $X_k \equiv X_{B_t}$, C_{B_t} se reemplaza por C'_{B_t} . Sea Z'_j el nuevo valor de Z_j .

Entonces $Z'_j - C_j$ se calcula como sigue:

$$Z'_j - C_j = C'_B B^{-1} a_j - C_j = (C_B B^{-1} a_j - C_j) + (0, 0, \dots, C'_{B_t} - C_{B_t}, \dots, 0) Y_j$$

$$= (Z_j - C_j) + (C'_{B_t} - C_{B_t}) Y_{tj} \text{ para todo } j.$$

En particular para $j=k$, se tiene que $Z_k - C_k = 0$, y $Y_{tk} = 1$ y por lo tanto, $Z'_k - C'_k = C'_k - C_k$ Como sería de esperarse, $Z'_k - C'_k$ sigue siendo igual a cero. Entonces $Z'_k - C'_k$ se actualiza a $Z'_k - C'_k = 0$.

2. Cambio en el lado derecho.

Si el vector b del lado derecho se reemplaza por --

b' , entonces $B^{-1}b$ será reemplazada por $B^{-1}b'$. El nuevo lado derecho no puede calcular sin evaluar explícitamente $B^{-1}b'$, la única violación posible de la optimalidad es que el nuevo vector $B^{-1}b'$ o la misma base sigue siendo óptima. En caso contrario, se usa el método dual simplex para encontrar la nueva solución óptima mediante la recuperación de la factibilidad.

3. Cambio en la matriz de restricciones.

Hay dos casos posibles, o sea, cambios que incluyen columnas no básicas y cambios que incluyen columnas básicas.

Caso 1: cambio en vectores de actividades para columnas no básicas.

Suponer que la columna no básica a_j se modifica a a'_j . Entonces la nueva columna actualizada es $B^{-1}a'_j$ y $Z'_j - C_j = C_B^1 B^{-1}a'_j - C_j$.

Si $Z'_j - C_j \leq 0$, la solución anterior es óptima; en caso contrario, se continúa con el método simplex después de actualizar la columna j del tableau, introduciendo la variable no básica x_j .

Caso 2: cambios en vectores de actividades para columnas básicas.

La columna básica a_j se modifica a a'_j , calcúlese $Y'_j = B^{-1}a'_j$, B^{-1} es la base inversa actual.

Si $Y'_{jj} = 0$, el conjunto actual de vectores básicos ya no forman una base, en este caso se añade una variable artificial que tome el lugar de X_j en la base. Si $Y'_{jj} \neq 0$, se puede reemplazar la columna j por Y'_j y pivotear sobre Y'_{jj} . No obstante, durante el pivoteo es probable que se haya destruido ambas factibilidades, dual y primal y en tal caso, se debe recurrir a alguna de las técnicas primal o dual de variables artificiales.

4. Adición de una nueva actividad.

Supóngase que una nueva actividad X_{n+1} con costo unitario C_{n+1} y columnas de consumo a_{n+1} es considerada para posible producción. Sin resolver de nuevo el problema, puede determinarse fácilmente si conviene producir X_{n+1}

Primero se calcula $Z_{n+1} - C_{n+1}$. Si $Z_{n+1} - C_{n+1} \leq 0$ entonces $X_{n+1}^* = 0$ y la solución actual es óptima. Por otra

parte, si $Z_{n+1} - C_{n+1} > 0$, entonces X_{n+1} se introduce en la base y se continúa el método simplex para encontrar la nueva solución óptima.

5. Adición de una nueva restricción.

Si la solución óptima del problema original satisface la nueva restricción, entonces el punto es también solución óptima del nuevo problema. Si el punto no satisface la nueva restricción, es decir, si la restricción "elimina" el punto óptimo, entonces puede usarse el método dual simplex para encontrar la nueva solución óptima.