



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

PROPUESTA DE ASIGNACIÓN PRESUPUESTAL Y CALENDARIZACIÓN PARA
PROYECTOS DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD EN CARRETERAS FEDERALES

MODALIDAD DE GRADUACIÓN: TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. ROBERTO TONATIUH ROMERO MARTÍNEZ

TUTOR PRINCIPAL
DRA. PATRICIA BALDERAS CAÑAS
COMITÉ TUTOR

DR. JUAN MANUEL ESTRADA MEDINA
DR. FELIPE LARA ROSANO
DR. GABRIEL DE LAS NIEVES SÁNCHEZ GUERRERO
DR. JOSÉ JESÚS ACOSTA FLORES

MÉXICO, D. F. MARZO DE 2015

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Lara Rosano Felipe de Jesús

Secretario: Dr. Sánchez Guerrero Gabriel D.

Vocal: Dra. Balderas Cañas Patricia

1^{er.} Suplente: Dr. Acosta Flores José Jesús

2^{d o.} Suplente: Dr. Estrada Medina Juan Manuel

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Posgrado Facultad de Ingeniería, UNAM

TUTOR DE TESIS:

Dra. Balderas Cañas Patricia

FIRMA

Contenido

Resumen	4
Introducción	5
Objetivos	7
Hipótesis de trabajo	8
1. Entidad en estudio	9
1.1. Descripción de la entidad en estudio	10
1.2. Estructuración de la problemática.....	14
1.3. Planteamiento del problema	18
1.4. Preguntas primarias y secundarias	19
2. Nociones fundamentales de los modelos a utilizar	20
2.1. Conjuntos difusos (Borrosos)	21
2.2. Series de tiempo	25
2.3. Redes enfocadas a la asignación	29
2.4. Programación matemática lineal	35
2.5. Teoría de inventarios por multiescalón	44
3. Estrategia de investigación	48
3.1. Alcance de la investigación	49
3.2. Aportación	50
3.3. Enfoque metodológico de la investigación	51
4. Propuesta.....	61
4.1. Modelación de la problemática (construcción modelo)	62
4.2. Uso del modelo para generar datos (obtener datos de modelo).....	71
4.3. Validación del modelo	85
Conclusiones	87
Referencias Bibliográficas	88
Anexos	89

RESUMEN

Como consecuencia del desempeño laboral del autor, en la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), se tuvo oportunidad de identificar varios tópicos de interés que fueron clave en la elaboración de la presente investigación. El estudio aborda la problemática del reparto sistémico óptimo de recursos disponibles para las treinta y un Entidades Federativas de la República Mexicana (EFRM), se pronostican recursos para años subsecuentes partiendo de datos históricos y se propone como aplicar la teoría de inventarios en la calendarización del monto asignado para las EFRM. La entidad a cargo de las actividades mencionadas es la Dirección de Coordinación y Evaluación de la SCT ubicada en la ciudad de México.

Los proyectos que realiza la Dirección de Coordinación en conjunto con las EFRM y que son de interés para el presente proyecto son en materia de Verificación de la Calidad para las carreteras federales con las que cuenta la República Mexicana. Para la realización de los mismos se emplean cuadrillas de exploración en sitio, maquinaria requerida para los trabajos y laboratorios equipados para analizar las vías terrestres.

La presente investigación contempla la utilización de algunas herramientas de la Investigación de Operaciones, tales como: análisis estadísticos, pronósticos empleando series de tiempo, modelación de inventarios y optimización. Las cuales permiten determinar la información necesaria para la realización del reparto de recursos, que minimice los ajustes presupuestales que afectan el desarrollo de los proyectos en tiempo y forma. Se determina una calendarización óptima la cual permite una programación periódica de los recursos y finalmente se obtiene los posibles recursos con los que contará la Dirección de Coordinación para la ejecución de los proyectos.

Se realizó una revisión de la literatura pertinente, para implementar las herramientas antes mencionadas. Se elabora una metodología para identificar y analizar dicha problemática. La validación del modelo y resultados se realizó consultando a los expertos tomadores de decisiones (stakeholders) y con ello se concluye si los resultados son pertinentes para la implementación en los proyectos.

Los resultados del estudio consisten en un plan de asignación de recursos que minimiza las adecuaciones presupuestales que se presentan en la dirección de coordinación y evaluación de la dirección general de servicios técnicos de la SCT, así como una calendarización óptima de los recursos ya asignados a las 31 EFRM y se ejemplifica como pronosticar los recursos subsecuentes con los que contará la dirección de coordinación, lo cual permitirá la proyección de trabajos futuros. De esta forma se implementa en dicha entidad una planeación sistémica óptima que servirá para la ejecución en sus diversos proyectos.

INTRODUCCIÓN

Los grandes avances de la infraestructura mexicana se han logrado gracias a la mezcla de técnicas eficaces, así como una excelente logística y planeación de las actividades necesarias en un proyecto. No es fácil lograr construir el inmenso número de tramos carreteros con los que cuenta México, ni tampoco cumplir con el mantenimiento correctivo o preventivo necesario, para ello se requiere una impecable administración de los recursos tanto materiales, como instrumentales, humanos y monetarios.

Una de las entidades empeñadas en el cuidado y protección de nuestras vías de comunicación es la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), la cual cuenta con una Dirección General de Servicios Técnicos (DGST), así como Entidades Federativas de la República Mexicana (EFRM). En conjunto hacen uso de los recursos federales que la Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP) les asigna para la Verificación de la Calidad (VC) de los estudios y proyectos en la creación y mantenimiento en materia carretera.

La DGST cuenta con la Dirección de Coordinación y Evaluación de Obras, la cual se encarga de la administración y ministración de los recursos que la SHCP otorga a la entidad para repartirlos en las diferentes EFRM, de tal forma que cada una de las entidades cuente con el dinero suficiente para ejecutar los trabajos de mantenimiento y construcción de obras carreteras.

Haciendo notar que el autor intervino en la elaboración de trabajos de la Dirección General de Servicios Técnicos, se hizo evidente que existía una problemática con los recursos que se distribuían a las EFRM, puesto que normalmente no eran los apropiados para poder concluir adecuadamente con sus proyectos, por ello se recurría a diferentes ajustes de presupuesto. Derivando en interrupciones en la obra, inversiones importantes en tiempo del personal para la reasignación y enojo por parte de las EFRM.

Abordando la situación presentada, se tomaron datos relacionados con las actividades de la DGST y surgió el presente estudio que busca mejorar la situación actual, obteniendo una administración óptima que se obtendrá a partir de las herramientas que la Investigación de Operaciones ofrece para dicho fin.

En el capítulo primero de la investigación se describió de forma detallada la DGST, se dio a conocer sus diferentes áreas de estudio enfocándose en la que se generó la problemática, se mostró la metodología que rige su desempeño laboral, se señaló la ubicación física de la dirección, se señaló la estructura organizacional de las diferentes EFRM y se estructuró la problemática que surge en dicha institución para abordarla.

El segundo capítulo aporta las nociones teóricas que se requieren dentro de la tesis de forma muy general, siendo estas las mínimas necesarias para abordar la temática y hacer uso de las herramientas de la Investigación de Operaciones requeridas. Las herramientas que se describen en éste capítulo son: análisis estadísticos, pronósticos empleando series de tiempo, teoría de redes, teoría de inventarios, modelación matemática y optimización. Las cuales permiten

determinar la información necesaria para la realización del reparto de recursos, que minimice los ajustes presupuestales que afectan el desarrollo de los proyectos en tiempo y forma. Se determina una calendarización óptima la cual permite una programación periódica de los recursos y finalmente se pronostican los recursos con los que contará la Dirección de Coordinación para la ejecución de los proyectos.

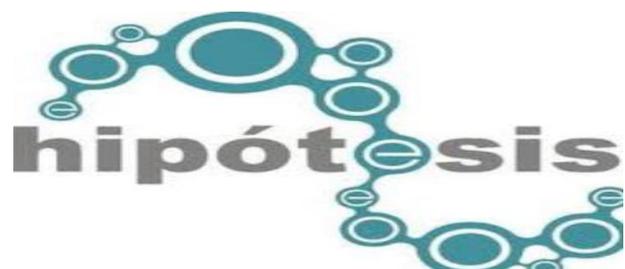
En el tercer capítulo se plantea el tipo de investigación que se realizó, se describe la metodología de investigación que permitió abordar la problemática presente, ésta fue el hilo conductor de la tesis. Se presentan las aportaciones que se obtuvieron al culminar la investigación, finalmente se describe el enfoque metodológico al cual pertenece la investigación de acuerdo al libro de (Hernández Sampeiri, 2010).

El cuarto capítulo hace uso de las herramientas descritas en el capítulo dos, para la creación de modelos matemáticos para elaborar una propuesta que responda a la problemática planteada. Se emplea también, Excel, maple, etc, para generar resultados de los modelos mencionados, los cuales se presentan en forma resumida. Los datos en extenso se incluyen en los anexos correspondientes. Se desarrolla la validación de los modelos mediante la consulta a expertos.

Por último, se elaboran las conclusiones de la investigación en donde se describe si los objetivos planteados fueron cumplidos, así como las aportaciones que la investigación generó.

OBJETIVOS

- Elaborar una propuesta de asignación presupuestal para distribuir de forma óptima los recursos que la Secretaría de Hacienda y Crédito Público concede a la Dirección General de Servicios Técnicos, para los proyectos de verificación de calidad de las carreteras federales, a través de las 31 entidades federativas.
- Calendarizar los recursos asignados en un plan anual que permita contar en tiempo y forma con los recursos requeridos por las entidades federativas, evitando retrasar los proyectos de verificación de calidad.
- Minimizar las adecuaciones presupuestales que se presentan en la Dirección General de Servicios Técnicos, las cuales no permiten cumplir en tiempo y forma con los proyectos de verificación de calidad en las carreteras federales.
- Pronosticar los recursos que requiere cada unidad regional en un periodo mensual para los trabajos de verificación de calidad, empleando los modelos de series de tiempo.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

Tomando en cuenta lo descrito en la problemática que se suscita actualmente en la entidad gubernamental de servicios técnicos perteneciente a la SCT, es necesario considerar la siguiente hipótesis, con ello poder dar inicio a los estudios pertinentes y análisis necesarios para elaborar una propuesta óptima de inversión y de esta manera cumplir los objetivos planeados.

Se usa un modelo Matemático de optimización para proponer una mejor distribución de recursos de la Coordinación, en el ejercicio presupuestal de las entidades federativas para sus proyectos

ENTIDAD EN ESTUDIO

CAPÍTULO I



1.1 DESCRIPCIÓN DE LA ENTIDAD EN ESTUDIO



La SCT es una entidad gubernamental, la cual tiene la misión de un desarrollo estratégico y armónico de los puertos y litorales mexicanos, mediante la instrumentación de políticas y programas para la atención eficiente de las necesidades de transferencia de bienes y transbordo de personas entre los modos de transporte que enlaza. Para darle lugar a esto requiere un equipo de personas capacitadas en materia de ingeniería, que permita el desarrollo tecnológico, logístico y técnico. Es por ello que surge una creciente necesidad de innovación en sus técnicas utilizadas actualmente, tanto en trabajos de campo como su administración integral para el desarrollo de sus actividades.

Una entidad gubernamental que pertenece a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, lleva por nombre Dirección General de Servicios Técnicos, la cual fue creada en el año 1972 por un conjunto de ingenieros, con la finalidad de brindar apoyo técnico integral y multidisciplinario para la planeación, estudio, diseño, proyecto, construcción, conservación y operación de la red nacional de carreteras, mediante la más avanzada tecnología disponible. La ubicación de la Dirección General de Servicios Técnicos, que es la encargada de controlar todas las actividades de las Unidades Generales es en: Avenida Coyoacán No. 1895, Colonia Acacias, Delegación Benito Juárez, C. P. 03240, México, D. F., como se muestra en la *Figura 1.2.1*.

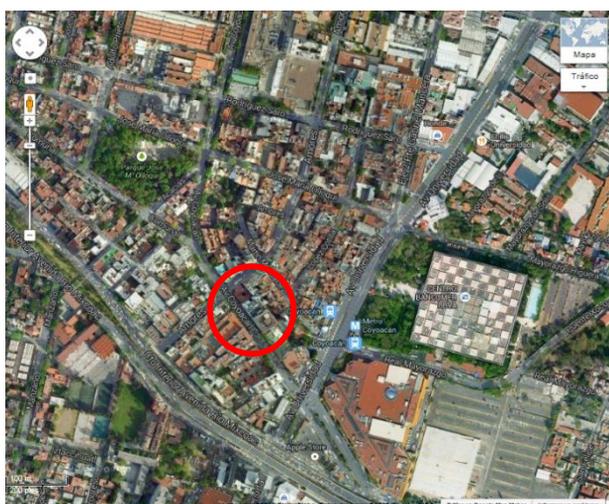


Figura 1.1.1 Ubicación de Centro SCT, D. F.

La Dirección General de Servicios Técnicos actualmente cuenta con la estructura organizacional que se muestra en la *Figura 1.1.2*:

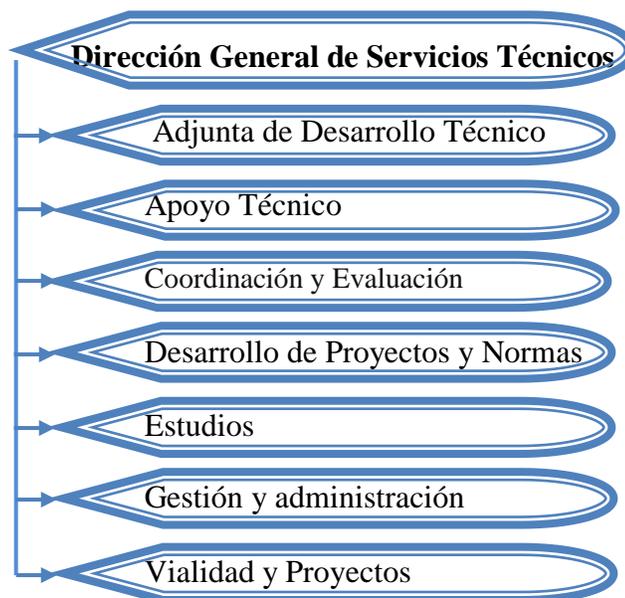


Figura 1.1.2 Organigrama de servicios técnicos

Y dentro de esta estructura, nos enfocaremos a la Dirección de Coordinación y Evaluación, la cual se encarga de la elaboración de los estudios y administración necesarios para el seguimiento de las licitaciones de los programas de verificación de calidad y proyectos para conservación periódica. En la *Figura 1.1.3*, se muestra un concentrado de las actividades realizadas por la dirección de Coordinación y Evaluación. Para cumplir con los trabajos mencionados se utilizan herramientas como el diseño y elaboración de hojas de cálculo, la revisión de las carátulas de la contratación de los servicios relacionados con la verificación de calidad, la atención a los puntos de conflicto y dictámenes técnicos para conservación periódica, el seguimiento a los contratos de servicios relacionados con la obra pública, adjudicados por las Unidades Generales de Servicios Técnicos de los Centros SCT, a través de tablas resumen, en las cuales se lleva a cabo un registro mensual del ejercicio de los recursos de inversión asignados a cada una de las Unidades Generales, la evaluación del desempeño de las diferentes Unidades Generales de Servicios Técnicos referente a las fechas de contratación de verificación de calidad y estudios y proyectos para conservación, la elaboración de gráficos del desempeño conforme a la contratación de servicios relacionados con la obra pública y al ejercicio de los recursos de inversión en cada una de las diferentes Unidades Generales de Servicios Técnicos, el apoyo en la planeación de los recursos de inversión asignados a las Unidades Foráneas de Servicios Técnicos para llevar a cabo sus programas de trabajo, así como para realizar las afectaciones o transferencia de recursos. Para la investigación se abordará únicamente el programa de verificación de calidad para las carreteras federales.

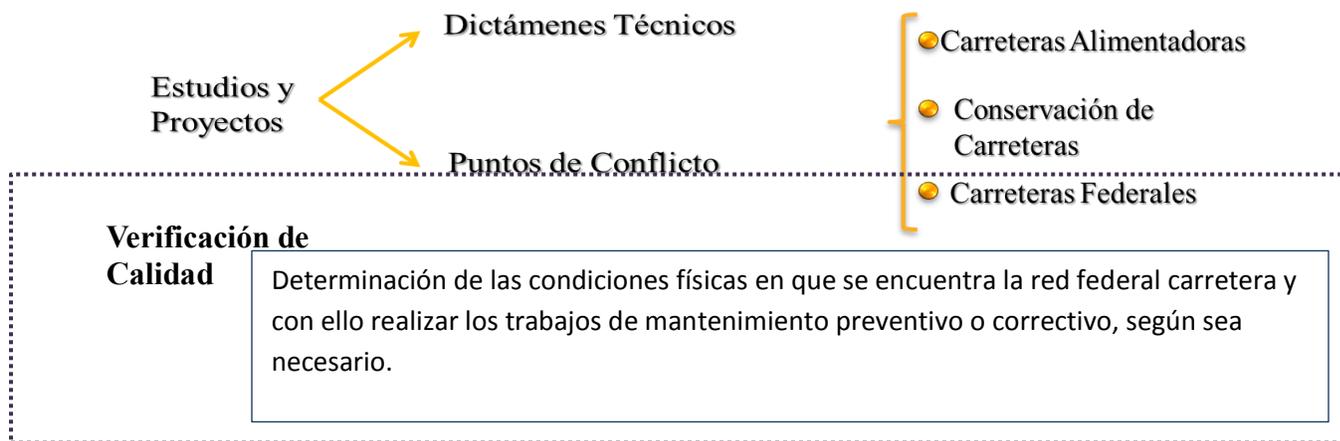


Figura 1.1.3 Verificación, Estudios y Proyectos.

Una de las actividades que debe realizar esta dirección y que es de interés para la presente investigación, es el reparto de dinero para los proyectos de verificación de la calidad, lo cuales incluyen la auscultación de la red carretera federal en cuanto a la determinación de las condiciones físicas que se encuentra y con ello realizar los trabajos de mantenimiento preventivo o correctivo, según sea necesario. El reparto se realiza para las Unidades Generales de Servicios Técnicos, las cuales son treinta y uno, y se encuentran distribuidas una por cada entidad federativa. Estas se encargan de contratar los servicios de instancias no gubernamentales, que cuenten con el equipo y laboratorios necesarios para la realización de los trabajos de verificación de calidad. Además de repartir a las cinco unidades regionales y la misma dirección general como se muestra en la *Figura 1.1.4*, sin embargo nos enfocaremos únicamente en las treinta y un entidades federativas.

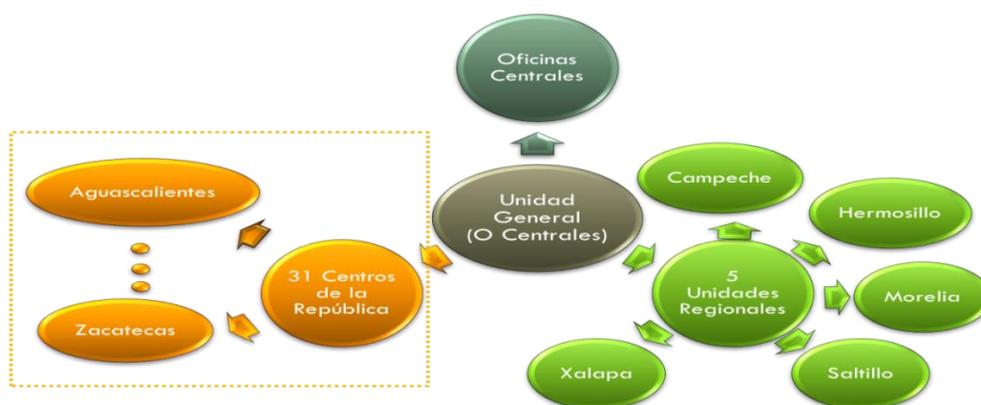


Figura 1.1.4 Reparto de recursos de la Unidad General a Oficinas Centrales, Unidades Regionales y Centros SCT

A cada una de las Unidades Generales se les proporciona presupuesto, con el cual se encargan de contratar a las empresas que se dedicarán a la realización del trabajo de verificación de calidad. La contratación se realiza en una de las tres modalidades indicadas en la *Figura 1.1.5*, que son: Licitación pública, Invitación a cuando menos tres personas o Adjudicación directa. Para determinar la empresa ganadora del concurso de licitación, se introducen los datos correspondientes de las participantes a un sistema computacional que lleva por nombre SAOP, éste sistema busca el menor costo de los propuestos por las empresas que no sea inconsistente y selecciona como ganadora a esa empresa. Con ello y de acuerdo a las metas fijadas para el año en curso se envía un presupuesto posible para el proyecto, sin embargo al transcurrir el tiempo, las Unidades Generales se percatan de la falta y sobrante de recursos, por lo que se solicita un ajuste presupuestal, lo cual requiere tiempo para ser aprobado y se generan conflictos con las empresas contratadas. Desafortunadamente no es el único ajuste que se realiza, pues en el transcurso del año llegan a ser más de tres ajustes presupuestales.

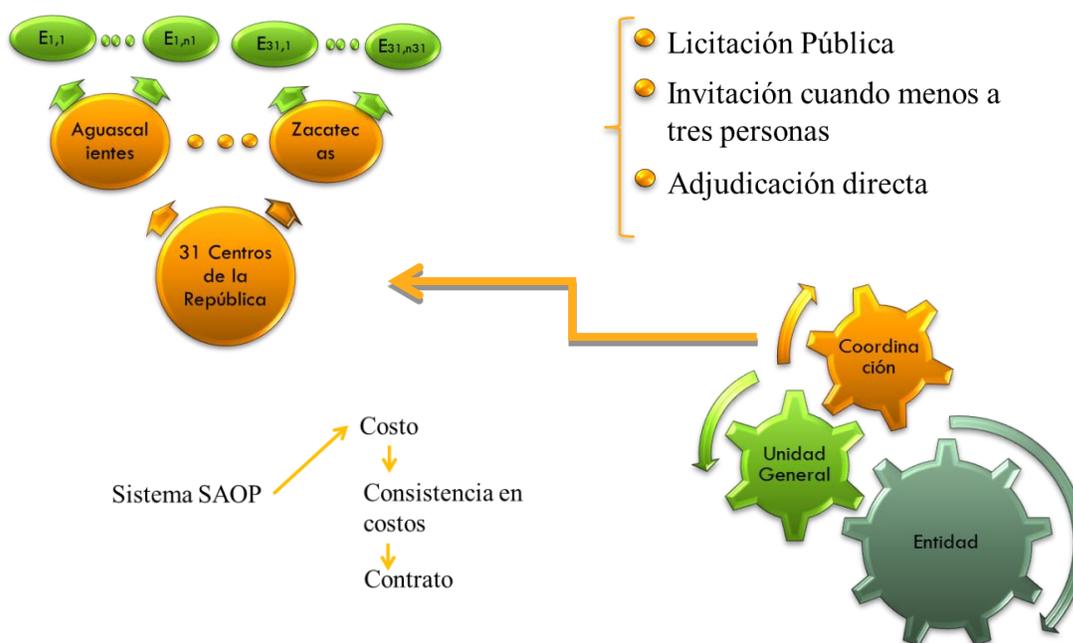


Figura 1.1.5 contratación de empresas para verificación de calidad

1.2 ESTRUCTURACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA



Para estructurar la problemática de forma lógica, se plantearon las posibles variables principales y secundarias presentes dentro de la situación en estudio. Después se elaboró un mapa mental, *Figura 1.2.1*, el cual ayudó a determinar las posibles relaciones entre las variables obtenidas, así como si una de éstas está contenida en otra y por lo tanto es por demás considerarla.

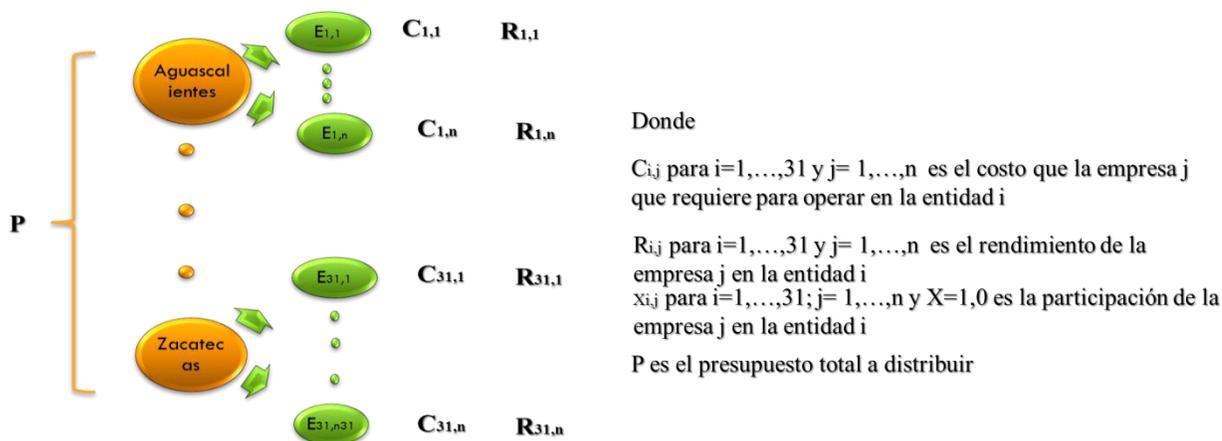


Figura 1.2.1 Determinación de variables

La problemática en esencia consistió en determinar el reparto óptimo, con el cual se minimizara los ajustes presupuestales debidos al faltante o excedente de presupuesto asignado al principio del año fiscal y de la misma forma optimizar el plazo de la inversión en proyecto y la calidad en los ejercicios presupuestales. Por lo cual las variables principales estarán definidas por la toma de decisión de inversión en las empresas contratadas por las Entidades Federativas de la República Mexicana (EFRM), como se muestra en la *Figura 1.2.2*.

Las variables secundarias consistieron en los efectos naturales sobre la red federal carretera, pues de ellos depende si es necesario incrementar los trabajos de verificación de calidad para más tramos carreteros y en consecuencia aumentar el monto que se debe asignar a la entidad correspondiente. Otra variable secundaria fue el número total de kilómetros que tiene cada una de las unidades y que va en relación directa a la extensión territorial que estudia cada una de las unidades. La siguiente variable secundaria es la importancia turística de la entidad federativa, ya que entre más importante sea, mayor será el flujo vehicular que circula por esas carreteras, lo cual

llevará al aumento del deterioro de ese camino y será necesario los trabajos de Verificación de calidad para esos tramos. Otra variable secundaria, fue la capacidad de las empresas contratadas para la ejecución de los trabajos asignados, así como la cantidad de empresas que se contratan por cada Unidad General, puesto que a mayor número de empresas mayor capacidad de ejecución de trabajos, pero como efecto adverso se tendría que el incremento de empresas aumenta el presupuesto requerido.



Figura 1.2.2 Entidades Federativas de la República Mexicana

Las restricciones surgieron de acuerdo a la capacidad de contratación, así como la extensión de los segmentos de la red con los que cuenta la entidad en estudio y su importancia de acuerdo a la cantidad de turismo que presenta en las mismas.

Cada una de las empresas se encarga de ejecutar los proyectos de verificación de calidad correspondientes a la EFRM que se le asignó, así que están obligados a presentar informes en diferentes periodos de tiempo, con los cuales se reporta los ejercicios presupuestales correspondientes a un mes de proyecto y las deficiencias detectadas dentro de la red federal carretera que se contabiliza en una semana de trabajo de campo, además de dotar de información anual de la situación de las empresas que contrató cada EFRM, los reportes generados en la verificación de calidad se muestran en la *Figura 1.2.3*.



Figura 1.2.3 Datos generados con la verificación de calidad

En la *figura 1.2.4* se presenta uno de los formatos que envían las Unidades Generales como reporte mensual, en él se muestra la situación presupuestal del ejercicio de los recursos asignados a cada una de las empresas, así como el avance físico del proyecto que se está desarrollando. En la coordinación de oficinas centrales de la ciudad de México se cuenta con esta información desde el año 2007, año en que se inició el programa de verificación de calidad.

Aplicación de recursos de inversión asignados para la contratación de la Verificación de Calidad
Cantidades en pesos

UGST: Aguascalientes

Asignación original: 2,862,820.80

Asignación modificada: 3,248,510.80

Tipo de modificación: Ampliación

Actualizado a: 31 de julio de 2013

No	Número de Contrato	Monto Adjudicado	Nombre de la Empresa Verificadora	Fecha de Contrato	Importe Pagado	Importe en Trámite de Pago	Importe por Ejercer	Porcentaje de Avance Físico	Adefas
1	2-A-CHA-572-Y-0-2	97,820.00	SISTEMAS Y CONTROL EN OBRAS SA DE CV	20-abr-12	96,314.80		1,505.20	100.00%	96,314.80
2	3-A-CHA-543-Y-0-3	575,130.90	SISTEMAS Y CONTROL EN OBRAS SA DE CV	03-jun-13	78,674.33	99,126.76	397,329.81	31.00%	
3	3-A-CHA-549-Y-0-3	291,612.40	CORPORATIVO CONSTRUYE SA DE CV	26-jun-13		29,684.40	261,928.00	10.00%	
4	3-A-CHA-548-Y-0-3	368,182.84	INGENIERIA INTEGRAL Y CONTROL DE CALIDAD SA DE CV	26-jun-13			368,182.84	5.00%	
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Total		1,332,746.14			174,989.13	128,811.16	1,028,945.85	36.50%	96,314.80

Saldo pendiente de contratar: 1,915,764.66

Figura 1.2.4 Reporte de ejercicio presupuestal

El formato que se genera de la contratación de las empresas, se realiza en un sistema computacional por medio de internet, al cual no fue posible tener acceso, sin embargo no es de preocupación ya que su contenido no es relevante para el estudio que se pretende con esta investigación. La información que requerimos al respecto de las empresas contratadas, nos la proporciona el formato de la *figura 1.2.4*.

Las deficiencias detectadas se presentan en la *figura 1.2.5*, ésta información es el resumen de las fallas que los expertos encuentran al realizar una exploración de campo, en donde se estudia cada una de las capas que conforman la carpeta asfáltica. Dicha información no es relevante considerarla en el estudio, ya que las empresas son las que se encargaron de notificar de acuerdo a éste estudio los recursos que requieren.

No.	Deficiencia	Capa de pavimento ,producto, elemento estructural o material	Número de deficiencias no solventadas	Total
1	Grado de Compactación	Terracerías	1	5
		Subrasante	1	
		Sub-base	1	
		Base	1	
		Carpeta	1	
2	Composición granulométrica	Sub-base	1	3
		Base	1	
		Carpeta	1	
3	Espesor de capa	Subrasante	1	4
		Sub-base	1	
		Base	1	
		Carpeta	1	
4	Límites de plasticidad (LL y LP)	Terracerías	1	4
		Subrasante	1	
		Sub-base	1	
		Base	1	
5	Equivalente de arena (EA))	Sub-base	1	3
		Base	1	
		Carpeta	1	
6	CBR de la capa	Terracerías	1	4
		Subrasante	1	
		Sub-base	1	
		Base	1	
7	productos asfálticos	Emulsión	1	2
		Cemento asfáltico	1	
8	Riegos	Liga	1	2
		Sello	1	
9	Mezcla asfáltica	Base estabilizada	1	2
		Carpeta	1	
10	Resistencia del concreto hidráulico	Por elemento estructural	1	1
11	Procedimientos constructivos	Carpeta	1	1
12	Otros	Áceros	1	2
		Pintura	1	
				33

Figura 1.2.5 Reporte de deficiencias detectadas

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Tomando en cuenta el análisis que permite estructurar el problema revisado en el punto anterior, se plantea el problema detectado en la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST), como sigue:

¿Qué herramientas y metodología debería seguir la Coordinación de Oficinas Centrales en la ciudad de México, para mejorar la administración de los recursos disponibles los cuales se distribuyen en cada entidad federativa, garantizando que cada unidad tenga el presupuesto adecuado para elaborar sus proyectos y sea ejercido de manera adecuada?



1.4 PREGUNTAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS



En las secciones anteriores se describió la situación en la cual se encuentra la Dirección de Coordinación y Evaluación, se expuso el tipo de trabajo que realiza y las técnicas a las que recurre para las actividades de las cuales se encarga. También se describió que las técnicas que utilizan las UGST para el reparto de recursos no son las más adecuadas, puesto que se generan una serie de afectaciones con las que se pretende cubrir las necesidades que van surgiendo durante el proyecto y nuevos proyectos. Las afectaciones presentan problemas cuando el presupuesto con el que cuenta la Dirección de Coordinación y Evaluación se termina, dejando varios proyectos detenidos y una clara inconformidad de parte de las Unidades Generales que no obtienen los recursos adecuados.

Con base en lo anterior se formula las siguientes preguntas, hilo conductor de la investigación para elaborar una propuesta de asignación.

Pregunta primaria o principal

¿Cómo minimizar los ajustes presupuestales para mejorar la asignación de recursos disponibles en la Coordinación de Oficinas Centrales en México, a las entidades federativas?

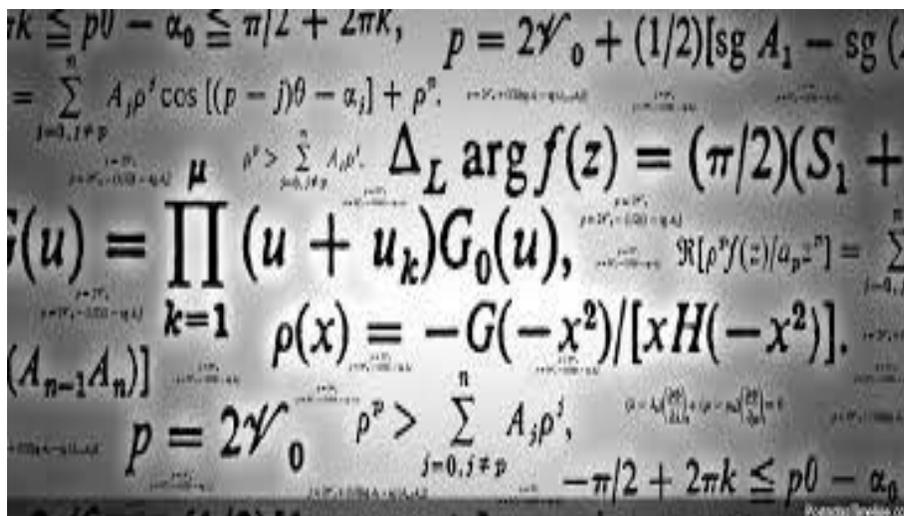


Preguntas secundarias o auxiliares

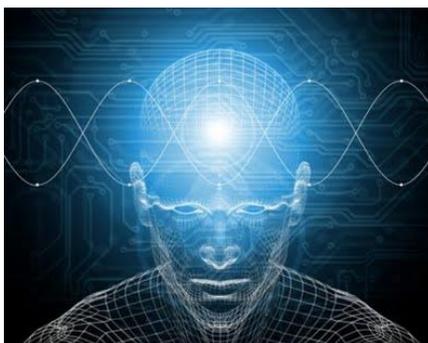
- ¿Qué modelo matemático será el más adecuado para optimizar la distribución de recursos?
- ¿Qué decisiones se deberán tomar para minimizar las adecuaciones presupuestales?

NOCIONES FUNDAMENTALES

CAPÍTULO II



2.1 CONJUNTOS DIFUSOS (BORROSOS)



En un *conjunto* o agrupación de objetos, que pueden ser: números, personas, animales, letras, figuras, etc. se les denomina *elementos del conjunto* a los objetos que pertenecen al conjunto, existen elementos que no pertenecen al conjunto y a la agrupación de todos los existentes se le conoce como *universo*. El conjunto que describimos entonces será un *subconjunto* del universo, siendo el *subconjunto* una selección de elementos de un conjunto, la *cardinalidad* es el número de elementos del conjunto.

Dentro de la lógica difusa, un elemento puede pertenecer a un conjunto de forma parcial. Es decir $x \in \tilde{A}$ con un grado medible de verdad. Se mide la propiedad de pertenecer (o pertenencia), empleando un número $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$, donde 0 indica que el elemento x no pertenece al conjunto borroso \tilde{A} , al incrementar el valor de la pertenencia también aumenta la posibilidad de que el número pertenezca al conjunto. Hasta llegar al valor extremo 1 donde se está completamente seguro que el elemento $x \in A$.

Un subconjunto borroso \tilde{A} de B se caracteriza de una forma similar a los elementos, por lo que se debe definir un grado de pertenencia μ_A , de B en $[0,1]$. Por lo que es necesario fijar el conjunto B , para definir μ_A y con ello \tilde{A} . Por tanto el conjunto difuso será en si un subconjunto de B .

La notación para los conjuntos difusos será mediante el conjunto de pares ordenados, el primero elemento del par será el elemento del conjunto y el segundo determinará el grado de pertenencia, tal como se muestra en la *Expresión 2.1.1*.

$$\tilde{A} = \{(x_1, \mu_A(x_1)), (x_2, \mu_A(x_2)), \dots, (x_n, \mu_A(x_n))\} \dots \dots \dots \text{Expresión 2.1.1}$$

Un conjunto difuso \tilde{A} se representa de forma gráfica. Sobre el eje de las abscisas se encontrarán los elementos del conjunto y sobre el de las ordenadas el grado de pertenencia. Asociado a un conjunto difuso se tiene una función soporte $S(\tilde{A})$, que es, un conjunto borroso que contiene los elementos del conjunto difuso \tilde{A} , pero su grado de pertenencia será el complemento a 1. Visto en forma gráfica se muestra en la *Figura 2.1.1*.

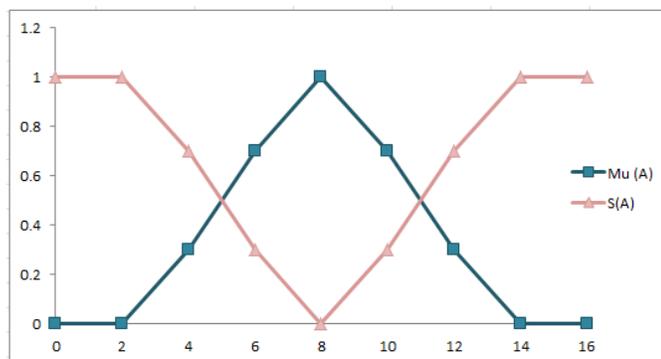


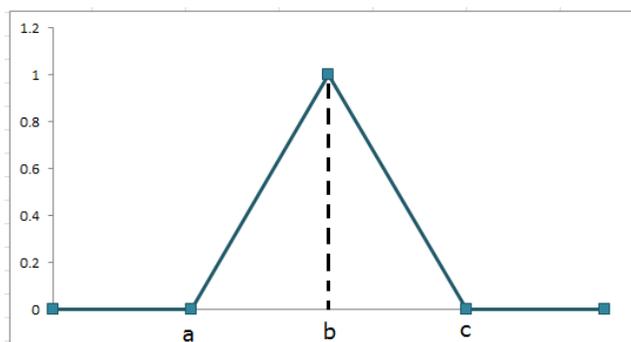
Figura 2.1.1, Gráfico de conjunto difuso y su función de soporte $S(A)$

Los conjuntos borrosos son similares en apariencia a las funciones probabilísticas, pero no deben ser confundidos, ya que los conjuntos borrosos darán información sobre la caracterización de los datos, mientras que la probabilidad da la posibilidad de ocurrencia de los elementos estudiados.

Un conjunto difuso puede ser discreto (los elementos son numerables), o continuo. Para el caso de los continuos, es necesario considerar los siguientes aspectos.

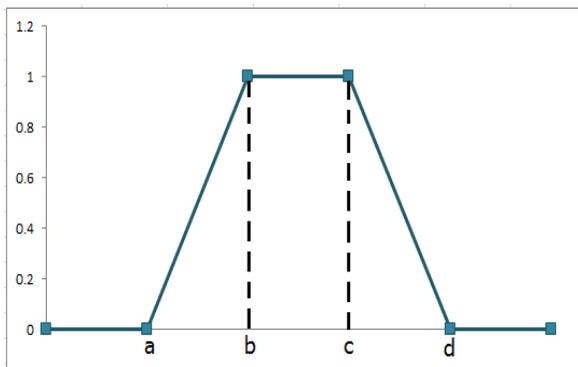
- 1.- Un conjunto difuso presenta un cambio de pertenencia a no pertenencia de forma gradual.
- 2.- Un conjunto difuso puede pasar de no pertenencia a pertenencia y nuevamente a no pertenencia, pero una vez que el valor decrece no puede tener nuevamente valores mayores.
- 3.- Al menos un elemento del conjunto borroso tendrá el valor máximo de 1.
- 4.- El conjunto difuso debe estar definido en todo el universo.

Algunos conjuntos difusos, se muestran a continuación en las figuras 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4, 2.1.5:



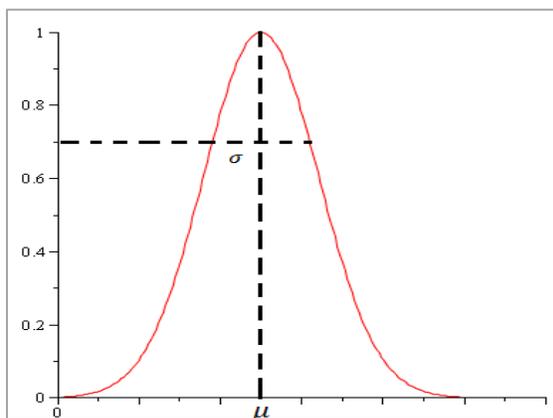
$$\mu_A(x) = \left\{ \begin{array}{ll} 0; & 0 \leq x < a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x < b \\ \frac{x-c}{b-c}; & b \leq x < c \\ 0; & x \geq c \end{array} \right\}$$

Figura 2.1.2, Función Triangular



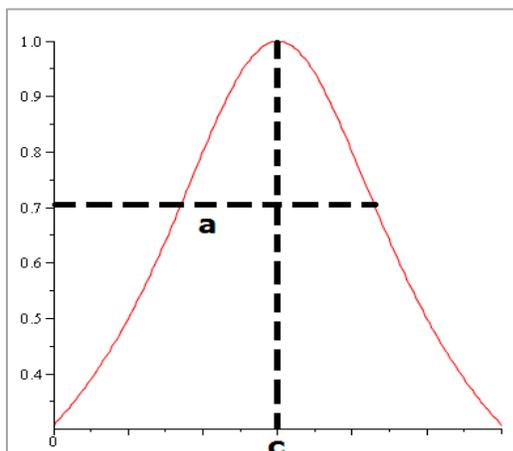
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0; & 0 \leq x < a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x < b \\ 1; & b \leq x < c \\ \frac{x-d}{c-d}; & c \leq x < d \\ 0; & x \geq d \end{cases}$$

Figura 2.1.3, Función Trapezoidal



$$\mu_A(x) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Figura 2.1.4, Función Gaussiana

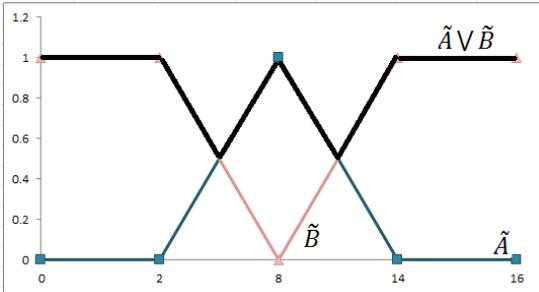


$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}}; \text{ con } b > 0$$

Figura 2.1.5, Función Campana

En los conjuntos nítidos, se cuenta con operaciones entre conjuntos borrosos lo cuales son: la unión ($\tilde{A} \vee \tilde{B}$), la intersección ($\tilde{A} \wedge \tilde{B}$) y el complemento ($1 - \tilde{A}$). A continuación se presentan las fórmulas que permiten la determinación de cada operación, así como la forma gráfica de hacerlo.

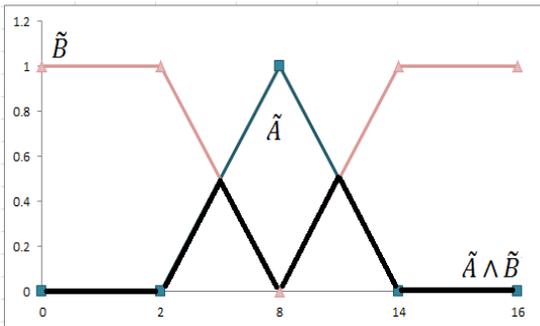
La unión para un par de conjuntos difusos se determina con el valor máximo de la pertenencia para todo elemento que se comparte en los conjuntos, tal y como se muestra en la *figura 2.1.6*.



$$\mu_{\tilde{A} \vee \tilde{B}}(x) = \max\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}; \quad \forall x \in \tilde{A}, \tilde{B}$$

Figura 2.1.6, Unión de dos conjuntos difusos

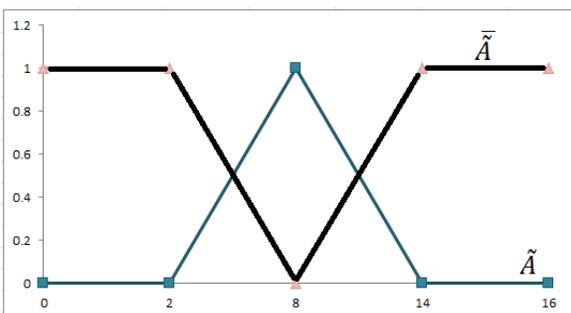
La intersección de un par de conjuntos difusos es el valor mínimo de la pertenencia de los elementos que comparten los conjuntos tal como se muestra en la *Figura 2.1.7*.



$$\mu_{\tilde{A} \wedge \tilde{B}} = \min\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}; \quad \forall x \in \tilde{A}, \tilde{B}$$

Figura 2.1.7, Intersección de dos conjuntos difusos

El complemento de un conjunto borroso es uno menos el grado de pertenencia, que resulta ser la función soporte, el gráfico se muestra en la *Figura 2.2.8*.



$$\mu_{\tilde{A}^c} = 1 - \mu_{\tilde{A}}; \quad \forall x \in E$$

Donde E es el conjunto de todos los elementos

Figura 2.1.8 Complemento de un conjunto difuso

2.2 SERIES DE TIEMPO



Al conjunto de datos recolectados en diferentes momentos del tiempo se le denomina *serie de tiempo*. Los periodos de tiempo varían en duración. Pueden ser anuales, trimestrales, mensuales e incluso hasta diarios. Son numerosas las herramientas que se utilizan para desarrollar proyectos empleando pronósticos mediante las series de tiempo.

El propósito del análisis de las series de tiempo es predecir o proyectar los valores futuros de una variable empleando observaciones anteriores de la misma variable, o de variables relacionadas. La primera división para los métodos de series temporales se da de acuerdo a la aleatoriedad de los datos. Es decir para aquellos datos que cambian de valor de manera incierta (aleatorios), se utiliza el *método intuitivo*, el cual dicta que el mejor valor para la variable en el periodo siguiente Y_{t+1} es el actual Y_t como se muestra en la *Expresión 2.2.1*.

$$Y_{t+1} = Y_t \dots \dots \dots \text{Expresión 2.2.1}$$

La *Expresión 2.1.1* suele utilizarse cuando no resulta posible determinar la tendencia de los datos, por lo que toma como mejor valor en el tiempo $t + 1$, al de la variable en el tiempo t . Éste método resulta ser el más exitoso para los datos que se recolectaron en tiempos muy breves.

En caso de que no exista aleatoriedad entre los datos se recurre a los *métodos no intuitivos*. Por más compleja que sea la serie de tiempo no aleatoria, ésta debe contener por lo menos uno de los siguientes componentes: a) tendencia secular, b) variación estacional, c) variación cíclica, d) variación irregular.

La *tendencia secular* T_t , es la conducta a largo plazo de la variable para un periodo prolongado de tiempo. Da información de la dirección de la serie de tiempo como ascendente o descendente. En la *figura 2.2.1*, se muestra el ejercicio presupuestal de una entidad y su recta de tendencia.

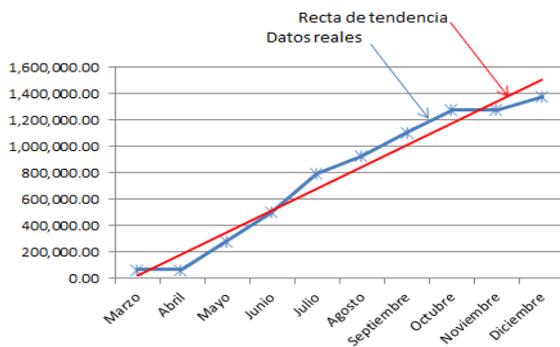


Figura 2.2.1 Tendencia secular

La *variación estacional* S_t , son aquellas que son influenciadas por ciertos momentos en el tiempo, las fluctuaciones estacionales son patrones que tienden a ocurrir en la misma época. Como se muestra en la *Figura 2.2.2*, podemos apreciar cómo el gráfico sigue una tendencia estacional.

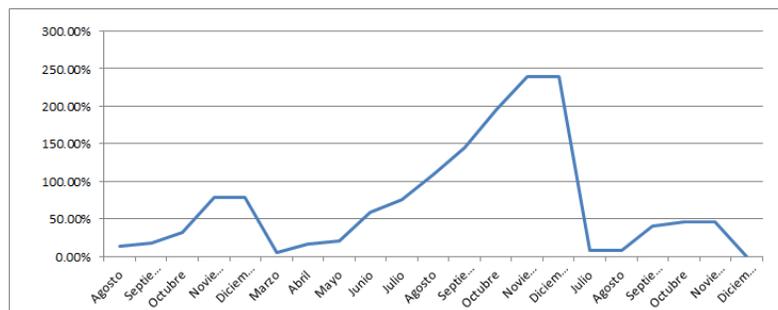


Figura 2.2.2 Tendencia estacional

La *variación cíclica* C_t , es aquella cuyos valores se encuentran por encima y por debajo de la recta de tendencia. Son utilizados para periodos de tiempo más prolongados que los estacionales y con frecuencia incluyen más de tres años de duración. Cada ciclo presenta un alza durante la cual el nivel de actividad comercial se acelera, el pico donde la tasa de actividad económica tiene el punto más alto, el descenso cuando la actividad económica baja y la depresión en donde se llega al punto mínimo relativo. El la *Figura 2.2.3* se muestra una variación cíclica.

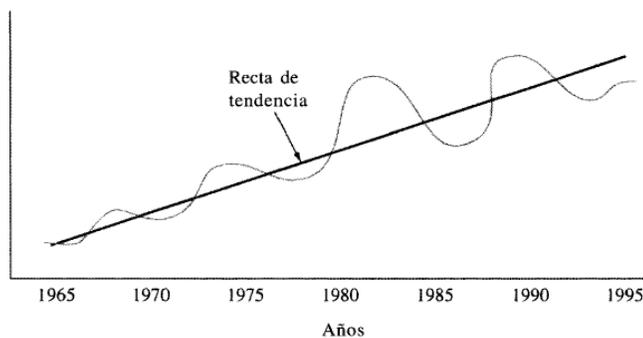


Figura 2.2.3 Variación cíclica

La *variación irregular* I_t , es producida por sucesos inusuales, se presentan movimientos inesperados. Pueden ser producidos por eventos tales como guerras, inundaciones, terremotos plagas, virus, etc.

Un modelo de series de tiempo se puede expresar como la combinación de las variaciones descritas anteriormente. La primera combinación es el *modelo aditivo* el cual se presenta en la *Expresión 2.2.2*.

$$Y_t = T_t + S_t + C_t + I_t \dots \dots \dots \text{Expresión 2.2.2}$$

El valor Y_t es el de la serie de tiempo para un periodo t , en función de la tendencia secular, variación estacional, variación cíclica y la variación irregular, expresadas en valores originales. Cada una de las variables tomará valores enteros.

El modelo aditivo es poco apegado a la realidad, puesto que las variables generalmente no son independientes, por lo que surge el modelo multiplicativo el cual se prefiere con frecuencia ya que se apega a pronósticos más reales, el modelo se muestra en la *Expresión 2.2.3*.

$$Y_t = T_t S_t C_t I_t \dots \dots \dots \text{Expresión 2.2.3}$$

En el modelo multiplicativo solo la tendencia secular T_t se expresa en las unidades originales y las demás variables se expresan como porcentajes de influencia. Para fluctuaciones que ocurren en menos de un año, no están reflejados en datos anuales y por ello se omite el valor de la variación estacional.

Las series a corto plazo presentan normalmente muchos cambios que no permiten observar su tendencia de forma sencilla, es por ello que se recurre a algunas herramientas que *suavizan* el comportamiento de la serie.

La técnica de *promedios móviles* permite producir un movimiento con menos picos y valles. Se calcula promediando los valores en la serie de tiempo sobre un número fijo de periodos. El efecto de suavizamiento se da para las variaciones más significativas. Éste efecto ocurre puesto que los eventos muy pequeños o muy grandes se promedian con los datos subsecuentes y por tanto su impacto se mitiga. La técnica se ilustra en la *Figura 2.2.4*.

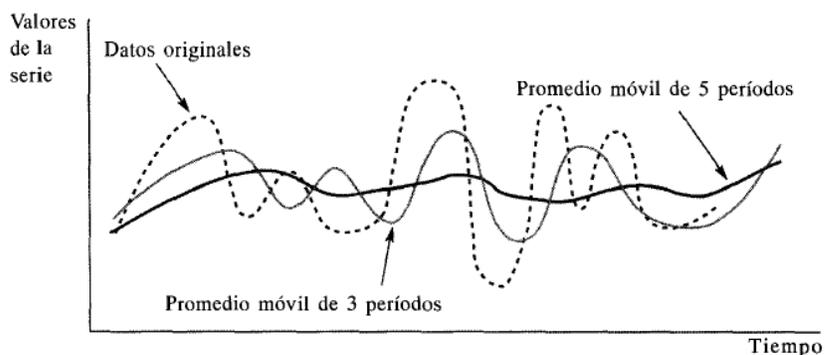


Figura 2.2.4 Técnica de promedios móviles

En general si se abarca mediante la técnica de promedio móvil datos suficientes para un año, las variaciones estacionales que se presentan se eliminarán al promediarse. Entonces se afirma que la serie se ha desestacionalizado.

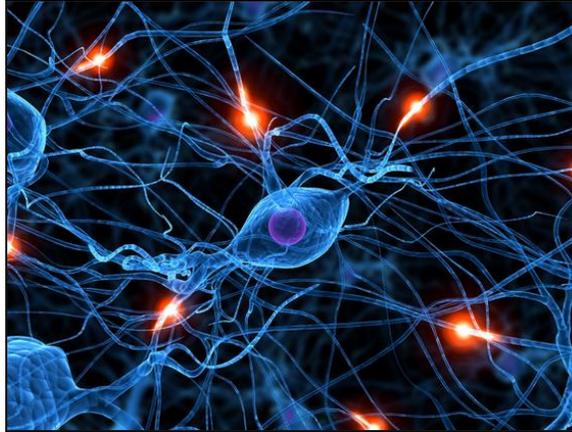
Como se mencionó la técnica de promedios móviles suaviza en mayor manera cuando se toman intervalos más grandes de promedio, sin embargo para datos volátiles se recomienda utilizar periodos de tiempo cortos para evitar colocar proyecciones cerca del promedio a largo plazo.

Una técnica alterna a la de promedios móviles es la de *suavizamiento exponencial* *Expresión 2.2.3*, porque además de tener efecto en el suavizamiento de la serie, proporciona un medio efectivo para la predicción. El suavizamiento exponencial de primer orden es utilizado para datos que no presentan ningún patrón de tendencia. El modelo cuenta con un sistema de autocorrección, tomando direcciones opuestas a la de los errores pasados.

$$F_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha)F_t \dots \dots \dots \text{Expresión 2.2.3}$$

En donde F_{t+1} es el pronóstico para el siguiente periodo, A_t es el valor real observado para el periodo corriente, F_t es la proyección previa para el periodo t y α es una constante de suavizamiento cuyos valores varían entre 0 y 1. También se describe como la combinación lineal convexa, entre el valor real actual y el pronóstico previo.

2.3 REDES ENFOCADAS A LA ASIGNACIÓN



Una red es un gráfico formado por *nodos* los cuales son puntos localizados en un espacio geométrico, el segmento que une un par de nodos se llama *arco*, por el cual circula por lo menos un *flujo*. Los arcos pueden o no ser dirigidos, es decir se da un sentido para la circulación del flujo.

La representación física de una red es sumamente diversa, puesto que los nodos pueden significar diferentes sitios en un mapa cartográfico, o bien pueden representar diferentes opciones para tomar una decisión, también podrían representar personas relacionadas.

La representación del flujo en los arcos puede o no ser independiente de la de los nodos, estos pueden representar el gasto volumétrico de un fluido, los costos de traslado de un sitio a otro, la distancia entre un par de lugares, la cantidad de vehículos que van de un nodo a otro, etc.

El primer tratado referente a gráficas fue escrito por Euler en 1736 cuyo nombre es “*solutio problematis ad geometriam situs pertinentis*” (Flores de la Mota, 1999), el cual inicia con una conjetura matemática el cual consiste en dar un paseo, visitando las cuatro zonas, pasando sólo una vez por cada puente, de la ciudad de Königsberg, y regresar al punto de partida. Los puentes se muestran en la *Figura 2.3.1*.

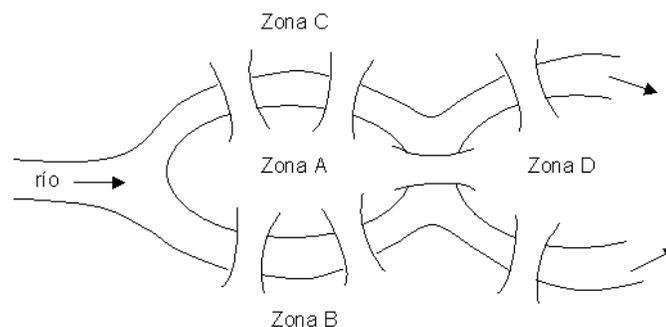


Figura 2.3.1 Puentes de Königsberg

Las redes como problemas de flujo según (Flores de la Mota, 1999) anteceden a los de programación matemática lineal. “Los primeros estudios fueron realizados por Kantorovich (1939), Hitchcock (1941) y Koopmans (1947) quienes consideraron el problema de transporte como un caso particular del problema de flujo a costo mínimo. Los estudios apoyaron a la mejor estructuración de este problema, dando nuevos métodos y algoritmos. Con el surgimiento del método simplex desarrollado por Dantzig en 1947, el interés por los problemas de flujo creció estrepitosamente”.

Una *red* G consiste de un conjunto de *nodos* $N = \{n_1, n_2, n_3, \dots, n_k\}$ que son los vértices o puntos de los gráficos, un conjunto de *arcos* $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_l\}$ que son las líneas o flechas que unen un par de nodos y una función $\psi: A \rightarrow \psi(A)$ que asigna a cada $a_i \in A$ una pareja (i, i') con $i, i' \in \{1, 2, 3, \dots, k\}$ / $i \neq i'$ se supone $N \neq \emptyset$. Si $i = i'$ se trata de un rizo.

Es posible representar una red de manera numérica, para hacerlo se construye una *matriz de incidencia*. Sea G una red, la *matriz de incidencia* nodos-arcos E es una matriz de $m \times n$ donde m es el número de nodos y n es el número de arcos con elementos $e(i, j)$ los cuales son:

$$e(i, j) = \begin{cases} +1 & \text{si el arco } j \text{ sale del nodo } i \\ -1 & \text{si el arco } j \text{ entra al nodo } i \\ 0 & \text{En otro caso} \end{cases}$$

Una *matriz de adyacencia* o *nodos-nodos* Q es una matriz de orden $m \times m$ donde m es el número de nodos, con elementos $q(i_1, i_2)$ los que son:

$$q(i_1, i_2) = \begin{cases} 1 & \text{si existe un arco que parte de } i_1 \text{ y llega a } i_2 \\ 0 & \text{En otro caso} \end{cases}$$

El *grado exterior* de un nodo i es el número de arcos salientes de i , el *grado interior* de un nodo i es el número de arcos que entran a i . Un *nodo fuente* es un nodo de donde únicamente salen arcos. Un *nodo sumidero* es un nodo a donde únicamente entran arcos.

Una *cadena* de longitud q se trata de una sucesión de q arcos. Una *trayectoria* es una cadena en la cual todos los arcos de la misma se dirigen en el mismo sentido. Un *circuito* es una trayectoria cuyos nodos finales coinciden. Un *ciclo* es una cadena cuyos puntos finales coinciden. Una *gráfica conectada* es aquella que para cualquier par de nodos existe una cadena que los une.

Se llama *divergencia*, a la cantidad resultante de los flujos que entran (-) y salen (+) de un nodo. Se llama y a la función de divergencia asociada a la matriz de incidencia E y la matriz de flujos en los arcos x , *Expresión 2.3.1.*

$$y = \text{div } x = E x$$

Una red G se dice *conexa* si para cada par de nodos distintos existe una trayectoria. Además si la trayectoria para todo par de nodos distintos es positiva se le llama red *fuertemente conexa*. Una red que no presenta rizos ni arcos dobles se le denomina *red simple*. Si todo par de nodos en una red están conectados directamente y no presenta rizos se le llama *red completa*.

La variedad de problemas que se consideran en la teoría de redes es sumamente grande, sin embargo se consideran cinco tipos de problemas importantes: el problema de transbordo, el

problema de la ruta más corta, el problema del árbol de mínima expansión, el problema del flujo máximo y el problema del transporte.

El problema del transbordo consiste en la minimización de costos del flujo producido por un par de nodos, los cuales pueden ser un punto de abastecimiento, un punto de demanda o ambos casos. Se busca además satisfacer las necesidades de los nodos de demanda, con los recursos que proporcionan los nodos de abastecimiento.

El problema de la ruta más corta consiste en determinar un camino para trasladarnos de un nodo inicial a un nodo destino, considerando todas las posibles rutas y la distancia total entre los nodos extremos sea mínima.

Para el problema del árbol de mínima expansión es necesario explicar lo que en teoría de redes se entiende por árbol. Un *árbol* es un subconjunto de arcos de la red original que conecta a todos los nodos sin formar ciclos. El problema consiste en determinar un árbol que conecte a todos los nodos de la red, pero que el costo de los arcos sea mínimo.

El problema del flujo máximo consiste en determinar la mayor cantidad de flujo que puede pasar de un nodo origen a uno destino, considerando las capacidades que se presentan en los arcos. Es importante recordar que el flujo puede expresarse físicamente de diversas formas posibles, como por ejemplo: la cantidad de automóviles, cantidad de dinero, gas entubado, etc.

El problema de transporte se considera un caso particular del descrito en el de transbordo, en el cual los nodos pueden ser fuentes o de demanda pero no ambos, por ello se puede dividir los nodos en dos subconjuntos a lo que se conoce como red bipartita. El problema consiste en satisfacer las demandas señaladas a los menores costos posibles.

Un caso especial de las redes de transporte son los *problemas de asignación*, éste problema se considera de mayor utilidad para la presente tesis, pues fue el que permitió formular el modelo más adecuado.

El problema de asignación consiste en determinar el reparto óptimo de recursos de tal forma que se minimicen los costos que esto involucra. El problema considera nodos fuente dentro de un conjunto y nodos de demanda en otro conjunto, lo cual forma una red bipartita, los arcos tienen costos asociados como se muestra en la *Figura 2.3.2*.

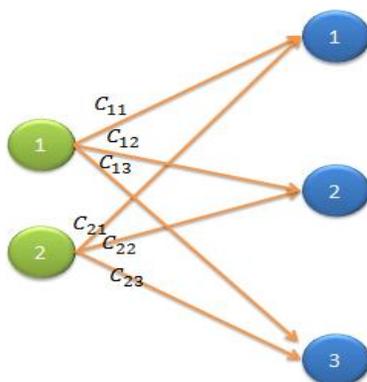


Figura 2.3.2 Problema de asignación

El problema de asignación puede ser resuelto mediante enumeración exhaustiva buscando enviar los mayores recursos por los arcos de menor costo y satisfaciendo las demandas de los nodos sumidero. Otro método consistiría en un modelo de programación lineal el cual determina los recursos óptimos minimizando los costos, éste método será estudiado en la siguiente sección.

Un algoritmo especial para resolver el problema de asignación es la *regla de la esquina noreste*, sin embargo, no da una solución óptima pero sirve de inicio al *método de aproximación de Vogel*, con el cual es posible llegar a un óptimo. Ambos algoritmos trabajan sobre la tabla del *método simplex*, la cual se muestra en la *Tabla 2.3.1*:

		Destino				Recursos
		1	2	...	n	
Origen	1	c_{11}	c_{12}	...	c_{1n}	s_1
	2	c_{21}	c_{22}	...	c_{2n}	s_2

	m	c_{m1}	c_{m2}	...	c_{mn}	s_m
Demanda		d_1	d_2	...	d_n	Z=

Tabla 2.3.1 Tabla simplex para resolver el problema de asignación

Dentro de las celdas de las tablas se debe agregar información adicional la cual se muestra en la *Figura 2.3.2*:

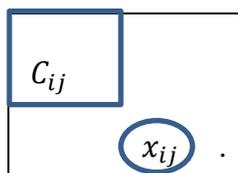


Figura 2.3.2 Información adicional para celdas en tabla simplex

Regla de la esquina noreste: La primera elección es x_{11} , es decir, se comienza en la esquina noreste de la tabla simplex de transporte. De ahí en adelante, si x_{ij} fue la última variable básica seleccionada, la siguiente elección es $x_{i,j+1}$ -es decir, se mueve una columna a la derecha, si quiere recursos en el origen i . De otra manera, se elige $x_{i+1,j}$, esto es, se mueve un renglón hacia abajo. (Hillier S., 2010)

Como ejemplo véase la *Tabla 2.3.2*:

		Destino					
		1	2	3	4	5	Recursos
Fuente	1	16	16	13	22	17	50
	2	14	14	13	19	15	60
	3	19	19	20	23	M	50
	4(D)	M	0	M	0	0	50
Demanda		30	20	70	30	60	Z=2470+ 10M

Tabla 2.3.2 Ejemplo de regla de la esquina noreste (Hillier S., 2010)

*Método de aproximación de Vogel: Para cada renglón y columna que queda bajo consideración, se calcula su **diferencia**, que se define como la diferencia aritmética entre el costo unitario más pequeño C_{ij} y el que le sigue de los datos que quedan en ese renglón o columna. (Si se tiene un empate entre el costo más pequeño de los restantes de un renglón o columna, entonces la diferencia es 0.) En el renglón o columna que tiene mayor diferencia, se elige la variable con menor costo unitario que queda. (Los empates en el caso de la mayor de estas diferencias se pueden romper de manera arbitraria.) (Hillier S., 2010)*

Como ejemplo véase la *tala 2.3.3*

		Destino					Recursos	Diferencia por renglón
		1	2	3	4	5		
Fuente	1	16	16	13	22	17	50	3
	2	14	14	13	19	15	60	1
	3	19	19	20	23	M	50	0
	4(D)	M	0	M	0	0	50	0
Demanda		30	20	70	30	60	Seleccionar $x_{44} = 30$	
Diferencia por columna		2	14	0	19	15	Eliminar columna 4	

		Destino				Recursos	Diferencia por renglón
		1	2	3	5		
Fuente	1	16	16	13	17	50	3
	2	14	14	13	15	60	1
	3	19	19	20	M	50	0
	4(D)	M	0	M	0	50	0
Demanda		30	20	70	60	Seleccionar $x_{45} = 20$	
Diferencia por columna		2	14	0	15	Eliminar columna 4D	
		Destino				Recursos	Diferencia por renglón
		1	2	3	5		
Fuente	1	16	16	13	17	50	3
	2	14	14	13	15	60	1
	3	19	19	20	M	50	0
Demanda		30	20	70	60	Seleccionar $x_{13} = 50$	
Diferencia por columna		2	2	0	5	Eliminar columna 1	
		Destino				Recursos	Diferencia por renglón
		1	2	3	5		
Fuente	2	14	14	13	15	60	1
	3	19	19	20	M	50	0
Demanda		30	20	70	60	Seleccionar $x_{25} = 40$	
Diferencia por columna		5	5	7	M-15	Eliminar columna 5	
		Destino			Recursos	Diferencia por renglón	
		1	2	3			
Fuente	2	14	14	13	60	1	
	3	19	19	20	50	0	
Demanda		30	20	70	Seleccionar $x_{23} = 20$		
Diferencia por columna		5	5	7	Eliminar columna 2		
		Destino			Recursos	Diferencia por renglón	
		1	2	3			
Fuente	3	19	19	20	50		
Demanda		30	20	70	Seleccionar $x_{31} = 30$ $x_{32} = 20$ $x_{33} = 0$ $Z = 2460$		

Tabla 2.3.3 Ejemplo de método de Vogel (Hillier S., 2010)

2.4 PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA LINEAL

Los problemas de asignación derivan principalmente en la escasez y sobra de los recursos. Por ello es necesario que el tomador de decisiones seleccione la combinación de recursos que satisfaga las demandas con el mayor acercamiento posible a los costos reales del proyecto. Otro ejemplo es seleccionar la combinación de recursos que produzca la mayor cantidad de productos al costo más bajo posible

Un método común de tratar éste tipo de problemas es la programación lineal. Es posible aplicar éste método siempre que las variables estén relacionadas por relaciones lineales. Las variables son evaluadas de acuerdo con una función económica lineal, que maximiza utilidades y minimiza costos, a fin de seleccionar la asignación de recursos más adecuada.

Ahora es posible formular un modelo matemático del problema general de asignación de recursos a diferentes actividades. El problema consiste en elegir valores x_1, x_2, \dots, x_n con el fin de maximizar la función lineal *Expresión 2.4.1*:

$$\max z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Sujeto a las restricciones:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

...

$$a_{m1} + a_{m2} + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

Y

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \quad \text{Expresión 2.4.1}$$

La *Expresión 2.4.1* es conocida como *forma estándar* del problema de programación lineal, para las situaciones que se ajusten al modelo planteado. La función a maximizar se le denomina *función objetivo*. Por lo general las limitaciones son llamadas *restricciones* y finalmente la ultimas desigualdades son denominadas *restricciones de no negatividad*. Lo anterior está en función de las variables x_i , las cuales serán sometidas a iteraciones hasta determinar el valor óptimo.

La expresión anteriormente planteada suele no ajustarse a todas las situaciones, en algunos problemas se requiere minimizar costos en vez de maximizar ganancias. Con este fin surge el modelo de minimización el cual se muestra en la *Expresión 2.4.2*.

$$\min z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Sujeto a las restricciones:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n \geq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n \geq b_2$$

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n \geq b_m$$

Y

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \quad \text{Expresión 2.4.2}$$

Otros problemas varían de acuerdo a la representación física de la desigualdad, tomando restricciones de tipo igual o desigualdades en otro sentido. Sin embargo es imprescindible que el espacio geométrico que dibuja la configuración de las restricciones tenga solución y para ello las inequaciones deberán coincidir en por lo menos un punto el cual se denominará *vértice*, además las relaciones matemáticas de las restricciones deben ser *convexas*. Una de las pruebas de convexidad para un lugar geométrico de dimensión 2, se muestra en la *Expresión 2.4.3*.

$$f(tx + (1 - t)y) \geq tf(x) + (1 - t)f(y) \dots \dots \dots \quad \text{Expresión 2.4.3}$$

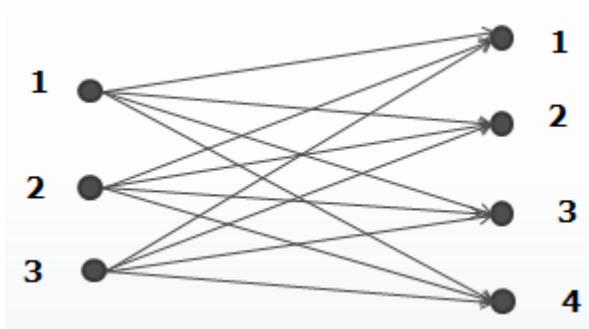
Uno de los aspectos importantes del modelo es el teorema fundamental de la programación lineal, que dice:

1. Si existe una solución factible, existe una solución factible básica.
2. Si existe una solución factible óptima, existe una solución factible básica óptima.

Para obtener la solución óptima del modelo de optimización existen diversas metodologías, la más conocida es el *algoritmo simplex* formulado por *Dantzing* en 1947, la cual va examinando vértices adyacentes de la región geométrica dada por las desigualdades. Existe un complemento al programa Excel llamado *solver*, el cual utiliza el algoritmo simplex para determinar la solución óptima, a continuación se describe paso a paso la utilización del *solver* para el ejemplo de asignación que a continuación se plantea.

Ejemplo: Tres almacenes con los inventarios respectivos 10, 15 y 10 proveen a 4 tiendas con las demandas respectivas 8, 12, 7 y 8. La siguiente tabla indica los costos c_{ij} por envío. Determine el costo mínimo.

	A j				
		1	2	3	4
Desde i	1	12	9	11	7
	2	15	8	10	9
	3	7	4	6	11



El modelo de programación matemática lineal del ejemplo de transporte es:

$$\begin{aligned} \min w = & 12x_{11} + 9x_{12} + 11x_{13} + 7x_{14} + 15x_{21} + 8x_{22} + 10x_{23} + 9x_{24} + 7x_{31} + 4x_{32} \\ & + 6x_{33} + 11x_{34} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} & = 10 \\ & x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} = 15 \\ & & x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} = 10 \\ x_{11} & & + x_{21} & & + x_{31} & = 8 \\ & x_{12} & & + x_{22} & & + x_{32} = 12 \\ & & x_{13} & & & + x_{23} & & + x_{33} = 7 \\ & & & x_{14} & & & + x_{24} & & + x_{34} = 8 \end{aligned}$$

$$x_{ij} \geq 0, i = 1 \dots 3, j = 1 \dots 4$$

Procedimiento con solver Excel 2007 MR:

1.- Se crea una matriz en Excel de la siguiente manera:

Página 1

2.- Función objetivo: Se construye multiplicando los coeficientes de la función objetivo por el valor de las variables. En Excel se utiliza la función (sumaproduto)

3.- Lados derechos: Se construyen multiplicando los coeficientes por las variables (sumaproduto).

DETERMINACIÓN DE VALORES ÓPTIMOS EN PROBLEMA LINEAL MAXIMIZAR														
Modelo Primal														
DATOS DE ENTRADA:														
Variables->	X11	X12	X13	X14	X21	X22	X23	X24	X31	X32	X33	X34	Totales	Límites
Objetivo													0.00	
R1													0.00	"=
R2													0.00	"=
R3													0.00	"=
R4													0.00	"=
R5													0.00	"=
R6													0.00	"=
R7													0.00	"=
RESULTADOS														
Solución	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Z

=sumaproduto(seleccionar coeficientes, seleccionar variables)

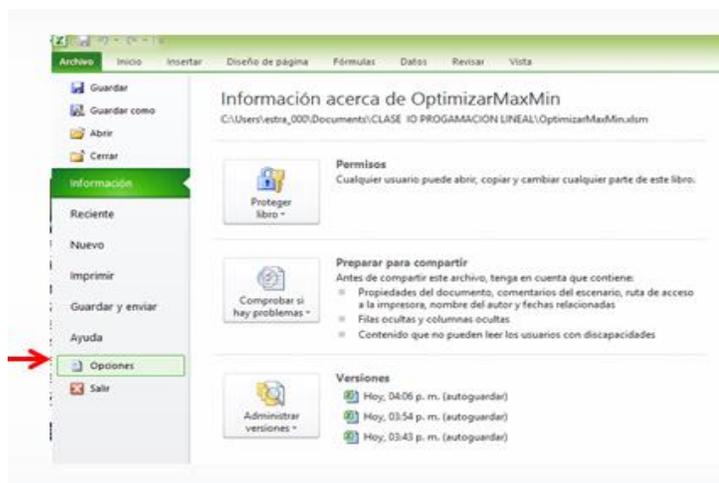
Así para cada restricción

4.- Capturar los valores del modelo:

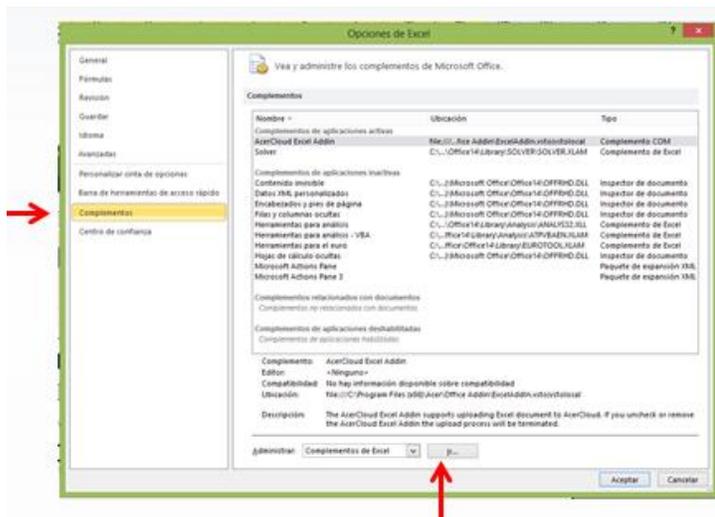
DETERMINACIÓN DE VALORES ÓPTIMOS EN PROBLEMA LINEAL MINIMIZAR														
Modelo Primal														
DATOS DE ENTRADA:														
Variables->	X11	X12	X13	X14	X21	X22	X23	X24	X31	X32	X33	X34	Totales	Límites
Objetivo	12.00	9.00	11.00	7.00	15.00	8.00	10.00	9.00	7.00	4.00	6.00	11.00	0.00	
R1	1.00	1.00	1.00	1.00									0.00	"= 10.00
R2					1.00	1.00	1.00	1.00					0.00	"= 15.00
R3									1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	"= 10.00
R4	1.00				1.00				1.00				0.00	"= 8.00
R5		1.00				1.00				1.00			0.00	"= 12.00
R6			1.00				1.00				1.00		0.00	"= 7.00
R7				1.00				1.00				1.00	0.00	"= 8.00
RESULTADOS														
Solución	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Z

Nota: Para activar Solver:

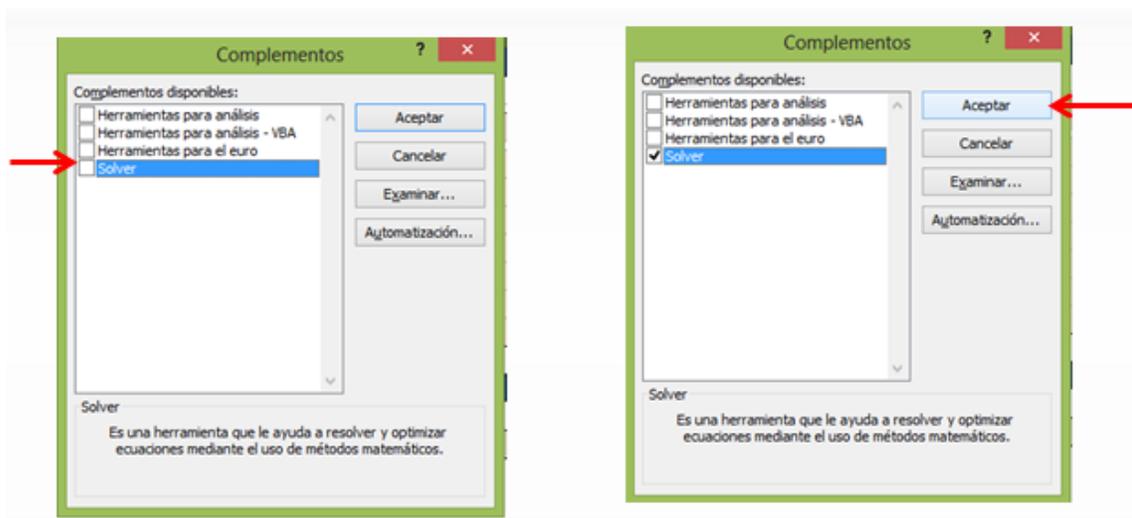
1.- Ir al botón archivo y seleccionar opciones:



2.- Ir a la opción complementos y dar clic en ir:



3.- Activar Solver y aceptar:



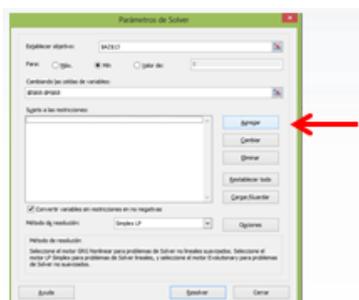
4.- Solver se encuentra en la herramienta datos (dar clic):



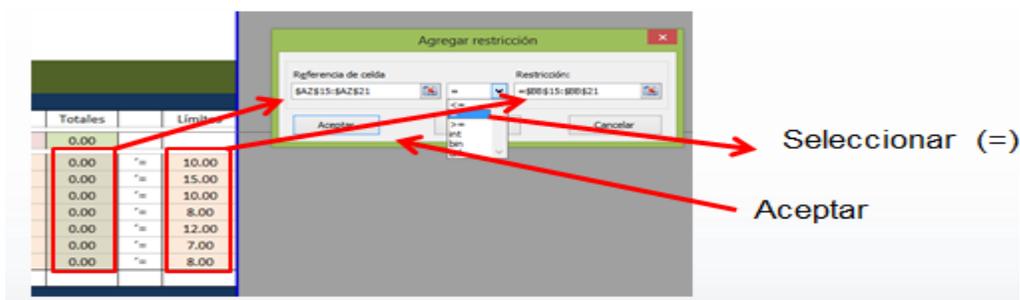
5.- Insertar la función objetivo: dar clic en la celda correspondiente y para las variables sombrearlas sobre la opción (cambiando las celdas variables):



6.- Insertar restricciones: Dar clic en agregar:



6.1 La columna de totales sea igual a la de límites. Finalmente aceptar:



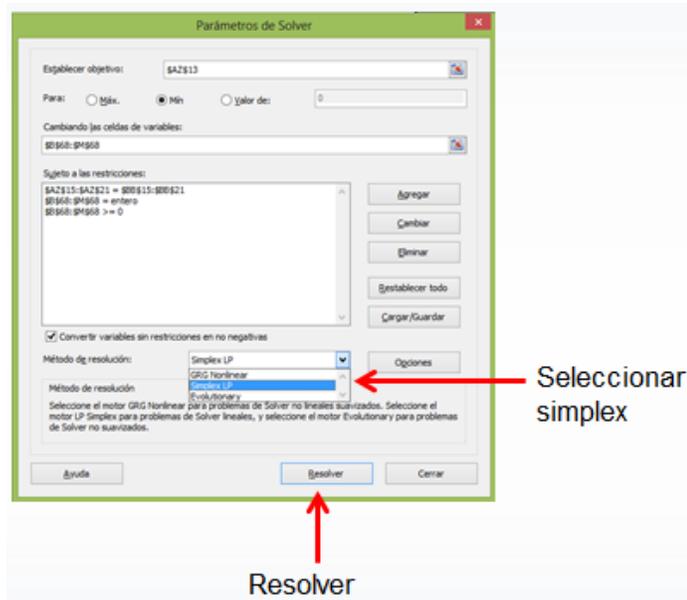
6.2 Agregar la restricción entera: Seleccionar las variables y dar clic en la opción int (entero) y aceptar.



6.3 Restricción de no negatividad: Se seleccionan las variables, se da clic en \geq y se escribe 0, y aceptar.



7. Seleccionar método de solución (simplex) y resolver:



8. Aparece el siguiente cuadro. Da clic en conservar solución, informes de esquema y aceptar:



9. Solución:

Valor óptimo

DETERMINACIÓN DE VALORES ÓPTIMOS EN PROBLEMA LINEAL MINIMIZAR														
Modelo Primal														
DATOS DE ENTRADA:														
Variables->	X11	X12	X13	X14	X21	X22	X23	X24	X31	X32	X33	X34	Valores	Límites
Objetivo	12.00	9.00	11.00	7.00	15.00	8.00	10.00	9.00	7.00	4.00	6.00	11.00	272.00	
R1	1.00	1.00	1.00	1.00									10.00	'= 10.00
R2					1.00	1.00	1.00	1.00					15.00	'= 15.00
R3									1.00	1.00	1.00	1.00	10.00	'= 10.00
R4	1.00				1.00				1.00				8.00	'= 8.00
R5		1.00				1.00				1.00			12.00	'= 12.00
R6			1.00				1.00				1.00		7.00	'= 7.00
R7				1.00				1.00				1.00	8.00	'= 8.00
RESULTADOS														
Solución	0.00	0.00	2.00	8.00	0.00	12.00	3.00	0.00	8.00	0.00	2.00	0.00		

Valores de variables

Se satisfacen las restricciones

Cuando un modelo de programación matemática lineal es hasta de 3 dimensiones es fácil determinar una representación gráfica del modelo y con ello obtener en forma gráfica la solución. En un modelo de 2 dimensiones lineal, cada restricción corresponde a una familia de rectas cuya intersección puede delimitar una región cuyo contorno será la unión de vértices que se forman al intersecarse las rectas y las aristas que son las propias rectas. Cada punto al interior de la región corresponde a una solución factible, sin embargo los valores óptimos se encontrarán en las aristas pertenecientes al perímetro de la región, por ello el algoritmo simplex explora los vértices para determinar el valor óptimo. La *Figura 2.4.1* muestra la representación gráfica del siguiente modelo de programación matemática lineal de dimensión 2 (Estrada Medina, 2005):

$$\text{Max } z = 60x_1 + 40x_2$$

s. a.

$$x_1 + x_2 \leq 200 \text{ (Tierra en hectáreas).}$$

$$4x_1 + x_2 \leq 300 \text{ (Días de labor).}$$

$$20x_1 + 10x_2 \leq 2,200 \text{ (Capital en u.m.)}$$

Condiciones de no -negatividad $x_1, x_2 \geq 0$

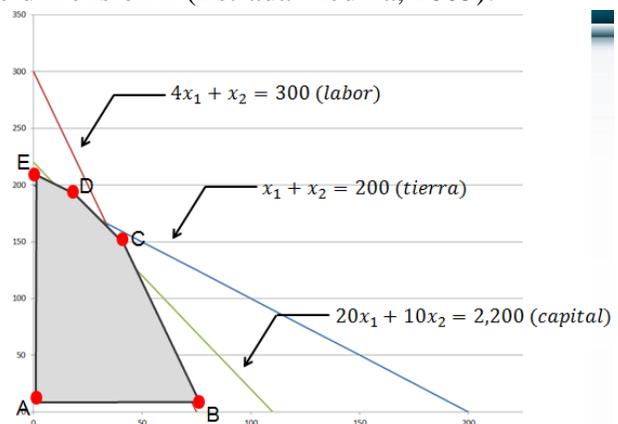


Figura 2.4.1 Región factible para el problema de programación lineal

Para un espacio de dimensión 3 de un modelo de programación matemática lineal, las restricciones representan familias de planos en el espacio cuya intersección corresponde a una región volumétrica factible y la solución óptima se encuentra en los vértices de intersección de planos o rectas.

Existen modelos de programación matemática no lineales, donde el modelo de dos variables correspondería a una familia de curvas que también determinan una región factible de soluciones y para tres variables la representación geométrica sería familias de superficies.

Una metodología de solución, para modelos no lineales, que también sirve para los problemas de programación lineal utiliza los *multiplicadores de lagrange*. Suponga un problema de optimización de una función $f(x, y)$, sujeta a las restricciones $g_1(x, y) = 0, g_2(x, y) = 0, \dots, g_n(x, y) = 0$. Se denomina *función de Lagrange* $F(x, y, \lambda_1, \dots, \lambda_n)$ a la *Expresión 2.4.4*.

$$F(x, y, \lambda_1, \dots, \lambda_n) = f(x, y) + \lambda_1 g_1(x, y) + \lambda_2 g_2(x, y) + \dots + \lambda_n g_n(x, y) \dots \dots \text{Expresión 2.4.4}$$

De acuerdo al método de los multiplicadores de lagrange los valores críticos se determinarán al resolver el sistema de ecuaciones que se forma al igualar el gradiente de la función de lagrange al cero vector, llamaremos a esta la *Expresión 2.4.5*:

$$\Delta(F(x, y, \lambda_1, \dots, \lambda_n)) = \bar{0} \text{ Expresión 2.4.5}$$

El sistema que se forma es el de la *Expresión 2.4.6*:

$$\frac{\partial F}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial y} = 0$$

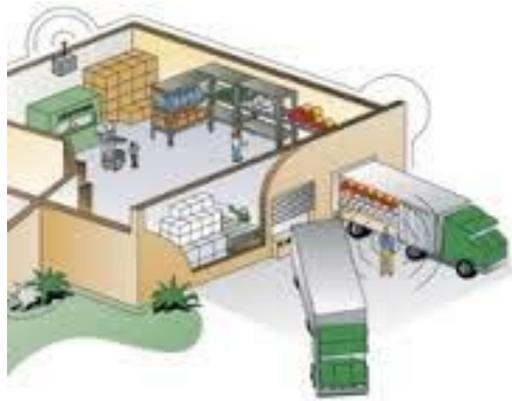
$$\frac{\partial F}{\partial \lambda_1} = 0$$

...

$$\frac{\partial F}{\partial \lambda_n} = 0 \dots \dots \text{Expresión 2.4.6}$$

Al determinar los valores críticos se evaluarán en la función objetivo para de esta forma determinar cuáles de éstos son los correspondientes al valor óptimo buscado. Siempre que el problema de programación lineal sea convexo.

2.5 TEORÍA DE INVENTARIOS POR MULTIESCALÓN



Los modelos de inventario utilizan cuando menos tres principales costos a considerar en todas las variantes y adecuaciones temáticas que se presentan. El primero hace referencia a los recursos que se requieren para poder realizar el pedido o producirlo y es conocido como *costo por ordenar* (k), el segundo es aquel que implica tener un producto embodegado hasta que sea requerido y se llama *costo por mantener* (h), el último costo es aquel del precio unitario del producto y se llama *costo por comprar* (c).

El *costo total variable* será el que se genera al considerar la suma de los costos antes mencionados prorrateado a una unidad de tiempo. Debido a que el análisis nos proporciona información más útil al ser un costo anual el prorrateo es a un año. Para su cálculo es necesario considerar dos variables presentes; la primera hace referencia a la *cantidad a ordenar* cada que se realice un pedido (Q) y la segunda es la *demanda* que se presenta anualmente del artículo en venta o producción (D).

Demanda $D \left[\frac{U}{\text{año}} \right]$

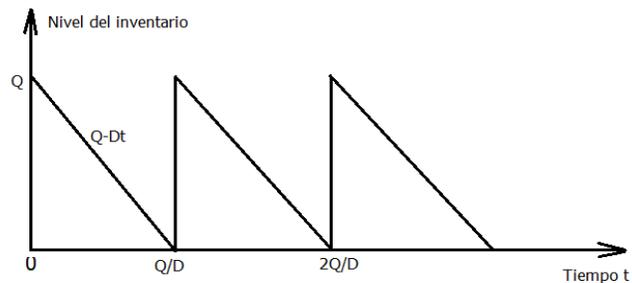
Pedido $Q [U]$

Costo por ordenar $K [U.M.]$

Costo por mantener $h \left[\frac{U.M.}{\text{año}} \right]$

Costo por adquirir $c \left[\frac{U.M.}{U} \right]$

Costo total variable $CTV \left[\frac{U.M.}{\text{año}} \right]$



$$\text{Costo total por ciclo} = K + c(Q) + \frac{hQ^2}{2D}$$

El costo total por unidad de tiempo (CTV):

$$CTV = \frac{K + c(Q) + \frac{hQ^2}{2D}}{Q/D}$$

$$CTV = \frac{DK}{Q} + h\frac{Q}{2} + cD$$

Para determinar la cantidad a ordenar (Q) óptima es necesario minimizar el costo total variable, por lo que se recurre a las herramientas de optimización no lineal puesto que se trata de un modelo de programación matemática no lineal, de tal forma que se derivará parcialmente respecto a (Q) y se igualará a cero:

$$\frac{\partial CTV}{\partial Q} = -\frac{Dk}{Q^2} + \frac{h}{2} = 0$$

La solución de la ecuación es el valor óptimo a ordenar cuya expresión es conocida como (EOQ):

$$Q^* = \sqrt{\frac{2Dk}{h}} \text{ [unidades]}$$

El punto de *reorden* lo podremos calcular empleando la cantidad óptima a ordenar:

$$t^* = \frac{Q^*}{D} \text{ [años]}$$

Realizar el estudio mediante éste enfoque resulta muy eficiente cuando se trata de un solo proveedor y un solo producto, sin embargo en muchos casos se requiere conocer la situación cuando existen varias instancias para diferentes productos. Resulta lógico pensar que no es tan económico que cada unidad y cada artículo tenga su propio punto de reabastecimiento, por lo menos, debido a duplicidad de funciones en el suministro, por lo que se recurre a un modelo de inventarios conocido como *distribución por multiescalón*.

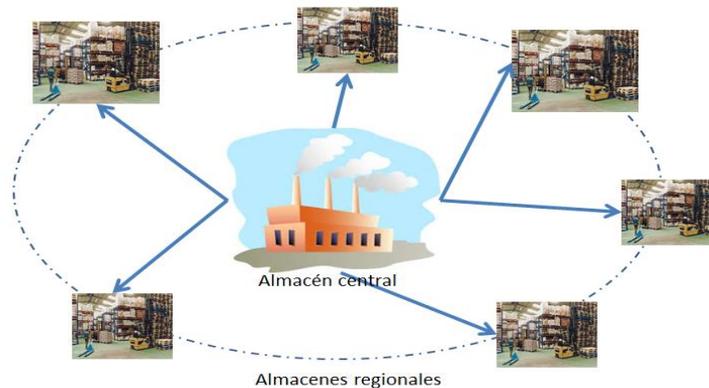


Figura 2.5.1, Enfoque de multiescalón para inventarios

Observe la *Figura 2.5.1*, en donde se presenta una situación muy común para diferentes productoras y es que se tiene un almacén central y varios almacenes regionales, los cuales tienen una demanda (D) de ciertos artículos y es necesario determinar la cantidad a enviar óptima y cada cuando se debe enviar.

Cada almacén regional presentará sus propios costos por *ordenar* (k_i), por *mantener* (h_i), su *demanda* (D_i) y su cantidad a *ordenar* (Q_i). Por lo cual el costo total variable será la suma de todos los costos antes mencionados, no se considerará el *costo por adquirir*.

El costo total variable es:

$$CTV = \sum_{i=0}^n \left[\frac{D_i k_i}{Q_i} + \frac{Q_i h_i'}{2} \right]$$

Si consideramos la variable:

$$g_i = \frac{1}{2} D_i h_i'$$

Y además que el punto de reorden es:

$$T_i = \frac{Q_i}{D_i}$$

El modelo se reescribe como:

$$CTV = \sum_{i=0}^n \left[\frac{k_i}{T_i} + g_i T_i \right]$$

Observe que se considera el costo por mantener como h_i' , y es debido a que a cada almacén regional se le resta el valor de costo por mantener en inventario, las unidades de cada región, en el almacén central, es decir:

$$h_i' = h_i - h_0$$

Note también que la sumatoria inicia en cero, debido a que el almacén cero será el central y los almacenes regionales serán de 1 a n . La logística del modelo será considerar los almacenes regionales como un conjunto, dividiéndolos en aquellos que resulte óptimo que compartan un punto de reorden, los cuales se incluirán en el conjunto g y aquellos que no compartan el mismo punto. Por lo que se buscará minimizar el siguiente modelo:

$$\min CTV = \sum_{i=0}^n \left[\frac{k_i}{T_i} + g_i T_i \right]$$

S. A.

$$T_i = 2^{li} T_l, \quad l \in \{0, 1, 2, \dots\}$$

$$T_o \geq T_i \geq 0, \quad i \in \{1, 2, \dots, n\}$$

La primera restricción hace referencia a obligar mientras sea posible un punto de reorden igual, por medio de la regla de potencia de dos.

Los almacenes que compartirán un punto de reorden serán aquellos que satisfagan la siguiente expresión:

$$\frac{\sum_{j=\bar{l}+1}^n k_j + k_o}{\sum_{j=\bar{l}+1}^n g_j + g_o} < \frac{k_{\bar{l}}}{g_{\bar{l}}} \text{ entonces } \varrho = \{\bar{l}, \bar{l} + 1, \dots, n\}$$

Y el punto de reorden para los almacenes que comparten será:

$$T_o + T_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=\bar{l}}^n k_j + k_o}{\sum_{j=\bar{l}}^n g_j + g_o}}$$

Los almacenes que no comparten tienen un punto de reorden de:

$$T_i = \sqrt{\frac{k_i}{g_i}}$$

ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO III



3.1 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN



El enfoque que se abordó en la tesis, es el de una perspectiva sistémica dura, por lo que es una investigación con enfoque cuantitativo. Debido a que el estudio del problema requirió ese tratamiento.

En la problemática planteada en el capítulo 1, las decisiones que se han tomado para determinar la asignación de recursos a cada entidad está basada en el criterio de una persona y en su experiencia. No se han seguido las recomendaciones de un estudio formal, con apoyo de un modelo matemático. Por ello, se considera poco estudiado el sistema asociado.

La perspectiva desde la cual se abordó dicha problemática, determinó conceptos completamente promisorios, que en caso de tomarse en cuenta sería posible cambiar completamente la metodología que se utiliza en la institución en cuestión, con un sustento matemático del cual apoyarse.

Finalmente con la presente investigación se está preparando el terreno para futuras investigaciones al respecto, puesto que de ser implementado el modelo, se espera que se abran vínculos a nuevos horizontes para seguir adelante con la investigación.

Tomando en cuenta los puntos discutidos en los párrafos anteriores se puede observar que la investigación que se realizó es del tipo exploratoria, cumple con cada una de las características citadas en (Hernández Sampeiri, 2010) y que se listan en la figura 3.1.1

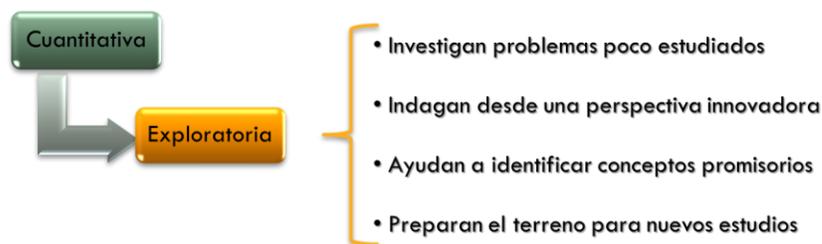


Figura 3.1.1 Tipo de investigación desarrollada

3.2 APORTACIÓN



Al desarrollar la investigación con los objetivos planteados en la problemática, pretendo tener una aportación constructiva para el crecimiento del acervo cultural de la institución que se está estudiando, de tal forma que se tenga una guía adecuada para el desarrollo de una mejor labor, en el reparto de asignaciones presupuestales, quedando descrita mi aportación de la siguiente manera:

Elaborar una metodología para la Coordinación de Oficinas Centrales en México de la SCT, que permita un mejor manejo de sus ejercicios presupuestales.

3.3 ENFOQUE METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN



Las técnicas con las que cuenta cierta entidad gubernamental para asignar presupuesto, son basadas en la experiencia del tomador de decisiones, lo cual las hace ineficaces en la práctica. Por ello se tiene que recurrir a más de una adecuación presupuestal al año, interfiriendo la continuidad de los proyectos que requieren dicho presupuesto.

Es necesario contar con las herramientas adecuadas para facilitar al tomador de decisiones las consideraciones pertinentes para un reparto presupuestal óptimo. Es deseable que cada proyecto obtenga desde su concepción los recursos suficientes para su desarrollo, evitando la interrupción de las labores de campo.

La diferencia que existe entre el estado real y deseado en la entidad gubernamental se debe a que no cuenta con un estudio formal, cuyos resultados orienten a la institución en la toma de decisiones, para lograr una asignación presupuestal óptima que evite la realización excesiva de adecuaciones presupuestales y con ello se tenga continuidad en los proyectos dependientes del presupuesto.

En caso de que la problemática sea resuelta, la continuidad de los proyectos permitirá cumplir con la programación de actividades deseada y con ello se evitará incurrir en gastos de prolongación de las actividades de las maquinarias, mano de obra y equipos que forman parte fundamental para la realización del proyecto.

Las áreas disciplinarias científicas que considero relevantes para mi investigación son:

1. Investigación de Operaciones
 - 1.1 Programación lineal y no lineal
 - 1.2 Teoría de redes y grafos
 - 1.3 Series de tiempo
2. Probabilidad y Estadística

2.1 Estadística Descriptiva e Inferencial

2.2 Teoría probabilística

3. Complejidad

3.1 Conjuntos Difusos

Como se mencionó en el primer párrafo, la entidad no cuenta con las herramientas necesarias para un manejo óptimo de una asignación presupuestal. “La investigación de operaciones ha tenido un efecto impresionante en el manejo de la eficiencia de numerosas organizaciones de todo el mundo. En el proceso, la IO ha contribuido de manera significativa al incremento de la economía en varios países.” (Hillier S., 2010). Por otro lado “Los empresarios reconocen que los problemas complejos que enfrenta el mundo actual requieren soluciones cuantitativas. Si usted no está en capacidad de aplicar la estadística y otros métodos cuantitativos a muchos de los problemas comunes que sin duda se le presentarán, estará en gran desventaja en el mercado laboral.” (L. Webster, 2000). Además sería de utilidad manejar un enfoque diferente, se podría considerar entonces al pensamiento sistémico. “El pensamiento sistémico contempla el todo y las partes, así conexiones entre las partes, y estudia el todo para poder comprender las partes.” (O Connor , 1998).

Para tratar la problemática descrita en la presente tesis, es necesario definirlo desde el punto de vista sistemático. El primer elemento del sistema es la unidad encargada de hacer el reparto presupuestal (Unidad General) a entidades que se encargan de contratar empresas y supervisar la ejecución de proyectos. El segundo elemento son las unidades encargadas de la contratación de empresas (Unidades Regionales). El tercer elemento son las empresas que realizan los proyectos.

Si el primer elemento (Unidad General) cambia la cantidad de presupuesto en su reparto, la Unidad Regional modifica la cantidad de empresas contratadas y por tanto los proyectos que se realizan se modifican. Si se modifica el presupuesto en el segundo elemento (Unidad Regional) una reacción es el recorte de metas fijadas en los proyectos de acuerdo al presupuesto inicial. La variación del presupuesto en el tercer elemento (Empresas que realizan los proyectos), afectará en la cantidad de equipo, mano de obra y maquinaria con la que cuenta para la realización de sus proyectos, además en la calidad de los materiales que se utilizan. En la *Figura 3.3.1* se muestra un esquema del enfoque sistémico mencionado.

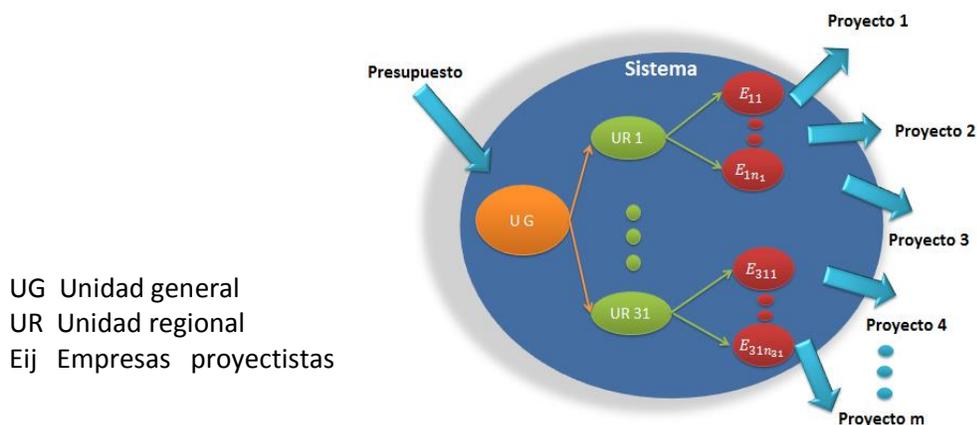


Figura 3.3.1 Enfoque sistémico de la problemática

El suprasistema está relacionado con la entidad que proporciona el presupuesto y requiere la ejecución de los proyectos producto de su inversión, entonces para que todos los proyectos se ejecuten de manera óptima es necesario que el sistema tenga un funcionamiento óptimo.

El primer subsistema se forma de la agrupación de las unidades regionales cuya función en común es la contratación y supervisión de empresas proyectistas, un segundo subsistema es la agrupación de la unidad general y las regionales cuya función es la administración y realización de estudios relacionados con los proyectos. El tercer subsistema es el conjunto de empresas que realizan los proyectos requeridos. En la Figura 3.3.2 se muestran los subsistemas.

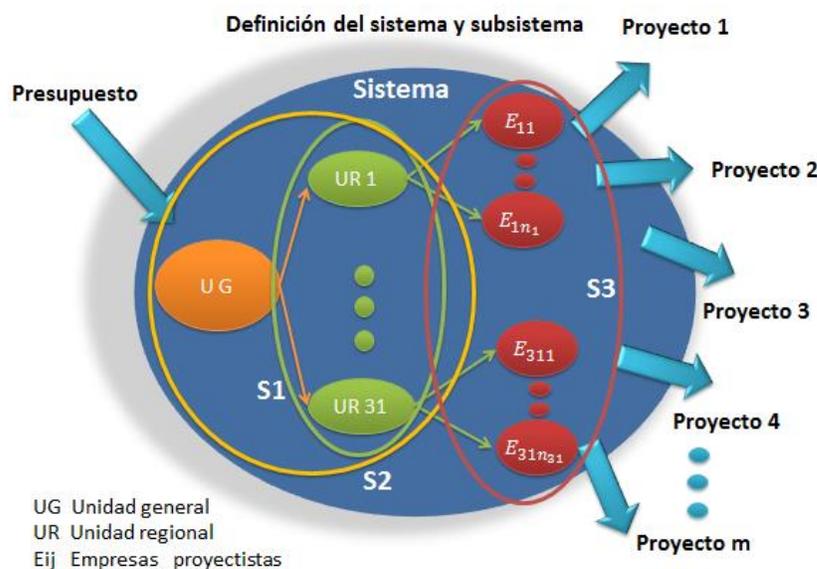


Figura 3.3.2 Subsistemas

Al tratarse de una entidad gubernamental, el entorno activo incluye las estrategias fijadas en un plan nacional de desarrollo, además de las entidades gubernamentales cuyos proyectos coinciden de forma espacial y temporal con la que se estudia (DGST). El entorno pasivo está compuesto por los ciudadanos beneficiados con los proyectos elaborados, además de las problemáticas que se abaten al realizar dichos proyectos.

Como se muestra en el sistema, todos los elementos dependen del presupuesto como variable de entrada, si se observa el subsistema correspondiente al conjunto de Unidades Regionales (UR), se observa la necesidad de variables presupuestales de entrada, que definen el reparto de la Unidad General (UG).

Las variables de salida serán definidas por la realización de los proyectos, que es el fin de los recursos provenientes de la Unidad General.

El enfoque metodológico que propongo *Figura 3.3.3*, surge de mi experiencia, el estudio de las asignaturas cursadas en la maestría en investigación de operaciones, y de las fuentes consultadas. De forma resumida, presento la metodología en la *figura 3.3.4*.

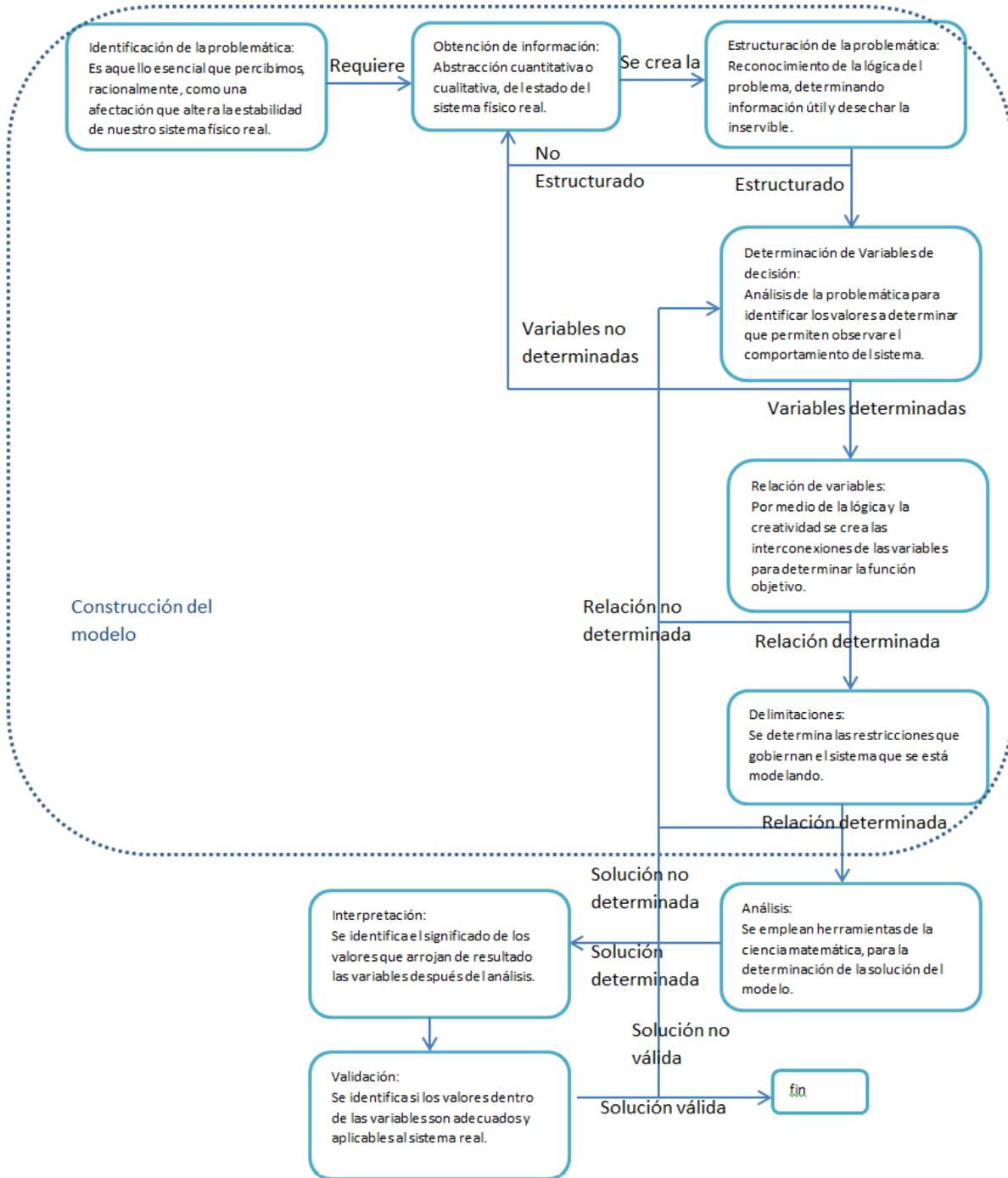


Figura 3.3.3 Enfoque metodológico a utilizar

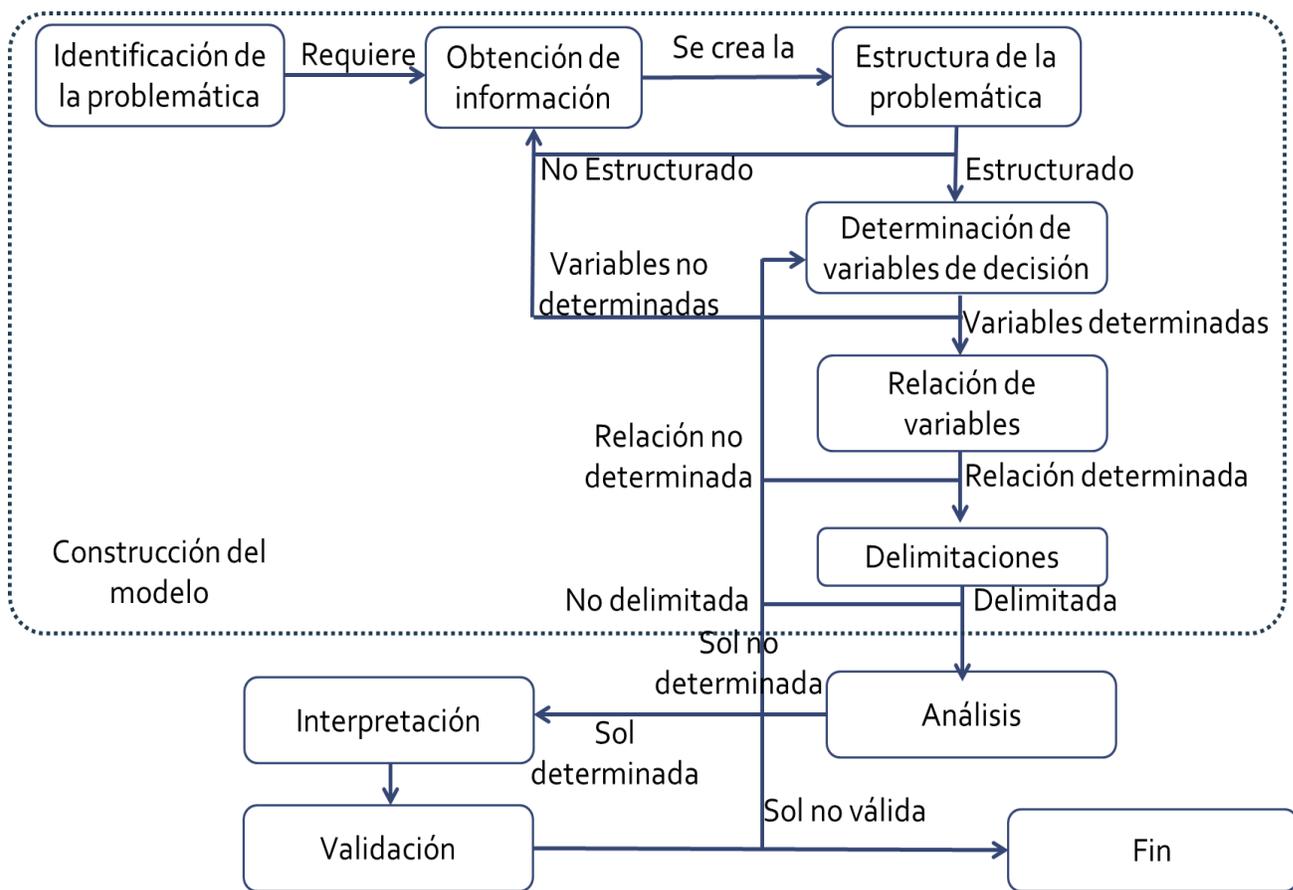


Figura 3.3.4 Resumen de metodología

La metodología considera tres etapas de modelación, la primera es la programación lineal, que determinó la asignación presupuestal, con base en datos históricos. En segunda, mediante la teoría de inventarios se calendarizaron los recursos obtenidos en un plan de asignación anual. Finalmente, mediante series de tiempo se pronosticó el presupuesto que la secretaría de hacienda y crédito público (SHCP), proporciona a la SCT, y se validarán los resultados del pronóstico, empleando lógica difusa.



Figura 3.3.5 Metodología específica

El desarrollo de la presente tesis requirió la creación de una programación de actividades, la cual permitió establecer un orden para el desarrollo de la misma, así como forjar un compromiso para el cumplimiento de actividades establecidas en la metodología propuesta para su creación.

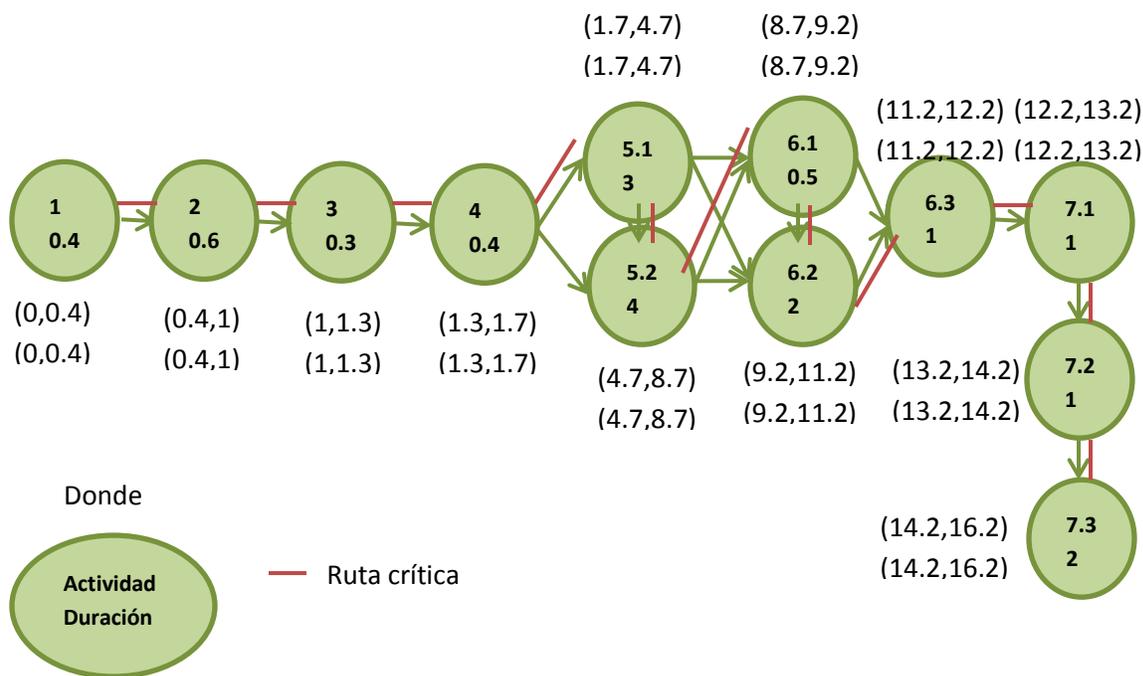
De acuerdo con la metodología propuesta, se realizaron las siguientes actividades:

1. Identificación de la problemática: (3 días)
Para la identificación de hechos, observados en la entidad en estudio
2. Estructuración de la problemática: (6 días)
Reconocer la lógica del problema determinado, se establecerá la información útil para el estudio y se desechó la irrelevante.
3. Planteamiento del problema: (3 días)
Se enunció el problema estructurado que se presentó en la entidad en estudio.
4. Elaboración de preguntas de la investigación: (2 días)
Se establecieron las preguntas para la investigación.
5. Construcción del marco teórico contextual: (7 semanas)
Se determinaron las condiciones de información con las que se contaba referente a la problemática que se estudió.
 - 5.1) Revisión de la literatura relevante a la investigación, proveniente de libros, artículos y documentación en general. (3 semanas)
 - 5.2) Selección de información relevante. (4 semanas)
6. Construcción del marco teórico: (3.5 semanas)
Se determinó el estado del arte esencial y las bases que se requirieron para sustentar la hipótesis de la investigación mediante las siguientes actividades:
 - 6.1) Establecimiento de la documentación requerida para la investigación. (4 días)
 - 6.2) Identificación del enfoque de cada autor ante la problemática estudiada. (2 semanas)
 - 6.3) Establecimiento del enfoque a utilizar en la investigación y la relación con la documentación requerida. (1 semanas)
7. Delimitación del marco metodológico. (4 semanas)
Considerado como una pieza fundamental para la investigación.
 - 7.1) Identificación del tipo de investigación. (1 semanas)
 - 7.2) Establecimiento de las aportaciones esperadas con el desarrollo de la investigación. (1 semanas)
 - 7.3) Diseño de la metodología utilizada para la realización de la investigación.(2 semanas)

De acuerdo a las actividades anteriormente descritas, se estableció la siguiente matriz de precedencias, la cual permitió dar un orden lógico a la realización de las actividades.

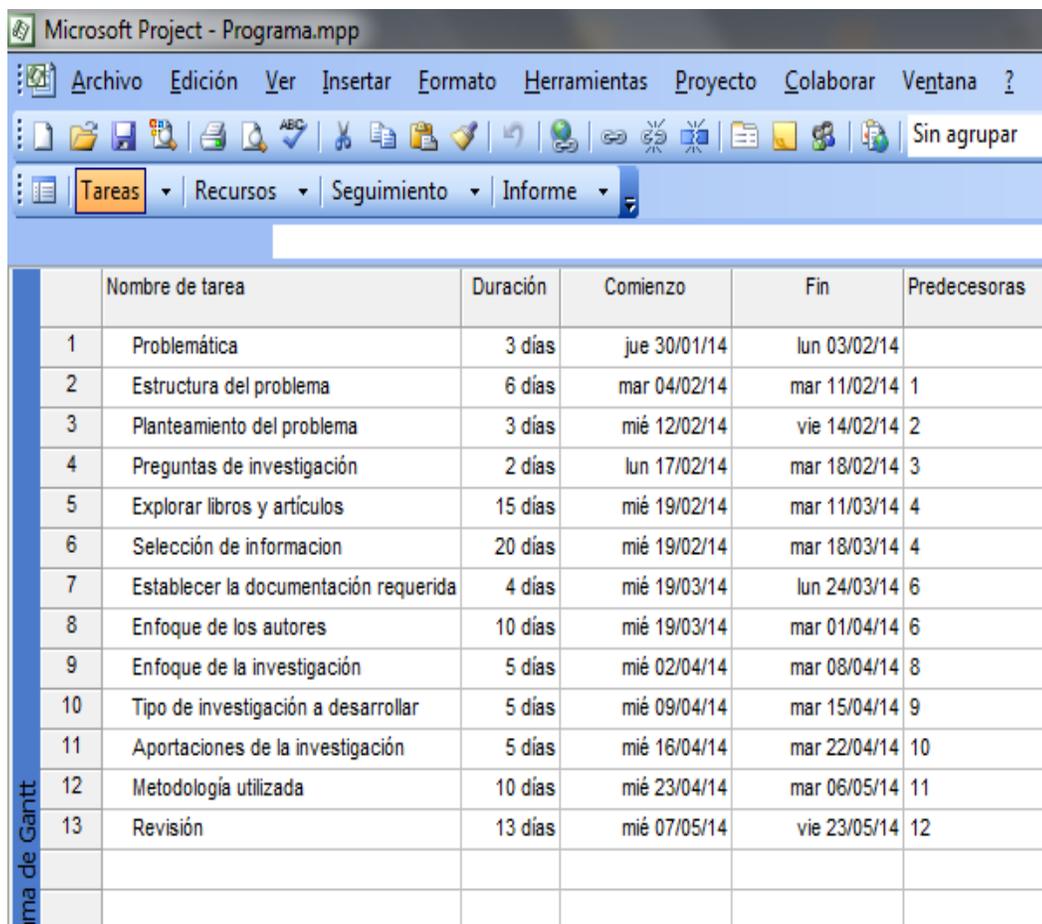
	1	2	3	4	5.1	5.2	6.1	6.2	6.3	7.1	7.2	7.3
1		X										
2			X									
3				X								
4					X	X						
5.1						X	X	X				
5.2							X	X				
6.1								X	X			
6.2									X			
6.3										X		
7.1											X	
7.2												X
7.3												

A partir de la matriz de actividades, se estableció la red de actividades, que permitió visualizar la secuencia a seguir. Además se determinó la ruta crítica de la realización de las actividades.



Mediante el diagrama de Gantt para la programación referente a las actividades antes mencionadas durante el periodo del 30 de enero al 23 de mayo de 2014. Para la elaboración del diagrama, se utilizó el paquete Project. Una vez que se completaron las actividades descritas

anteriormente se revisaron y mostraron a un comité formado por tres profesores, que dieron sus observaciones. En la *Figura 3.3.6*, se muestran los resultados, en una hoja de Project, en de forma tabular.



	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	Problemática	3 días	jue 30/01/14	lun 03/02/14	
2	Estructura del problema	6 días	mar 04/02/14	mar 11/02/14	1
3	Planteamiento del problema	3 días	mié 12/02/14	vie 14/02/14	2
4	Preguntas de investigación	2 días	lun 17/02/14	mar 18/02/14	3
5	Explorar libros y artículos	15 días	mié 19/02/14	mar 11/03/14	4
6	Selección de información	20 días	mié 19/02/14	mar 18/03/14	4
7	Establecer la documentación requerida	4 días	mié 19/03/14	lun 24/03/14	6
8	Enfoque de los autores	10 días	mié 19/03/14	mar 01/04/14	6
9	Enfoque de la investigación	5 días	mié 02/04/14	mar 08/04/14	8
10	Tipo de investigación a desarrollar	5 días	mié 09/04/14	mar 15/04/14	9
11	Aportaciones de la investigación	5 días	mié 16/04/14	mar 22/04/14	10
12	Metodología utilizada	10 días	mié 23/04/14	mar 06/05/14	11
13	Revisión	13 días	mié 07/05/14	vie 23/05/14	12

Figura 3.3.6 Tabla de programación de actividades

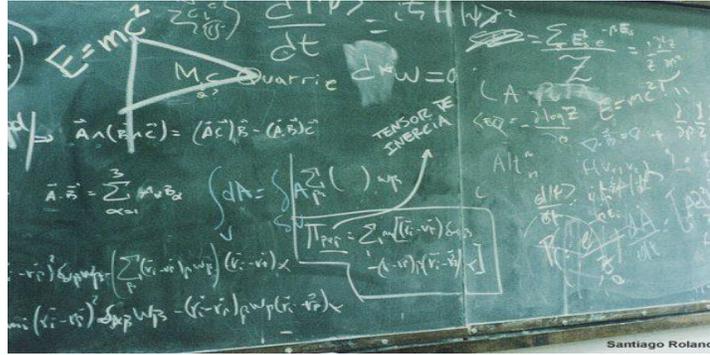
En el caso de las actividades que cuenten con sub-actividades, se describe únicamente las sub-actividades correspondientes en el programa.

PROPUESTA

CAPÍTULO IV



4.1 MODELACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA



De acuerdo a la problemática que fue planteada, para la elaboración de la presente investigación, es necesario determinar una política que permita distribuir de forma óptima los recursos disponibles que proporciona la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, a la Coordinación de las Oficinas Centrales, de tal forma que cada empresa contratada por las Unidades Generales tengan los recursos suficientes para sus proyectos encomendados.

Partiremos haciendo uso de las herramientas descritas en el capítulo 2 de la presente tesis, de tal forma que se determinará el modelo matemático más adecuado para la problemática presente. Iniciemos con la representación en forma de red de la problemática, planteándolo como un problema de asignación como se muestra en la *Figura 4.1.1*.

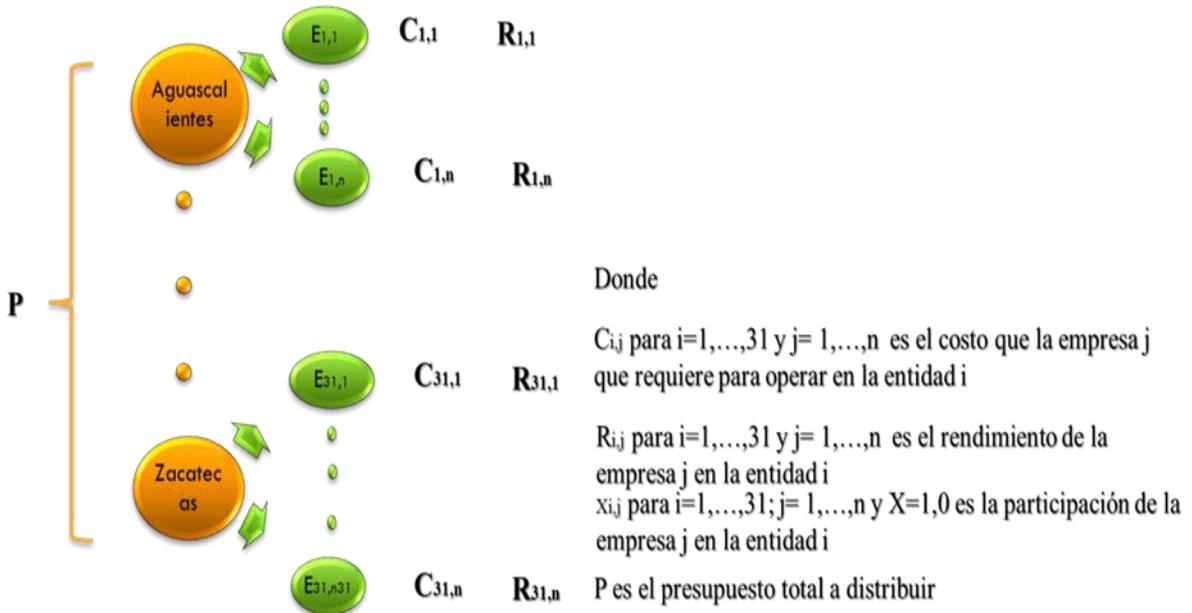


Figura 4.1.1 Esquema de distribución

En la *Figura 4.1.1* podemos observar que se tiene un presupuesto P , el cual se debe distribuir en las treinta y un Entidades Federativas (Aguascalientes a Zacatecas), las cuales a su vez deben distribuir esos recursos a las empresas que decidan contratar para la realización de trabajos de verificación de calidad. Dichas empresas tienen un costo C_{ij} y un rendimiento en proyecto $R_{i,j}$.

Los costos son los honorarios que determinan las empresas por la realización de sus proyectos, por lo que queda completamente definido por las empresas. El rendimiento se determinará con base en los datos históricos que se han generado en el tiempo que tiene la verificación de calidad, por lo que se iniciará por la determinación de este rendimiento.

Antes de iniciar con el cálculo del rendimiento cabe mencionar que algunas empresas varían de acuerdo a los proyectos que son normalmente de forma anual, además que el número de empresas por entidad no es el mismo en cada proyecto y que algunas empresas tienen la capacidad de realizar trabajos en más de una entidad. Por lo anterior el modelo matemático será presentado de la forma más general posible y se realizará un ejercicio para observar si se cumple con los objetivos requeridos en el planteamiento del problema.

Iniciemos con la determinación de los rendimientos requeridos para el modelo matemático, los cuales serán calculados con base en el ejercicio presupuestal realizado en el año 2012, de manera puntual en el mes de diciembre que es el cierre presupuestal en las Unidades Generales, para ello utilizaremos la siguiente *Expresión 4.1.1*.

$$R_{ij} = \frac{\text{Monto ejercido}}{\text{Monto adjudicado}} \times 100\% \dots \dots \text{Expresión 4.1.1}$$

Las siguientes tablas muestran los rendimientos de algunas de las entidades a manera de ejemplificar, sin embargo, el resto de las tablas se muestran en los anexos.

Aguascalientes			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
SISTEMAS Y CONTROL EN OBRAS SA DE CV	\$97,820.00	\$96,314.80	98.46%
SISTEMAS Y CONTROL EN OBRAS SA DE CV	\$575,130.90	\$534,587.97	92.95%
CORPORATIVO CONSTRUYE SA DE CV	\$291,612.40	\$235,967.20	80.92%
INGENIERÍA INTEGRAL Y CONTROL DE CALIDAD SA DE CV	\$368,182.84	\$109,737.16	29.81%
SISTEMAS Y CONTROL EN OBRAS SA DE CV	\$297,454.16	\$151,426.16	50.91%
CORPORATIVO CONSTRUYE SA DE CV	\$493,452.40	\$89,552.00	18.15%

Tabla 4.1.1, Rendimiento Aguascalientes

Baja California			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
LEOHER S DE R L DE C V	\$2,346,489.46	\$497,676.67	21.21%
IEMS CONSTRUCCIONES S.A. DE C.V.	\$1,746,329.38	\$522,869.87	29.94%

Tabla 4.1.2, Rendimiento Baja California

Baja California Sur			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
JOSE ANTONIO GUTIERREZ CERVANTES	\$3,519,412.83	\$2,335,051.11	66.35%

Tabla 4.1.3, Rendimiento Baja California Sur

Campeche			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
INGENIERIA Y PLANEACION PENINSULAR S. DE R.L DE C.V.	\$4,327,714.17	\$3,277,506.79	75.73%
INGENIERIA Y CONSULTORIA EN INFRAESTRUCTURA S.A DE C.V.	\$1,492,570.49	\$1,214,738.15	81.39%
INGENIERIA Y PLANEACION PENINSULAR S. DE R. L. DE C.V.	\$1,081,640.95	\$1,081,640.95	100.00%
INGENIERIA Y CONSULTORIA EN INFRAESTRUCTURA S.A DE C.V.	\$366,845.13	\$366,845.13	100.00%
CARLOS RAMON CACERES ZETINA	\$454,607.87		0.00%

Tabla 4.1.4, Rendimiento Campeche

Chiapas			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
LABORATORIO Y SUPERVISIÓN DE OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL S.C.	\$645,912.78	\$297,815.63	46.11%
GRUPO INTEGRADO POR: MANUEL MORALES GONZALEZ Y LABORATORIO Y SUPERVISION DE OBRAS DE INGENIERIA CIVIL, S.C.	\$1,478,371.27	\$1,046,042.56	70.76%
GRUPO MEGO, S.A. DE C.V.	\$1,573,229.94	\$873,827.11	55.54%

Tabla 4.1.5, Rendimiento Chiapas

Una vez determinados los rendimientos, pasaremos a la determinación de la preferencia entre las entidades federativas, definido por la importancia en cuanto a la longitud de red federal de la entidad, la extensión territorial y la importancia considerada por Oficinas Centrales.

El primero gráfico que se presenta en la *Figura 4.1.2*, se muestra la importancia de las entidades federativas en cuanto a la longitud de la red federal.

Unidades Generales	Km. de carreteras federales
Veracruz	3,428.00
Oaxaca	3,097.00
Chihuahua	2,815.00
Sonora	2,711.00
Chiapas	2,655.00
Jalisco	2,472.00
San Luis Potosí	2,303.70
Durango	2,292.00
Michoacán	2,180.42
Tamaulipas	2,137.00
Guerrero	1,910.00
Coahuila	1,718.00
Zacatecas	1,660.00
Baja California	1,568.00
Yucatán	1,411.00
Puebla	1,404.00
Campeche	1,381.00
Baja California Sur	1,249.00
Sinaloa	1,190.00
Nuevo León	1,167.00
Guanajuato	1,150.00
Quintana Roo	952.00
Hidalgo	931.80
México	731.60
Nayarit	662.90
Tabasco	596.00
Tlaxcala	564.20
Querétaro	533.00
Morelos	416.00
Colima	416.00
Aguascalientes	347.00
Total	48,049.62

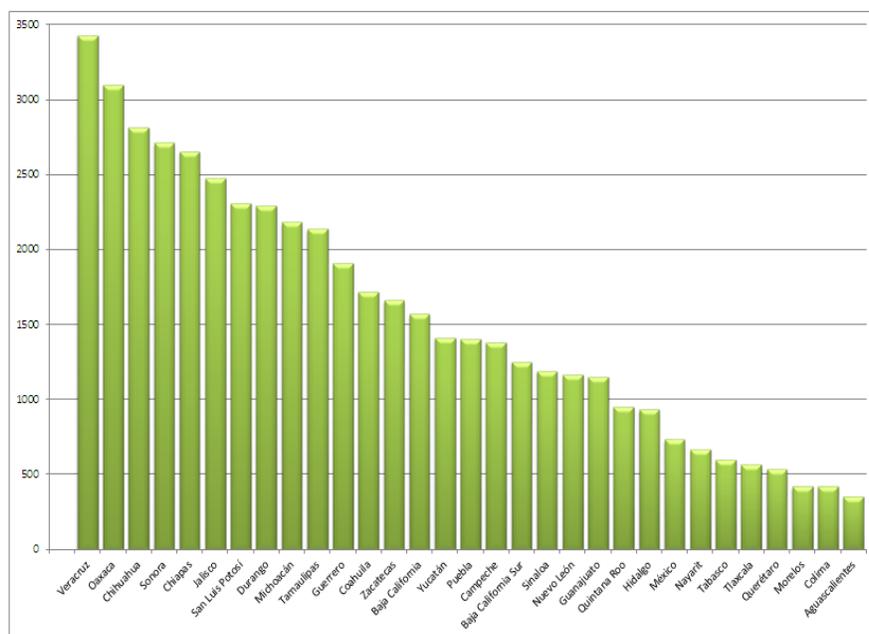


Figura 4.1.2 Importancia de entidades por longitud de carretera federal

El segundo gráfico que se presenta en la *figura 4.1.3*, muestra la importancia de las entidades en cuanto a la extensión territorial, respecto a la ubicación de las Unidades Generales.

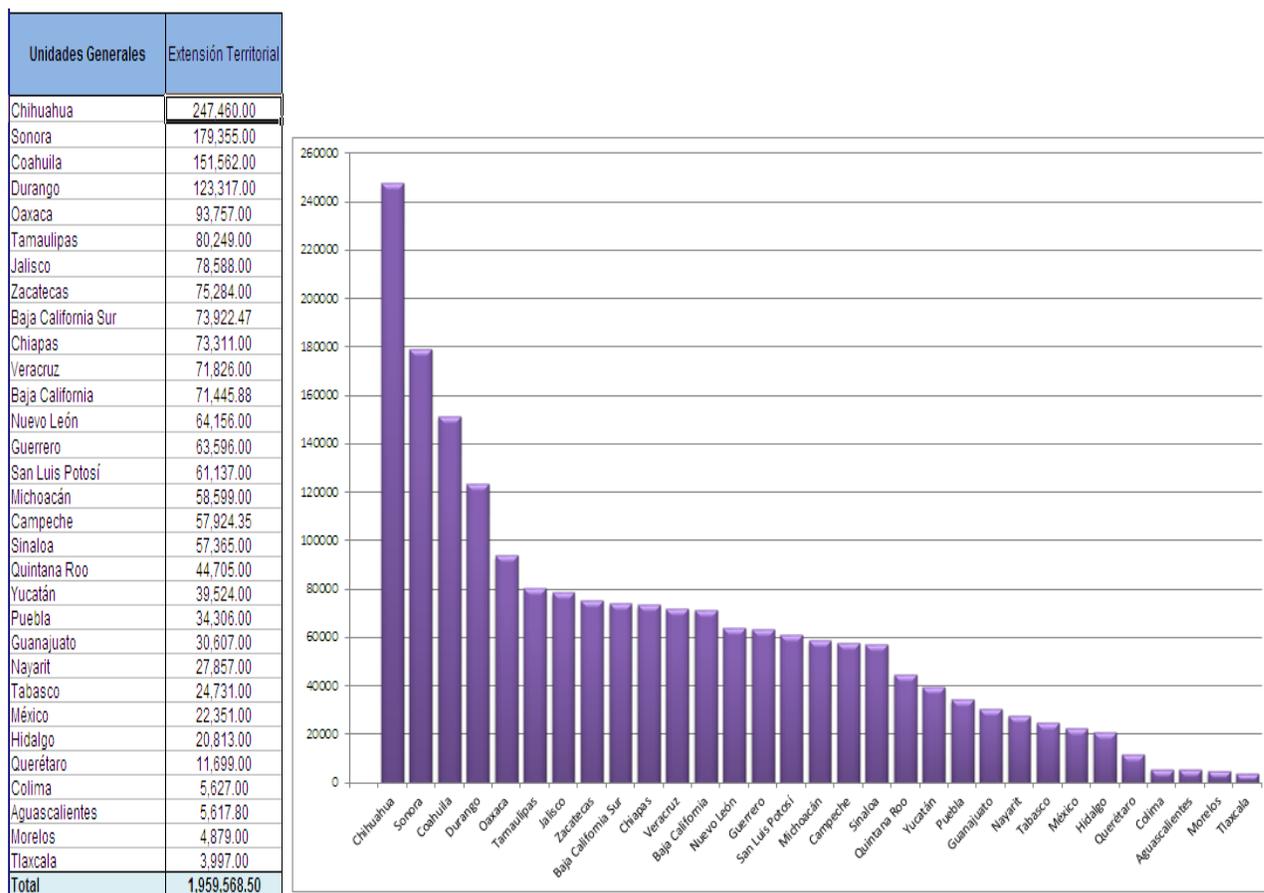


Figura 4.1.3, Importancia de entidades por extensión territorial

La siguiente gráfica muestra la importancia de las entidades federativas en cuanto a la consideración de las Oficinas Centrales, es importante su propuesta debido a que sería a criterio de las experiencias que se han tenido.

Unidades Generales	Inversión Carreteras Federales (miles de pesos)
Baja California Sur	1,050,000
Veracruz	957,700
Nuevo León	925,000
Oaxaca	865,500
México	831,900
Jalisco	796,000
Campeche	776,300
Tabasco	715,000
Yucatán	714,300
Colima	683,400
Sonora	663,800
Tlaxcala	657,000
Baja California	650,000
Sinaloa	650,000
Morelos	609,000
Michoacán	600,000
San Luis Potosí	540,100
Tamaulipas	528,700
Zacatecas	520,000
Guerrero	490,500
Hidalgo	482,000
Guanajuato	425,600
Chihuahua	392,000
Durango	390,000
Nayarit	374,500
Querétaro	313,100
Puebla	275,000
Quintana Roo	262,700
Aguascalientes	250,000
Chiapas	228,000
Coahuila	200,000
Total	17,817,100

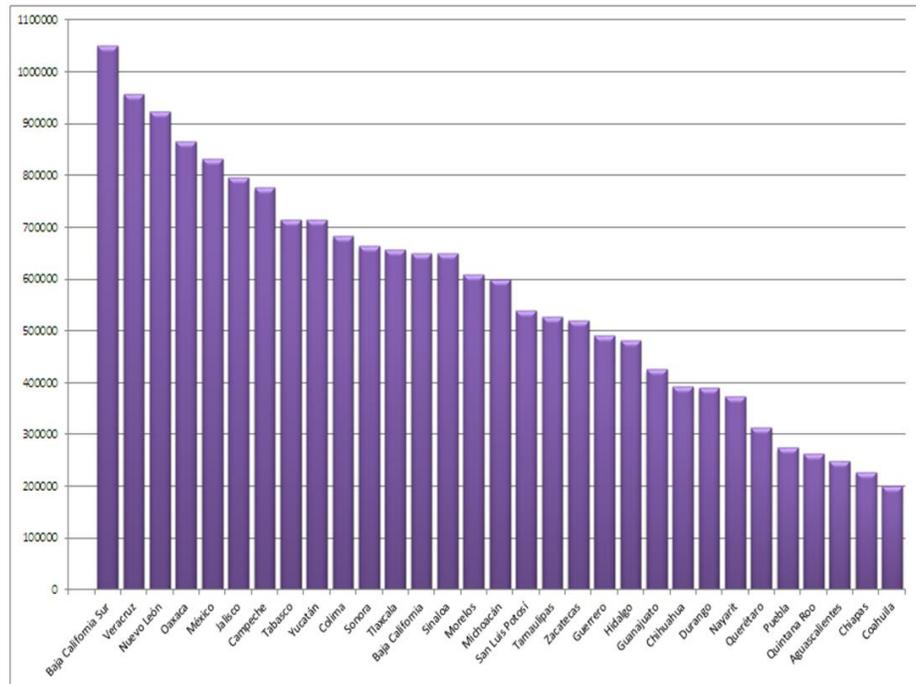


Figura 4.1.4, Importancia de entidades por criterio de Oficinas Centrales

Ahora es posible con los datos anteriores elaborar una tabla que concentra los datos que se requieren para la elaboración del modelo, el cual se presenta en forma general. La *Tabla 4.1.6*, muestra de forma más organizada la relación de las empresas de cada entidad federativa con respecto a su costo y rendimiento, como se muestra en las tablas anteriores algunas empresas se repiten en más de un estado y la mayoría de las empresas sólo son contratadas para una entidad, aunque en algunas ocasiones en única la empresa para varios trabajos de una entidad.

Empresa	Entidad 1		Entidad 2		...	Entidad 31	
1	C _{1,1}	R _{1,1}	C _{2,1}	R _{2,1}	...	C _{31,1}	R _{31,1}
2	C _{1,2}	R _{1,2}	C _{2,2}	R _{2,2}	...	C _{31,2}	R _{31,2}
...
n	C _{1,n}	R _{1,n}	C _{2,n}	R _{2,n}	...	C _{31,n}	R _{31,n}

Donde

C_{i,j} para i=1,...,31 y j= 1,...,n es el costo que la empresa j que requiere para operar en la entidad i

R_{i,j} para i=1,...,31 y j= 1,...,n es el rendimiento de la empresa j en la entidad i

X_{i,j} para i=1,...,31; j= 1,...,n y X=1,0 es la participación de la empresa j en la entidad i

P es el presupuesto total a distribuir

Tabla 4.1.6, datos generales del modelo

El modelo se construirá empleando un modelo de programación lineal para maximizar el rendimiento de las empresas, sujetas a los costos de las empresas contratadas y la importancia de las entidades, la variable de decisión será binaria, puesto que determinará si se contrata o no la empresa de esa entidad, además que será necesario contratar más de una empresa por cada unidad. Con ello la variable de decisión será:

Función Objetivo

$$\max z = \sum_{i=1}^{31} \sum_{j=1}^n R_{i,j} X_{i,j}$$

S.A.

Nivel de presupuesto

$$\sum_{i=1}^{31} \sum_{j=1}^n C_{i,j} X_{i,j} = P$$

Requerimientos mínimos

$$\left\{ \sum_{j=1}^{n_i} X_{i,j} \geq 1 \right\}; \forall i \in 1, 2, 3, \dots, 31$$

Importancia de estados de acuerdo a lo considerado por la Coordinación

$$\left\{ \sum_{j_k=1}^{n_k} C_{k,j_k} X_{k,j_k} - \sum_{j_l=1}^{n_l} C_{l,j_l} X_{l,j_l} > 0 \right\};$$

$\forall \{l, k\} \in$

$$\left\{ \begin{array}{l} \{3,29\}, \{29,18\}, \{18,19\}, \{19,14\}, \{14,13\}, \{13,4\}, \{4,26\}, \{26,30\}, \{30,6\}, \{6,25\}, \\ \{25,28\}, \{28,2\}, \{2,24\}, \{24,16\}, \{16,15\}, \{15,23\}, \{23,27\}, \{27,31\}, \{31,11\}, \{11,12\}, \{12,10\}, \{10,8\}, \\ \{8,9\}, \{9,17\}, \{17,21\}, \{21,20\}, \{20,22\}, \{22,1\}, \{1,7\}, \{7,5\} \end{array} \right\}$$

Restricción de variable de decisión:

$$X_{i,j} = \{0,1\}$$

Donde

$C_{i,j}$ Para $i=1, \dots, 31$ y $j= 1, \dots, n$ es el costo que la empresa j requiere para operar en la entidad i

$R_{i,j}$ Para $i=1, \dots, 31$ y $j= 1, \dots, n$ es el rendimiento de la empresa j en la entidad i

$X_{i,j}$ Para $i=1, \dots, 31$; $j= 1, \dots, n$ y $X=1,0$ es la participación de la empresa j en la entidad i

P es el presupuesto total a distribuir

n_l, n_k Son el número total de empresas para cada entidad de forma respectiva

Ahora determinaremos un modelo matemático basado en la teoría de inventarios por multiescalón.

Una vez determinadas las empresas a contratar por cada entidad respecto a su rendimiento, se puede determinar la demanda monetaria para cada una de las Unidades Generales, además se considerará el costo por ordenar como el sueldo de los analistas más el costo del estudio y el costo por mantener que es un porcentaje de la demanda, que es una penalización por mantener el dinero inactivo, ambos costos serán respecto a la *tabla 6.2.1*.

Costo por ordenar		regional	central
Analista	\$20,000.00 costo anual	2	4
Estudio	\$10,000.00 costo anual	1	1
Mantener	30.00% de demanda		

Tabla 4.1.7 Consideración de costos

Tomando en cuenta la demanda y los costos antes mencionados se genera la *tabla 4.1.8* la cual es necesaria para aplicar el modelo de inventarios por escalones:

Entidad	Demanda	Costo por ordenar	Costo por mantener
	Di	hi	ki
Oficinas centrales	\$118,563,310.31	\$90,000.00	\$35,568,993.09
Aguascalientes	\$2,123,652.70	\$50,000.00	\$637,095.81
Baja California	\$1,746,329.38	\$50,000.00	\$523,898.81
Baja California Sur	\$3,519,412.83	\$50,000.00	\$1,055,823.85
Campeche	\$7,268,770.74	\$50,000.00	\$2,180,631.22
Coahuila	\$2,538,116.36	\$50,000.00	\$761,434.91
Colima	\$1,854,624.49	\$50,000.00	\$556,387.35
Chiapas	\$3,697,513.99	\$50,000.00	\$1,109,254.20
Chihuahua	\$3,846,951.26	\$50,000.00	\$1,154,085.38
Durango	\$8,295,097.05	\$50,000.00	\$2,488,529.12
Guanajuato	\$2,590,889.01	\$50,000.00	\$777,266.70
Guerrero	\$736,244.40	\$50,000.00	\$220,873.32
Hidalgo	\$5,355,275.58	\$50,000.00	\$1,606,582.67
Jalisco	\$5,941,557.99	\$50,000.00	\$1,782,467.40
México	\$2,017,270.77	\$50,000.00	\$605,181.23
Michoacán	\$4,786,905.16	\$50,000.00	\$1,436,071.55
Morelos	\$3,802,787.11	\$50,000.00	\$1,140,836.13
Nayarit	\$2,532,520.61	\$50,000.00	\$759,756.18
Nuevo León	\$12,580,003.31	\$50,000.00	\$3,774,000.99
Oaxaca	\$7,801,458.86	\$50,000.00	\$2,340,437.66
Puebla	\$325,666.30	\$50,000.00	\$97,699.89
Querétaro	\$2,644,178.25	\$50,000.00	\$793,253.48
Quintana Roo	\$4,327,553.51	\$50,000.00	\$1,298,266.05
San Luis Potosí	\$1,873,135.67	\$50,000.00	\$561,940.70
Sinaloa	\$3,408,198.55	\$50,000.00	\$1,022,459.57
Sonora	\$5,553,345.20	\$50,000.00	\$1,666,003.56
Tabasco	\$4,476,120.34	\$50,000.00	\$1,342,836.10
Tamaulipas	\$258,077.56	\$50,000.00	\$77,423.27
Tlaxcala	\$1,681,172.86	\$50,000.00	\$504,351.86
Veracruz	\$1,666,952.56	\$50,000.00	\$500,085.77
Yucatán	\$3,854,900.91	\$50,000.00	\$1,156,470.27
Zacatecas	\$5,458,627.00	\$50,000.00	\$1,637,588.10

Tabla 4.1.8 Demanda y costos

4.2 SOLUCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO



Finalmente elaboraremos un ejercicio con los datos determinados considerando el modelo de programación lineal y las tablas anteriormente determinadas, donde se encuentran los costos y rendimientos de cada una de las unidades.

Debido a que el modelo es sumamente grande únicamente se mostraran los datos que se ingresaron al modelo, tomando en cuenta una inversión de **\$120, 000,000.00** para el ejercicio presupuestal referente al año 2013:

		C	R
Aguascalientes	x1,1	97,820.00	0.98
	x1,2	575,130.90	0.93
	x1,3	291,612.40	0.81
	x1,4	368,182.84	0.30
	x1,5	297,454.16	0.51
	x1,6	493,452.40	0.18
Baja California	x2,1	2,346,489.46	0.21
	x2,2	1,746,329.38	0.30
Baja California Sur	x3,1	3,519,412.83	0.66
Campeche	x4,1	4,327,714.17	0.76
	x4,2	1,492,570.49	0.81
	x4,3	1,081,640.95	1.00
	x4,4	366,845.13	1.00
	x4,5	454,607.87	0.00
Coahuila	x5,1	1,997,998.35	0.82
	x5,2	540,118.01	0.82
Colima	x6,1	565,138.56	0.89
	x6,2	739,912.90	0.71
	x6,3	549,573.03	0.52

Chiapas	x7,1	645,912.78	0.46
	x7,2	1,478,371.27	0.71
	x7,3	1,573,229.94	0.56
Chihuahua	x8,1	99,931.69	1.00
	x8,2	103,886.39	1.00
	x8,3	70,783.20	1.00
	x8,4	177,992.89	1.00
	x8,5	627,087.78	0.64
	x8,6	613,899.23	0.35
	x8,7	635,383.32	0.37
	x8,8	601,054.00	0.31
	x8,9	536,359.96	0.47
	x8,10	451,356.00	0.42
Durango	x9,1	2,559,332.59	0.78
	x9,2	5,034,482.50	0.79
	x9,3	701,281.96	1.00
Guanajuato	x10,1	889,408.57	1.00
	x10,2	1,150,572.38	1.00
	x10,3	550,908.06	1.00

Tabla 4.2.1 Variables de entrada para el modelo de PL

Al resolver el modelo matemático empleando el paquete Excel con solver, se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación:

Nombre	Valor original	Valor final	Entero
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución x1,2	0.00	1.00	Binario
Solución x1,3	0.00	1.00	Binario
Solución x1,4	0.00	1.00	Binario
Solución x1,5	0.00	1.00	Binario
Solución x1,6	0.00	1.00	Binario
Solución x2,1	0.00	0.00	Binario
Solución x2,2	0.00	1.00	Binario
Solución x3,1	0.00	1.00	Binario
Solución x4,1	0.00	1.00	Binario
Solución x4,2	0.00	1.00	Binario
Solución x4,3	0.00	1.00	Binario
Solución x4,4	0.00	1.00	Binario
Solución x4,5	0.00	0.00	Binario
Solución x5,1	0.00	1.00	Binario
Solución x5,2	0.00	1.00	Binario
Solución x6,1	0.00	1.00	Binario

Solución x6,2	0.00	1.00	Binario
Solución x6,3	0.00	1.00	Binario
Solución x7,1	0.00	1.00	Binario
Solución x7,2	0.00	1.00	Binario
Solución x7,3	0.00	1.00	Binario
Solución x8,1	0.00	1.00	Binario
Solución x8,2	0.00	1.00	Binario
Solución x8,3	0.00	0.00	Binario
Solución x8,4	0.00	1.00	Binario
Solución x8,5	0.00	1.00	Binario
Solución x8,6	0.00	1.00	Binario
Solución x8,7	0.00	1.00	Binario
Solución x8,8	0.00	1.00	Binario
Solución x8,9	0.00	1.00	Binario
Solución x8,10	0.00	1.00	Binario
Solución x9,1	0.00	1.00	Binario
Solución x9,2	0.00	1.00	Binario
Solución x9,3	0.00	1.00	Binario
Solución x10,1	0.00	1.00	Binario
Solución x10,2	0.00	1.00	Binario
Solución x10,3	0.00	1.00	Binario
Solución x11,1	0.00	0.00	Binario
Solución x11,2	0.00	1.00	Binario
Solución x11,3	0.00	0.00	Binario
Solución x12,1	0.00	1.00	Binario
Solución x12,2	0.00	1.00	Binario
Solución x12,3	0.00	0.00	Binario
Solución x12,4	0.00	1.00	Binario
Solución x12,5	0.00	1.00	Binario
Solución x12,6	0.00	1.00	Binario
Solución x13,1	0.00	1.00	Binario
Solución x13,2	0.00	1.00	Binario
Solución x13,3	0.00	1.00	Binario
Solución x13,4	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	0.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	0.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario

Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	0.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	0.00	Binario
Solución x18,6	0.00	1.00	Binario
Solución x19,1	0.00	1.00	Binario
Solución x19,2	0.00	1.00	Binario
Solución x20,1	0.00	0.00	Binario
Solución x20,2	0.00	1.00	Binario
Solución x21,1	0.00	1.00	Binario
Solución x21,2	0.00	1.00	Binario
Solución x22,1	0.00	1.00	Binario
Solución x22,2	0.00	1.00	Binario
Solución x22,3	0.00	1.00	Binario
Solución x22,4	0.00	0.00	Binario
Solución x23,1	0.00	1.00	Binario
Solución x23,2	0.00	0.00	Binario
Solución x23,3	0.00	0.00	Binario
Solución x23,4	0.00	0.00	Binario
Solución x24,1	0.00	1.00	Binario
Solución x24,2	0.00	1.00	Binario
Solución x24,3	0.00	1.00	Binario
Solución x24,4	0.00	1.00	Binario
Solución x25,1	0.00	1.00	Binario
Solución x25,2	0.00	1.00	Binario
Solución x25,3	0.00	1.00	Binario
Solución x25,4	0.00	1.00	Binario
Solución x26,1	0.00	1.00	Binario
Solución x26,2	0.00	1.00	Binario
Solución x26,3	0.00	1.00	Binario
Solución x26,4	0.00	0.00	Binario
Solución x27,1	0.00	1.00	Binario
Solución x27,2	0.00	0.00	Binario
Solución x27,3	0.00	0.00	Binario
Solución x28,1	0.00	0.00	Binario
Solución x28,2	0.00	1.00	Binario

Solución ≥ 0	0.00	0.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	0.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario
Solución ≥ 0	0.00	1.00	Binario

Tabla 4.2.2 Solución del modelo de PL

Con la solución planteada se cubre la inversión de **\$120,000,000.00**, y al ser un modelo de programación lineal binario, no presenta análisis de sensibilidad ni modelo dual.

Partamos del modelo de la teoría de inventarios por multiescalones los cuales fueron descritos en el punto 2.5 y cuyos datos requeridos fueron obtenidos en el punto anterior. Se elabora una hoja de cálculo para facilitar el análisis en donde se obtiene h' , g y las relaciones requeridas, es necesario recordar que:

$$h'_i = h_0 - h_i \quad g_i = \frac{1}{2} D_i h'_i$$

Entidad	i	Demanda	Ordenar	mantener	h'i	gi	ki/gi × 10 ⁻¹²	Orden i'
		Di	ki	hi				
Oficinas centrales	0	\$118,563,310.31	\$90,000.00	\$35,568,993.09	\$35,568,993.09	2.11E+15	42.68	
Aguascalientes	1	\$2,123,652.70	\$50,000.00	\$637,095.81	\$34,931,897.28	3.71E+13	1348.01	22
Baja California	2	\$1,746,329.38	\$50,000.00	\$523,898.81	\$35,045,094.28	3.06E+13	1633.98	26
Baja California Sur	3	\$3,519,412.83	\$50,000.00	\$1,055,823.85	\$34,513,169.24	6.07E+13	823.28	16
Campeche	4	\$7,268,770.74	\$50,000.00	\$2,180,631.22	\$33,388,361.87	1.21E+14	412.04	4
Coahuila	5	\$2,538,116.36	\$50,000.00	\$761,434.91	\$34,807,558.19	4.42E+13	1131.92	20
Colima	6	\$1,854,624.49	\$50,000.00	\$556,387.35	\$35,012,605.75	3.25E+13	1540.00	25
Chiapas	7	\$3,697,513.99	\$50,000.00	\$1,109,254.20	\$34,459,738.90	6.37E+13	784.83	15
Chihuahua	8	\$3,846,951.26	\$50,000.00	\$1,154,085.38	\$34,414,907.72	6.62E+13	755.33	13
Durango	9	\$8,295,097.05	\$50,000.00	\$2,488,529.12	\$33,080,463.98	1.37E+14	364.42	2
Guanajuato	10	\$2,590,889.01	\$50,000.00	\$777,266.70	\$34,791,726.39	4.51E+13	1109.37	19
Guerrero	11	\$736,244.40	\$50,000.00	\$220,873.32	\$35,348,119.77	1.30E+13	3842.48	29
Hidalgo	12	\$5,355,275.58	\$50,000.00	\$1,606,582.67	\$33,962,410.42	9.09E+13	549.82	8
Jalisco	13	\$5,941,557.99	\$50,000.00	\$1,782,467.40	\$33,786,525.70	1.00E+14	498.15	5
México	14	\$2,017,270.77	\$50,000.00	\$605,181.23	\$34,963,811.86	3.53E+13	1417.81	23
Michoacán	15	\$4,786,905.16	\$50,000.00	\$1,436,071.55	\$34,132,921.55	8.17E+13	612.03	9
Morelos	16	\$3,802,787.11	\$50,000.00	\$1,140,836.13	\$34,428,156.96	6.55E+13	763.81	14
Nayarit	17	\$2,532,520.61	\$50,000.00	\$759,756.18	\$34,809,236.91	4.41E+13	1134.36	21
Nuevo León	18	\$12,580,003.31	\$50,000.00	\$3,774,000.99	\$31,794,992.10	2.00E+14	250.01	1
Oaxaca	19	\$7,801,458.86	\$50,000.00	\$2,340,437.66	\$33,228,555.44	1.30E+14	385.76	3
Puebla	20	\$325,666.30	\$50,000.00	\$97,699.89	\$35,471,293.20	5.78E+12	8656.66	30
Querétaro	21	\$2,644,178.25	\$50,000.00	\$793,253.48	\$34,775,739.62	4.60E+13	1087.51	18
Quintana Roo	22	\$4,327,553.51	\$50,000.00	\$1,298,266.05	\$34,270,727.04	7.42E+13	674.27	11
San Luis Potosí	23	\$1,873,135.67	\$50,000.00	\$561,940.70	\$35,007,052.39	3.28E+13	1525.02	24
Sinaloa	24	\$3,408,198.55	\$50,000.00	\$1,022,459.57	\$34,546,533.53	5.89E+13	849.32	17
Sonora	25	\$5,553,345.20	\$50,000.00	\$1,666,003.56	\$33,902,989.53	9.41E+13	531.14	6
Tabasco	26	\$4,476,120.34	\$50,000.00	\$1,342,836.10	\$34,226,156.99	7.66E+13	652.74	10
Tamaulipas	27	\$258,077.56	\$50,000.00	\$77,423.27	\$35,491,569.83	4.58E+12	10917.53	31
Tlaxcala	28	\$1,681,172.86	\$50,000.00	\$504,351.86	\$35,064,641.24	2.95E+13	1696.36	27
Veracruz	29	\$1,666,952.56	\$50,000.00	\$500,085.77	\$35,068,907.33	2.92E+13	1710.62	28
Yucatán	30	\$3,854,900.91	\$50,000.00	\$1,156,470.27	\$34,412,522.82	6.63E+13	753.82	12
Zacatecas	31	\$5,458,627.00	\$50,000.00	\$1,637,588.10	\$33,931,404.99	9.26E+13	539.90	7

Tabla 4.2.3 Análisis de inventario por escalones

Utilizando la *tabla 4.1.7*, podemos construir una nueva tabla con el análisis indicado en la metodología descrita para la determinación del punto de reorden, recuerde que se requiere crear dos conjuntos, en el primero se encontrarán todas las unidades que compartirán el punto de reorden, es decir el depósito que se les realizará y en el segundo conjunto se mostrarán las unidades cuyo depósito será en un momento distinto. Haciendo uso de una hoja de cálculo se facilitarán las operaciones y se mostrará dentro de la *tabla 4.2.4* con un “si” a las unidades cuyo punto de reorden será el mismo el cual se calculará enseguida.

Entidad	i'	k'i	g'i	$\frac{k_i/g_i}{\times 10^{-12}}$	$\sum_{i=31}^1 \frac{k_o + k'_i}{g_o + g'_i}$	Mayor?
Oficinas centrales	0	\$90,000.00	2.11E+15	42.68		
Tamaulipas	31	\$50,000.00	4.58E+12	10917.53	42.68	si
Puebla	30	\$50,000.00	5.78E+12	8656.66	66.25	si
Guerrero	29	\$50,000.00	1.30E+13	3842.48	89.67	si
Veracruz	28	\$50,000.00	2.92E+13	1710.62	112.57	si
Tlaxcala	27	\$50,000.00	2.95E+13	1696.36	134.19	si
Baja California	26	\$50,000.00	3.06E+13	1633.98	155.20	si
Colima	25	\$50,000.00	3.25E+13	1540.00	175.58	si
San Luis Potosí	24	\$50,000.00	3.28E+13	1525.02	195.23	si
México	23	\$50,000.00	3.53E+13	1417.81	214.30	si
Aguascalientes	22	\$50,000.00	3.71E+13	1348.01	232.58	si
Nayarit	21	\$50,000.00	4.41E+13	1134.36	250.12	si
Coahuila	20	\$50,000.00	4.42E+13	1131.92	266.34	si
Guanajuato	19	\$50,000.00	4.51E+13	1109.37	281.96	si
Querétaro	18	\$50,000.00	4.60E+13	1087.51	296.93	si
Sinaloa	17	\$50,000.00	5.89E+13	849.32	311.25	si
Baja California Sur	16	\$50,000.00	6.07E+13	823.28	323.45	si
Chiapas	15	\$50,000.00	6.37E+13	784.83	334.87	si
Morelos	14	\$50,000.00	6.55E+13	763.81	345.40	si
Chihuahua	13	\$50,000.00	6.62E+13	755.33	355.23	si
Yucatán	12	\$50,000.00	6.63E+13	753.82	364.51	si
Quintana Roo	11	\$50,000.00	7.42E+13	674.27	373.36	si
Tabasco	10	\$50,000.00	7.66E+13	652.74	380.81	si
Michoacán	9	\$50,000.00	8.17E+13	612.03	387.59	si
Hidalgo	8	\$50,000.00	9.09E+13	549.82	393.41	si
Zacatecas	7	\$50,000.00	9.26E+13	539.90	397.80	si
Sonora	6	\$50,000.00	9.41E+13	531.14	401.74	si
Jalisco	5	\$50,000.00	1.00E+14	498.15	405.29	si
Campeche	4	\$50,000.00	1.21E+14	412.04	407.93	si
Oaxaca	3	\$50,000.00	1.30E+14	385.76	408.07	no
Durango	2	\$50,000.00	1.37E+14	364.42		
Nuevo León	1	\$50,000.00	2.00E+14	250.01		

Tabla 4.2.4 Determinación de unidades que comparten punto de reorden

Todas las unidades que se muestran con un “si”, tendrán el punto de reorden:

$$T = \sqrt{408.07 \times 10^{-3}} = 0.64 \text{ años} = 34 \text{ semanas}$$

La unidad de Durango tendrá un punto de reorden de:

$$T = \sqrt{364.42 \times 10^{-3}} = 0.60 \text{ años} = 32 \text{ semanas}$$

La unidad de nuevo león tendrá un punto de reorden de:

$$T = \sqrt{250.01 \times 10^{-3}} = 0.50 \text{ años} = 26 \text{ semanas}$$

La cantidad a ordenar para cada unidad se obtiene con el modelo EOQ para cada una de las unidades generales, dicho análisis se muestra en la tabla 4.2.5:

Entidad	i	Demanda	Ordenar	mantener	Q* unidades
		Di	ki	hi	
Aguascalientes	1	\$2,123,652.70	\$50,000.00	\$637,095.81	577.35
Baja California	2	\$1,746,329.38	\$50,000.00	\$523,898.81	577.35
Baja California Sur	3	\$3,519,412.83	\$50,000.00	\$1,055,823.85	577.35
Campeche	4	\$7,268,770.74	\$50,000.00	\$2,180,631.22	577.35
Coahuila	5	\$2,538,116.36	\$50,000.00	\$761,434.91	577.35
Colima	6	\$1,854,624.49	\$50,000.00	\$556,387.35	577.35
Chiapas	7	\$3,697,513.99	\$50,000.00	\$1,109,254.20	577.35
Chihuahua	8	\$3,846,951.26	\$50,000.00	\$1,154,085.38	577.35
Durango	9	\$8,295,097.05	\$50,000.00	\$2,488,529.12	577.35
Guanajuato	10	\$2,590,889.01	\$50,000.00	\$777,266.70	577.35
Guerrero	11	\$736,244.40	\$50,000.00	\$220,873.32	577.35
Hidalgo	12	\$5,355,275.58	\$50,000.00	\$1,606,582.67	577.35
Jalisco	13	\$5,941,557.99	\$50,000.00	\$1,782,467.40	577.35
México	14	\$2,017,270.77	\$50,000.00	\$605,181.23	577.35
Michoacán	15	\$4,786,905.16	\$50,000.00	\$1,436,071.55	577.35
Morelos	16	\$3,802,787.11	\$50,000.00	\$1,140,836.13	577.35
Nayarit	17	\$2,532,520.61	\$50,000.00	\$759,756.18	577.35
Nuevo León	18	\$12,580,003.31	\$50,000.00	\$3,774,000.99	577.35
Oaxaca	19	\$7,801,458.86	\$50,000.00	\$2,340,437.66	577.35
Puebla	20	\$325,666.30	\$50,000.00	\$97,699.89	577.35
Querétaro	21	\$2,644,178.25	\$50,000.00	\$793,253.48	577.35
Quintana Roo	22	\$4,327,553.51	\$50,000.00	\$1,298,266.05	577.35
San Luis Potosí	23	\$1,873,135.67	\$50,000.00	\$561,940.70	577.35
Sinaloa	24	\$3,408,198.55	\$50,000.00	\$1,022,459.57	577.35
Sonora	25	\$5,553,345.20	\$50,000.00	\$1,666,003.56	577.35
Tabasco	26	\$4,476,120.34	\$50,000.00	\$1,342,836.10	577.35
Tamaulipas	27	\$258,077.56	\$50,000.00	\$77,423.27	577.35
Tlaxcala	28	\$1,681,172.86	\$50,000.00	\$504,351.86	577.35
Veracruz	29	\$1,666,952.56	\$50,000.00	\$500,085.77	577.35
Yucatán	30	\$3,854,900.91	\$50,000.00	\$1,156,470.27	577.35
Zacatecas	31	\$5,458,627.00	\$50,000.00	\$1,637,588.10	577.35

Tabla 4.2.5 Determinación de cantidad a ordenar

Observe que la cantidad a ordenar es la misma, esto se debe a que el costo por ordenar es el mismo para todas las unidades y el de adquirir es un porcentaje de la demanda, por lo que el modelo solo depende del costo por ordenar y este es constante.

Finalmente se mostrará a manera de ejemplo como determinar el pronóstico mediante series de tiempo de posibles demandas de parte de los estados para años subsecuentes, para esto se tomará los datos históricos pertenecientes a los proyectos de verificación del estado de Guanajuato.

El primer estudio se realizará con la regla del 25%, se toma en cuenta años de 10 meses por lo que se considera un periodo de 10, para un total de 30 datos se utiliza la metodología descrita en el libro (Hillier S., 2010) obteniendo un error promedio MAD de 847,991.22. En la *tabla 4.3.6* se muestra el desarrollo.

Periodo	10	
No. datos	30	< 500

Dato	Año	Periodo	Dato	Pronostico	Error
1	1	1	0.00		
2	1	2	0.00	0.00	
3	1	3	0.00	0.00	
4	1	4	0.00	0.00	
5	1	5	0.00	0.00	
6	1	6	574,395.33	0.00	574,395.33
7	1	7	961,874.80	574,395.33	387,479.47
8	1	8	1,136,224.38	961,874.80	174,349.58
9	1	9	2,080,088.92	1,136,224.38	943,864.54
10	1	10	2,695,804.39	2,600,111.15	95,693.24
11	2	1	790,106.16	2,156,643.51	1,366,537.35
12	2	2	961,291.95	790,106.16	171,185.79
13	2	3	1,213,591.95	961,291.95	252,300.00
14	2	4	1,861,884.03	1,213,591.95	648,292.08
15	2	5	2,562,184.13	1,861,884.03	700,300.10
16	2	6	3,103,552.22	2,562,184.13	541,368.09
17	2	7	4,383,009.73	3,103,552.22	1,279,457.51
18	2	8	6,042,160.29	4,383,009.73	1,659,150.56
19	2	9	6,042,160.29	6,042,160.29	0.00
20	2	10	9,659,726.71	7,552,700.36	2,107,026.35
21	3	1	0.00	7,727,781.37	
22	3	2	0.00	0.00	
23	3	3	0.00	0.00	
24	3	4	0.00	0.00	
25	3	5	1,510,640.77	0.00	1,510,640.77
26	3	6	1,510,640.77	1,510,640.77	0.00
27	3	7	4,302,497.47	1,510,640.77	2,791,856.70
28	3	8	5,525,132.47	4,302,497.47	1,222,635.00
29	3	9	5,525,132.47	5,525,132.47	0.00
30	3	10	5,525,132.47	6,906,415.59	1,381,283.12

Error promedio

MAD= 847,991.22

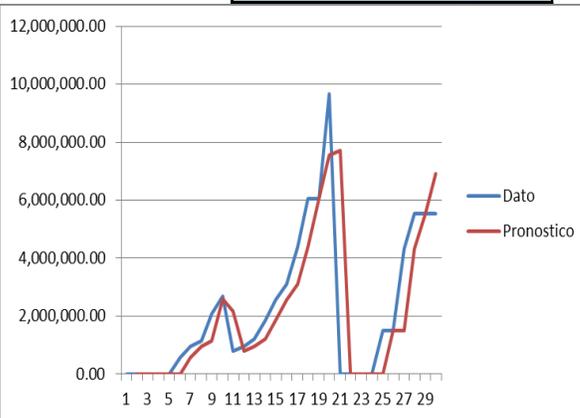


Tabla 4.3.6 Regla del 20%

El siguiente análisis se realizan para los mismos datos, pero empleando la metodología de la estacionalidad, de la misma manera se considera un periodo de 10 meses por año para un total de 30 datos, resultado un error promedio de 818,420.12. La metodología se muestra en la *Tabla 4.3.7*.

Dato	Año	Periodo	Dato	Factor	Estacional	P Estacion	Pronostico	Error
1	1	1		0.11				
2	1	2		0.14				
3	1	3		0.18				
4	1	4		0.27				
5	1	5		0.59				
6	1	6	574,395.33	0.75	762,039.93			574,395.33
7	1	7	961,874.80	1.40	686,317.56	762,039.93	1,067,999.78	106,124.98
8	1	8	1,136,224.38	1.85	615,681.59	686,317.56	1,266,581.24	130,356.86
9	1	9	2,080,088.92	1.98	1,049,176.62	615,681.59	1,220,645.24	859,443.68
10	1	10	2,695,804.39	2.69	1,001,271.23	1,049,176.62	2,824,783.97	128,979.58
11	2	1	790,106.16	0.11	6,883,606.56	1,001,271.23	114,926.76	675,179.40
12	2	2	961,291.95	0.14	6,883,606.56	6,883,606.56	961,291.95	0.00
13	2	3	1,213,591.95	0.18	6,883,606.56	6,883,606.56	1,213,591.95	
14	2	4	1,861,884.03	0.27	6,883,606.56	6,883,606.56	1,861,884.03	
15	2	5	2,562,184.13	0.59	4,330,426.16	6,883,606.56	4,072,824.90	1,510,640.77
16	2	6	3,103,552.22	0.75	4,117,426.77	4,330,426.16	3,264,102.67	160,550.45
17	2	7	4,383,009.73	1.40	3,127,368.08	4,117,426.77	5,770,578.04	1,387,568.31
18	2	8	6,042,160.29	1.85	3,274,042.44	3,127,368.08	5,771,476.58	270,683.71
19	2	9	6,042,160.29	1.98	3,047,606.87	3,274,042.44	6,491,089.57	448,929.28
20	2	10	9,659,726.71	2.69	3,587,799.81	3,047,606.87	8,205,321.11	1,454,405.60
21	3	1		0.11		3,587,799.81	411,810.68	
22	3	2		0.14				
23	3	3		0.18				
24	3	4		0.27				
25	3	5	1,510,640.77	0.59	2,553,180.40			1,510,640.77
26	3	6	1,510,640.77	0.75	2,004,139.87	2,553,180.40	1,924,485.65	413,844.88
27	3	7	4,302,497.47	1.40	3,069,920.92	2,004,139.87	2,808,804.18	1,493,693.29
28	3	8	5,525,132.47	1.85	2,993,882.54	3,069,920.92	5,665,459.33	140,326.86
29	3	9	5,525,132.47	1.98	2,786,823.07	2,993,882.54	5,935,646.86	410,514.39
30	3		5,525,132.47	0.01	1,055,486,339.44	2,786,823.07	14,588.12	5,510,544.35
				0.01		1,055,486,339.44	5,525,132.47	

Error promedio

MAD=

818,420.12

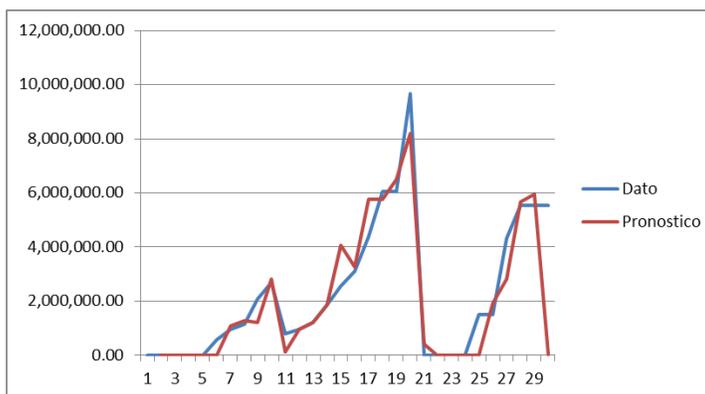


Tabla 4.3.7 Serie con estacionalidad

La siguiente regla es mediante la estacionalidad promediando, la metodología se muestra en el libro (Hillier S., 2010) de la referencia, se utiliza el periodo de 10 meses para un año de un total de 30 datos. En la *Tabla 3.4.8* se muestra el desarrollo y gráfico correspondiente, arrojando un error promedio MAD de 1,288,856.76.

Dato	Año	Periodo	Dato	Factor	Estacional	P Estacion	Pronostico	Error
1	1	1		0.11				
2	1	2		0.14				
3	1	3		0.18				
4	1	4		0.27				
5	1	5		0.59				
6	1	6	574,395.33	0.75	762,039.93			574,395.33
7	1	7	961,874.80	1.40	686,317.56	127,006.65	177,999.96	783,874.84
8	1	8	1,136,224.38	1.85	615,681.59	206,908.21	381,843.73	754,380.65
9	1	9	2,080,088.92	1.98	1,049,176.62	258,004.88	511,518.36	1,568,570.56
10	1	10	2,695,804.39	2.69	1,001,271.23	345,912.85	931,329.46	1,764,474.93
11	2	1	790,106.16	0.11	6,883,606.56	411,448.69	47,226.43	742,879.73
12	2	2	961,291.95	0.14	6,883,606.56	999,826.68	139,625.26	821,666.69
13	2	3	1,213,591.95	0.18	6,883,606.56	1,490,141.67	262,714.60	950,877.35
14	2	4	1,861,884.03	0.27	6,883,606.56	1,905,023.59	515,272.48	1,346,611.55
15	2	5	2,562,184.13	0.59	4,330,426.16	2,260,636.66	1,337,551.35	1,224,632.78
16	2	6	3,103,552.22	0.75	4,117,426.77	2,398,622.62	1,807,986.15	1,295,566.07
17	2	7	4,383,009.73	1.40	3,127,368.08	2,506,047.88	3,512,228.80	870,780.93
18	2	8	6,042,160.29	1.85	3,274,042.44	2,542,596.13	4,692,295.12	1,349,865.17
19	2	9	6,042,160.29	1.98	3,047,606.87	2,583,232.03	5,121,494.56	920,665.73
20	2	10	9,659,726.71	2.69	3,587,799.81	2,607,672.82	7,020,850.69	2,638,876.02
21	3	1		0.11				
22	3	2		0.14				
23	3	3		0.18				
24	3	4		0.27				
25	3	5	1,510,640.77	0.59	2,553,180.40	2,213,899.30	1,309,898.25	200,742.52
26	3	6	1,510,640.77	0.75	2,004,139.87	2,227,470.55	1,678,978.54	168,337.77
27	3	7	4,302,497.47	1.40	3,069,920.92	2,218,880.91	3,109,763.98	1,192,733.49
28	3	8	5,525,132.47	1.85	2,993,882.54	2,250,400.91	4,153,056.43	1,372,076.04
29	3	9	5,525,132.47	1.98	2,786,823.07	2,276,953.82	4,514,269.90	1,010,862.57
30	3	3	5,525,132.47	0.01	1,055,486,339.44	2,294,535.52	12,011.16	5,513,121.31

Error promedio

MAD=

1,288,856.76

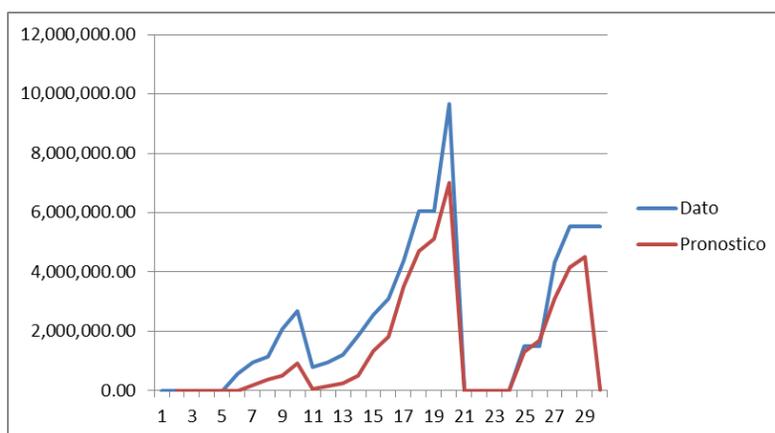


Tabla 4.3.8 Estacionalidad promediando

La siguiente serie es la de estacionalidad con un desfase el cual se considera a 4 datos, para el periodo de 10 meses por año y un total de 30 años. Se arrojó un error promedio MAD de 1,324,579.84. En la *Tabla 4.3.9* se muestra el desarrollo y gráfico correspondiente.

Dato	Año	Periodo	Dato	Factor	Estacional	P Estacion	Pronostico	Error
1	1	1		0.11				
2	1	2		0.14				
3	1	3		0.18				
4	1	4		0.27				
5	1	5		0.59				
6	1	6	574,395.33	0.75	762,039.93			
7	1	7	961,874.80	1.40	686,317.56	127,006.65	177,999.96	783,874.84
8	1	8	1,136,224.38	1.85	615,681.59	206,908.21	381,843.73	754,380.65
9	1	9	2,080,088.92	1.98	1,049,176.62	258,004.88	511,518.36	1,568,570.56
10	1	10	2,695,804.39	2.69	1,001,271.23	345,912.85	931,329.46	1,764,474.93
11	2	1	790,106.16	0.11	6,883,606.56	411,448.69	47,226.43	742,879.73
12	2	2	961,291.95	0.14	6,883,606.56	999,826.68	139,625.26	821,666.69
13	2	3	1,213,591.95	0.18	6,883,606.56	1,490,141.67	262,714.60	950,877.35
14	2	4	1,861,884.03	0.27	6,883,606.56	1,905,023.59	515,272.48	1,346,611.55
15	2	5	2,562,184.13	0.59	4,330,426.16	2,260,636.66	1,337,551.35	1,224,632.78
16	2	6	3,103,552.22	0.75	4,117,426.77	2,398,622.62	1,807,986.15	1,295,566.07
17	2	7	4,383,009.73	1.40	3,127,368.08	2,506,047.88	3,512,228.80	870,780.93
18	2	8	6,042,160.29	1.85	3,274,042.44	2,542,596.13	4,692,295.12	1,349,865.17
19	2	9	6,042,160.29	1.98	3,047,606.87	2,583,232.03	5,121,494.56	920,665.73
20	2	10	9,659,726.71	2.69	3,587,799.81	2,607,672.82	7,020,850.69	2,638,876.02
21	3	1		0.11				
22	3	2		0.14				
23	3	3		0.18				
24	3	4		0.27				
25	3	5	1,510,640.77	0.59	2,553,180.40	2,213,899.30	1,309,898.25	200,742.52
26	3	6	1,510,640.77	0.75	2,004,139.87	2,227,470.55	1,678,978.54	168,337.77
27	3	7	4,302,497.47	1.40	3,069,920.92	2,218,880.91	3,109,763.98	1,192,733.49
28	3	8	5,525,132.47	1.85	2,993,882.54	2,250,400.91	4,153,056.43	1,372,076.04
29	3	9	5,525,132.47	1.98	2,786,823.07	2,276,953.82	4,514,269.90	1,010,862.57
30	3		5,525,132.47	0.01	1,055,486,339.44	2,294,535.52	12,011.16	5,513,121.31

Error promedio

MAD=

1,324,579.84

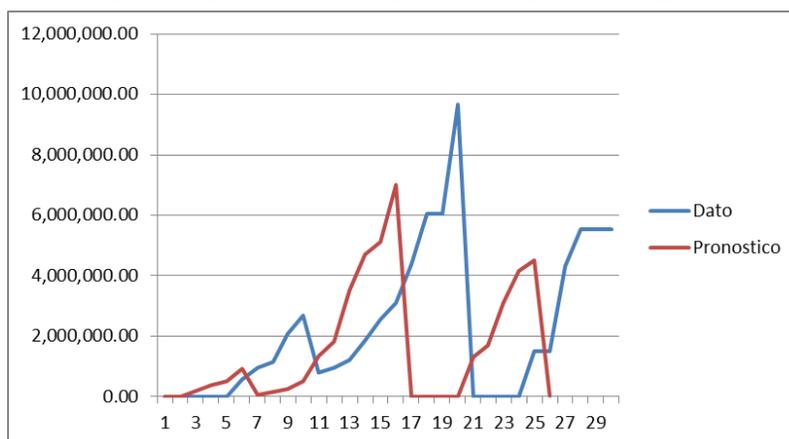


Tabla 4.3.9 Estacionalidad con desfase

La última serie es la de estacionalidad con un factor de confianza, para el cual se toma los mismos datos que se han manejado en las series anteriores y se aplica la metodología del libro (Hillier S., 2010), para el periodo de 10 meses por año y un total de 30 datos. Lo cual arrojó un error promedio MAD de 1,355,227.98. En la *Tabla 4.3.10* se muestra la metodología y gráfico correspondiente.

Dato	Año	Periodo	Dato	Factor	Estacional	Ajust Est	Pronostico	Error
1	1	1		0.11		7,500.00	860.86	
2	1	2		0.14				
3	1	3		0.18				
4	1	4		0.27				
5	1	5		0.59				
6	1	6	574,395.33	0.75	762,039.93			574,395.33
7	1	7	961,874.80	1.40	686,317.56	228,611.98	320,399.93	641,474.87
8	1	8	1,136,224.38	1.85	615,681.59	365,923.65	675,302.60	460,921.78
9	1	9	2,080,088.92	1.98	1,049,176.62	440,851.03	874,027.63	1,206,061.29
10	1	10	2,695,804.39	2.69	1,001,271.23	623,348.71	1,678,292.68	1,017,511.71
11	2	1	790,106.16	0.11	6,883,606.56	736,725.47	84,561.97	705,544.19
12	2	2	961,291.95	0.14	6,883,606.56	2,580,789.79	360,405.91	600,886.04
13	2	3	1,213,591.95	0.18	6,883,606.56	3,871,634.82	682,576.03	531,015.92
14	2	4	1,861,884.03	0.27	6,883,606.56	4,775,226.35	1,291,607.47	570,276.56
15	2	5	2,562,184.13	0.59	4,330,426.16	5,407,740.41	3,199,598.87	637,414.74
16	2	6	3,103,552.22	0.75	4,117,426.77	5,084,546.14	3,832,528.26	728,976.04
17	2	7	4,383,009.73	1.40	3,127,368.08	4,794,410.32	6,719,371.23	2,336,361.50
18	2	8	6,042,160.29	1.85	3,274,042.44	4,294,297.65	7,925,014.79	1,882,854.50
19	2	9	6,042,160.29	1.98	3,047,606.87	3,988,221.09	7,907,014.28	1,864,853.99
20	2	10	9,659,726.71	2.69	3,587,799.81	3,706,036.82	9,978,065.89	318,339.18
21	3	1		0.11				
22	3	2		0.14				
23	3	3		0.18				
24	3	4		0.27				
25	3	5	1,510,640.77	0.59	2,553,180.40			1,510,640.77
26	3	6	1,510,640.77	0.75	2,004,139.87	765,954.12	577,345.69	933,295.08
27	3	7	4,302,497.47	1.40	3,069,920.92	1,137,409.85	1,594,081.12	2,708,416.35
28	3	8	5,525,132.47	1.85	2,993,882.54	1,717,163.17	3,168,980.03	2,356,152.44
29	3	9	5,525,132.47	1.98	2,786,823.07	2,100,178.98	4,163,797.55	1,361,334.92
30	3		5,525,132.47	0.01	1,055,486,339.44	2,306,172.21	12,072.07	5,513,060.40

Error promedio

MAD=

1,355,227.98

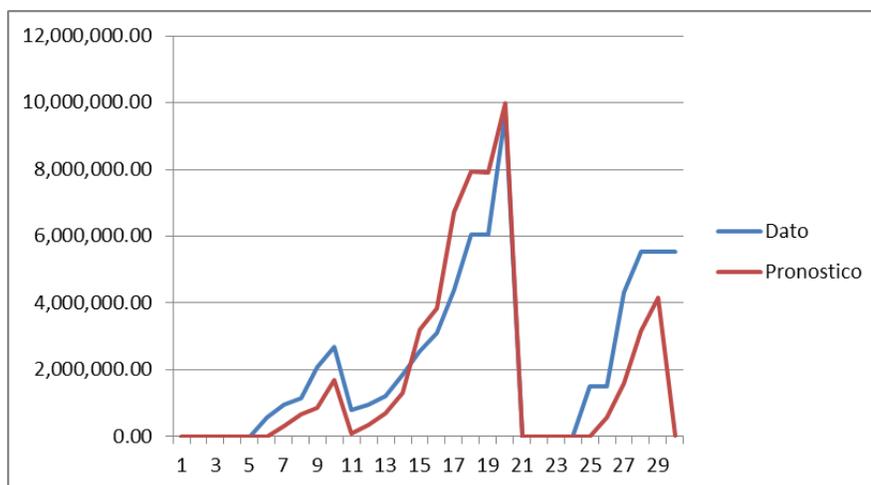


Tabla 4.3.10 Estacionalidad con factor de confianza

Finalmente se tabulan los errores promedio MAD, con la metodología respectiva y se busca cuál de las metodologías tiene el menor MAD, con ello se obtiene la serie más adecuada para hacer el pronóstico y se tomaran los datos referentes a la columna de pronóstico para el siguiente periodo. La *Tabla 4.3.11* muestra los resultados correspondientes y el menor MAD.

Serie	MAD
Serie del 25%	847,991.22
Con estacionalidad	818,420.12
Estacionalidad promediando	1,288,856.76
Estacionalidad desfasado	1,324,579.84
Con alpha y beta	1,355,227.98
min	818,420.12

Tabla 4.3.11 Errores promedio MAD

CONCLUSIONES



- Se elaboró un estudio con las herramientas de la investigación de operaciones para la coordinación de oficinas centrales de la SCT, que corrige la administración y ministración de los recursos monetarios disponibles distribuyéndolos en cada entidad federativa de forma sistemática y óptima. Garantizando que el presupuesto sea adecuado para los proyectos y se tenga ejercicios con el mejor rendimiento posible.
- Se determinó una calendarización periódica de recursos óptima que dicta información de la cantidad de recursos a depositar y cada cuando hacerlo, de tal forma que los Entidades Federativas cuenten siempre con el capital necesario para la ejecución de sus proyectos.
- Se ejemplificó como pronosticar los recursos necesarios para años subsecuentes, haciendo uso de datos históricos empleando la herramienta de series de tiempo, de tal forma que se obtuvo el mejor pronóstico posible para proyectar trabajos futuros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beer, S. (1959). *Cybernetics and Managment*. London: The English Universities Press.
- Beer, S. (1966). *Decision and Control*. New York: Wiley.
- Bellman, R., & Dreyfus, S. (1962). *Applied Dynamic Programming*. New Jersey: Princeton.
- Bertalanffy, L. (1967). *Robots, Men and Minds*. New York: Braziller.
- Bertalanffy, L. (1969). *General Systems Theory*. New York: Braziller.
- Díaz Mata , A. (2008). *Matemáticas Financieras*. Distrito Federal: Mc Graw Hill.
- Espinosa Armenta, R. (2014). *Matemáticas discretas*. Distrito Federal: Alfaomega.
- Estrada Medina, J. M. (2005). *Programación lineal*. México, D.F.: UNAM.
- Flores de la Mota, I. (1999). *Teoría de Redes*. México D. F.: UNAM.
- Forrester, J. (1968). *Principles of Systems*. Cambridge Mass: Wright-Allen Press.
- Granville, W. (1997). *Cálculo Diferencias e Integral*. Distrito Federal: Limusa.
- H. Lee, K. (2005). *First Course on Fuzzy Theory and Applications*. Republic of South Korea: Springer.
- Hernández Sampeiri, R. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: Mc. Graw Hill.
- Hillier S., F. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. México: Mc. Graw Hill.
- Jaber Y., M. (2009). *Inventory Management*. United States of America: Taylor & Francis Goup.
- Jauffred, M., Moreno Bonett, A., & Acosta , J. (1971). *Métodos de Optimización: Programación Lineal Gráficas, Representaciones y Servicios de Ingeniería*. Distrito Federal: Alfaomega.
- L. Webster, A. (2000). *Estadística Aplicada a los negocios y la economía*. Bogotá Colombia: McGraw Hill.
- Lazzari L., L., A. M. Machado, E., & H. Pérez , R. (2012). Los conjuntos borrosos: una introducción. *Fce, Económicas*, 25.
- Méndez I, N., & Moreno, L. (1984). *El protocolo de Investigación*. México: Trillas.
- Muckstadt A., J., & Sapro, A. (2010). *Principles of Inventory Management*. New York: 2010.
- O Connor , J. (1998). *Introducción al Pensamiento Sistemico*. Barcelona: Urano.
- Russell L., A. (1979). *Un concepto de Planeación de Empresas*. México: Limusa.
- Russell L., A. (1999). *His Classic Writings on Management*. United States of America: John Wiley & Sons.

Shane, M., & Hoel, A. (1969). *Fundamentals of System Engineering, Probabilistic Models*. Addison-Wesley.

Stelson, E. (1969). *Introduction to Systems Engineering, Deterministic Models*. Addison-Wesley.

Stewart, J. (1998). *Cálculo Transcendentes Tempranas*. Distrito Federal: Thomson.

Stewart, J. (2002). *Cálculo Multivariable*. Distrito Federal: Thomson.

Suhov, Y., & Kelbert, M. (2005). *Probability and statistics*. Cambridge, New York: Cambridge.

Taha A., H. (2004). *Investigación de Operaciones*. México: Pearson.

Velázquez Mastretta, G. (1994). *Administración de los Sistemas de Producción*. Distrito Federal, México: Limusa.

REFERENCIA ELECTRÓNICA

1.- <http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia> (2014)

2.- <http://www.sct.gob.mx/>

3.- <http://pubsonline.informs.org/journal/opre>

4.- <http://www.redalyc.org/>

5.- <http://www.ingenieria.unam.mx/>

6.- <http://www.ingenieria.unam.mx/sistemas/index.php>

7.- <http://www.posgrado.unam.mx/>

ANEXOS



ANEXO 1. CÁLCULO DE RENDIMIENTOS

A continuación se muestra las tablas correspondientes a los datos de entrada del modelo, así como el cálculo de los rendimientos descrito en la *Expresión 4.1.1*:

$$R_{ij} = \frac{\text{Monto ejercido}}{\text{Monto adjudicado}} \times 100\%$$

Aguascalientes			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
SISTEMAS Y CONTROL EN OBRAS SA DE CV	\$97,820.00	\$96,314.80	98.46%
SISTEMAS Y CONTROL EN OBRAS SA DE CV	\$575,130.90	\$534,587.97	92.95%
CORPORATIVO CONSTRUYE SA DE CV	\$291,612.40	\$235,967.20	80.92%
INGENIERÍA INTEGRAL Y CONTROL DE CALIDAD SA DE CV	\$368,182.84	\$109,737.16	29.81%
SISTEMAS Y CONTROL EN OBRAS SA DE CV	\$297,454.16	\$151,426.16	50.91%
CORPORATIVO CONSTRUYE SA DE CV	\$493,452.40	\$89,552.00	18.15%

Tabla 4.1.1, Rendimiento Aguascalientes

Baja California			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
LEOHER S DE R L DE C V	\$2,346,489.46	\$497,676.67	21.21%
IEMS CONSTRUCCIONES S.A. DE C.V.	\$1,746,329.38	\$522,869.87	29.94%

Tabla 4.1.2, Rendimiento Baja California

Baja California Sur			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
JOSE ANTONIO GUTIERREZ CERVANTES	\$3,519,412.83	\$2,335,051.11	66.35%

Tabla 4.1.3, Rendimiento Baja California Sur

Campeche			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
INGENIERIA Y PLANEACION PENINSULAR S. DE R.L DE C.V.	\$4,327,714.17	\$3,277,506.79	75.73%
INGENIERIA Y CONSULTORIA EN INFRAESTRUCTURA S.A DE C.V.	\$1,492,570.49	\$1,214,738.15	81.39%
INGENIERIA Y PLANEACION PENINSULAR S. DE R. L. DE C.V.	\$1,081,640.95	\$1,081,640.95	100.00%
INGENIERIA Y CONSULTORIA EN INFRAESTRUCTURA S.A DE C.V.	\$366,845.13	\$366,845.13	100.00%
CARLOS RAMON CACERES ZETINA	\$454,607.87		0.00%

Tabla 4.1.4, Rendimiento Campeche

Coahuila			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
JOSE MARIA SOTO VALLES	\$1,997,998.35	\$1,638,442.32	82.00%
SUPERVISIONES E INGENIERIA DEL NORESTE SA DE CV	\$540,118.01	\$444,019.95	82.21%

Tabla 4.1.5, Rendimiento Coahuila

Colima			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
130 CONSTRUCCIONES, S.A. DE C.V.	\$565,138.56	\$505,233.69	89.40%
SELAINCON. S.A. DE C.V.	\$739,912.90	\$527,614.81	71.31%
130 CONSTRUCCIONES, S.A. DE C.V.	\$549,573.03	\$285,754.73	52.00%

Tabla 4.1.6, Rendimiento Colima

Chiapas			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
LABORATORIO Y SUPERVISIÓN DE OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL S.C.	\$645,912.78	\$297,815.63	46.11%
GRUPO INTEGRADO POR: MANUEL MORALES GONZALEZ Y LABORATORIO Y SUPERVISION DE OBRAS DE INGENIERIA CIVIL, S.C.	\$1,478,371.27	\$1,046,042.56	70.76%
GRUPO MEGO, S.A. DE C.V.	\$1,573,229.94	\$873,827.11	55.54%

Tabla 4.1.7, Rendimiento Chiapas

Chihuahua			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
JOSE LUIS CARRILLO IBARRA	\$99,931.69	\$99,931.69	100.00%
CORPORATIVO DE SUPERVISION DE OBRA Y CONTROL DE CALIDAD SAN MIGUEL S.A. DE C.V.	\$103,886.39	\$103,886.39	100.00%
INGENIERIA PUNTO AZUL S.C.	\$70,783.20	\$70,783.20	100.00%
JOSE LUIS CARRILLO IBARRA	\$177,992.89	\$177,992.89	100.00%
JOSE LUIS CARRILLO IBARRA	\$627,087.78	\$403,493.25	64.34%
CORPORATIVO DE SUPERVISION DE OBRA Y CONTROL DE CALIDAD SAN MIGUEL S.A. DE C.V.	\$613,899.23	\$216,048.84	35.19%
JOSE LUIS CARRILLO IBARRA	\$635,383.32	\$234,408.79	36.89%
LABORATORIO Y CONSULTORIA S.A. DE C.V.	\$601,054.00	\$189,233.70	31.48%
CORPORATIVO DE SUPERVISION DE OBRA Y CONTROL DE CALIDAD SAN MIGUEL S.A. DE C.V.	\$536,359.96	\$253,555.05	47.27%
LABORATORIO Y CONSULTORIA S.A. DE C.V.	\$451,356.00	\$188,653.70	41.80%

Tabla 4.1.8, Rendimiento Chihuahua

Durango			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
Organización de Constructores y Consultores Asociados, S. A. de C. V.	\$2,559,332.59	\$2,001,832.60	78.22%
ILCON, S. A. de C. V.	\$5,034,482.50	\$3,957,036.77	78.60%
Grupo Cimiento, S. A. de C. V.	\$701,281.96	\$701,101.97	99.97%

Tabla 4.1.9, Rendimiento Durango

Guanajuato			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
Organización de Constructores y Consultores Asociados S.A. de C.V.	\$889,408.57	\$889,408.57	100.00%
Proyectos y Construcciones Torzat S.A.	\$1,150,572.38	\$1,150,572.38	100.00%
Organización de Constructores y Consultores Asociados S.A. de C.V.	\$550,908.06	\$550,908.06	100.00%

Tabla 4.1.10, Rendimiento Guanajuato

Guerrero			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
Scala Supervisión, Consultoría, Asesoría y Laboratorio, S.A. de C.V.	\$3,654,500.70	\$1,006,680.99	27.55%
Scala Supervisión, Consultoría, Asesoría y Laboratorio, S.A. de C.V.	\$736,244.40	\$169,365.05	23.00%
Scala Supervisión, Consultoría, Asesoría y Laboratorio, S.A. de C.V.	\$458,021.20		0.00%

Tabla 4.1.11, Rendimiento Guerrero

Hidalgo			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
Servicios de Construcción e Ingeniería Civil S.A. de C.V.	\$2,140,710.60	\$1,201,328.93	56.12%
Proyectos, Asesoría y Control de Calidad de Obras Civiles S.A. de C.V.	\$2,000,082.81	\$1,099,640.09	54.98%
José Maria Soto Valles	\$73,778.04	\$73,778.04	100.00%
Proyectos, Asesoría y Control de Calidad de Obras Civiles S.A. de C.V.	\$579,628.80	\$522,699.48	90.18%
Servicios de Construcción e Ingeniería Civil S.A. de C.V.	\$534,141.46	\$512,610.17	95.97%
Proyectos, Asesoría y Control de Calidad de Obras Civiles S.A. de C.V.	\$100,711.91	\$83,908.63	83.32%

Tabla 4.1.12, Rendimiento Hidalgo

Jalisco			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
CAMITEC, SA DE CV	\$2,214,500.41	\$1,344,048.97	60.69%
GRUPO CONSTRUCTOR ALPAMA, SA DE CV	\$1,737,961.67	\$1,188,650.18	68.39%
ADEUDO 2012 OPERACIONES AJENAS	\$10,502.00	\$10,502.00	100.00%
SUELOS Y CONTROL, SA DE CV	\$1,978,593.91	\$486,285.59	24.58%

Tabla 4.1.13, Rendimiento Jalisco

México			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
EVALUACION INTEGRAL DE OBRAS CIVILES S.A. DE C.V.	\$4,028,451.38	\$2,017,270.77	50.08%
LAMACO CONTROL Y CALIDAD S.C.	\$6,996,453.30	\$2,447,835.87	34.99%
BICONSTRUCCION DISEÑO CONSULTORIA Y ARQUITECTURA BIDICONAR S.A. DE C.V.	\$3,124,624.86	\$303,435.79	9.71%

Tabla 4.1.14, Rendimiento México

Michoacán			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
ABUNDIO VALENTIN MURILLO MURO	\$1,163,812.94	\$909,257.75	78.13%
VAZQUEZ AGUIÑIGA CONSTRUCCIONES, S.A. DE C.V.	\$2,791,505.43	\$2,336,191.52	83.69%
LABORATORIO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION SICCE, S.A. DE C.V.	\$831,586.79	\$681,706.54	81.98%

Tabla 4.1.15, Rendimiento Michoacán

Morelos			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
GRUPO CORPORATIVO DE INGENIERIA Y SUPERVISION S.A. DE C.V.	\$3,209,982.10	\$2,062,065.19	64.24%
GRUPO CORPORATIVO DE INGENIERIA Y SUPERVISION S.A. DE C.V.	\$592,805.01	\$447,424.32	75.48%

Tabla 4.1.16, Rendimiento Morelos

Nayarit			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
PICONCA S.A. DE C.V.	\$926,171.05	\$469,310.77	50.67%
PICONCA S.A. DE C.V.	\$695,217.30	\$72,339.54	10.41%
PICONCA S.A. DE C.V.	\$171,419.74	\$171,419.74	100.00%
PICONCA S.A. DE C.V.	\$165,225.04	\$165,225.04	100.00%
PICONCA S.A. DE C.V.	\$574,487.48		0.00%

Tabla 4.1.17, Rendimiento Nayarit

Nuevo León			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
PROYECTOS, ASESORIA Y CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES, S.A. DE C.V.	\$5,634,176.39	\$3,236,611.48	57.45%
ING. ANGEL PEREZ MONTAÑO	\$4,099,986.66	\$2,077,199.67	50.66%
SOLUCIONES DE INGENIERIA Y LABORATORIO TECNICO, S.A. DE C.V.	\$1,660,308.77	\$271,326.35	16.34%
ING. MONICA A. PEREZ TORRES	\$1,068,774.60	\$1,068,774.60	100.00%
ING. ANGEL PEREZ MONTAÑO	\$54,547.49	\$54,547.49	100.00%
PROYECTOS ASESORIA Y CONTROL DE OBRA CIVIL, S.A. DE C.V.	\$116,756.89	\$116,756.89	100.00%

Tabla 4.1.18, Rendimiento Nuevo León

Oaxaca			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
ROCHER INGENIERIA, S.A. DE C.V.	\$6,379,174.74	\$4,691,005.38	73.54%
TECNOLOGIA Y GESTION EN INGENIERIA, S.A. DE C.V.	\$1,422,284.12	\$1,249,341.45	87.84%

Tabla 4.1.19, Rendimiento Oaxaca

Puebla			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
Grupo Corporativo de Ingeniería y Supervisión S.A. de C.V.	\$4,096,054.69	\$1,202,700.03	29.36%
Grupo Corporativo de Ingeniería y Supervisión S.A. de C.V.	\$325,666.30	\$325,666.30	100.00%

Tabla 4.1.20, Rendimiento Puebla

Querétaro			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
SUCC, S.A. DE C.V.	\$1,579,067.60	\$550,965.19	34.89%
CONSTRUCTORA KEIJARAQ, S.A. DE C.V.	\$1,065,110.65	\$308,009.81	28.92%

Tabla 4.1.21, Rendimiento Querétaro

Quintana Roo			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
Supervisión de Obras Civiles en Control de Calidad de Materiales S.A de C.V.	\$1,894,991.33	\$1,724,478.87	91.00%
Servicios Profesionales de Ingeniería SPI, S.A de C.V	\$845,768.77	\$714,047.48	84.43%
Terrasuchetumal, S.A de C.V.	\$1,586,793.41	\$1,020,734.30	64.33%
Terrasuchetumal, S.A de C.V.	\$316,633.15		0.00%

Tabla 4.1.22, Rendimiento Quintana Roo

San Luis Potosí			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
Proyectos, Laboratorios y Asesorías, S.A.	\$1,873,135.67	\$1,873,135.67	100.00%
Grupo Integral de Servicios de Ingeniería, S.A. de C.V.	\$95,782.46	\$95,782.46	100.00%
Proyectos, Laboratorios y Asesorías, S.A.	\$3,909,108.89	\$800,645.50	20.48%
Proyectos, Laboratorios y Asesorías, S.A.	\$230,367.78		0.00%

Tabla 4.1.23, Rendimiento San Luis Potosí

Sinaloa			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
Ing. Filiberto López Valdez	\$1,426,156.19	\$648,227.43	45.45%
Stelcon Pimentel S.A. de C.V.	\$528,563.78	\$277,281.02	52.46%
Concoc, S.A. de C.V.	\$1,413,608.89	\$424,264.46	30.01%
Grupo formado por: Concoc, S.A. de C.V. y Construcción y Servicios Viga	\$39,869.69	\$39,869.69	100.00%

Tabla 4.1.24, Rendimiento Sinaloa

Sonora			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
Construcciones e Ingeniería Especializada del Norte S.A. de C.V.	\$2,631,074.59	\$2,631,074.59	100.00%
Construcciones e Ingeniería Especializada del Norte S.A. de C.V.	\$615,115.86	\$615,115.86	100.00%
Control de Proyectos y Construcción, S.A. de C.V.	\$2,094,172.22	\$1,632,420.69	77.95%
Control de Proyectos y Construcción, S.A. de C.V.	\$212,982.53	\$20,083.36	9.43%

Tabla 4.1.25, Rendimiento Sonora

Tabasco			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
ENLACE CORPORATIVO DE SURESTE, S.A DE C.V.	\$4,446,715.16	\$4,090,172.12	91.98%
ENLACE CORPORATIVO DE SURESTE, S.A DE C.V.	\$6,878.56	\$6,878.56	100.00%
ESTUDIOS INGENIERIA Y CONTROL DE CALIDAD S.A. DE C.V.	\$22,526.62	\$22,526.62	100.00%
ENLACE CORPORATIVO DE SURESTE, S.A DE C.V.	\$991,073.36	\$0.00	0.00%

Tabla 4.1.26, Rendimiento Tabasco

Tamaulipas			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
Ing. Alberto Linares Martinez	\$258,077.56	\$258,077.56	100.00%
Ing. Alberto Linares Martinez	\$2,223,953.53	\$364,293.31	16.38%
Ingeniería, Mantenimiento y Construcción de Vías Terrestres, S.A. de C.V.	\$2,914,411.32	\$289,285.97	9.93%

Tabla 4.1.27, Rendimiento Tamaulipas

Tlaxcala			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
Innova Pavimentos de México, S.A. de C.V.	\$3,146,014.73	\$438,438.06	13.94%
Grupo de Laboratorios e Ingenieros para la Construcción, Supervisión y Asesoría, S.A. de C.V.	\$1,681,172.86	\$247,277.25	14.71%

Tabla 4.1.28, Rendimiento Tlaxcala

Veracruz			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
HALDUS Y ASOCIADOS, S. C.	\$3,541,948.20	\$1,078,005.05	30.44%
JFO CONSTRUYE, S.A. DE C.V.	\$1,666,952.56	\$404,145.03	24.24%

Tabla 4.1.29, Rendimiento Veracruz

Yucatán			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
ESTUDIOS Y PROYECTOS DE CONTROL DE CALIDAD, S. A. DE C. V.	\$111,040.94	\$111,040.94	100.00%
ESTUDIOS Y PROYECTOS DE CONTROL DE CALIDAD, S. A. DE C. V.	\$2,069,308.61	\$1,532,032.53	74.04%
ESTUDIOS Y PROYECTOS DE CONTROL DE CALIDAD, S. A. DE C. V.	\$1,019,993.70	\$589,589.75	57.80%
ESTUDIOS Y PROYECTOS DE CONTROL DE CALIDAD, S. A. DE C. V.	\$466,656.96	\$207,164.10	44.39%
ESTUDIOS Y PROYECTOS DE CONTROL DE CALIDAD, S. A. DE C. V.	\$298,941.64	\$0.00	0.00%

Tabla 4.1.30, Rendimiento Yucatán

Zacatecas			
Empresa	Monto adjudicado	Monto ejercido	Rendimiento (%)
Supervisión de Ingeniería Civil, S.A. de C.V.	\$1,610,215.57	\$1,302,201.79	80.87%
Ing. Rosa Angelica Haro Huerta	\$449,391.71	\$290,802.22	64.71%
Felipe Mauricio Trejo	\$1,960,350.93	\$1,464,635.54	74.71%
Laboratorios Garih, S.A. de C.V.	\$644,005.95	\$410,858.60	63.80%
Ing. Edgar Baldemar Morales García	\$400,067.88	\$181,046.07	45.25%
Ing. Juan Manuel Flores Venegas	\$394,594.96	\$180,108.04	45.64%

Tabla 4.1.31, Rendimiento Zacatecas

ANEXO 2. DATOS DE ENTRADA AL MODELO PL

En éste anexo se muestran los datos que se ingresaron al modelo, tomando en cuenta una inversión de **\$120,000,000.00** para el ejercicio presupuestal referente al año 2013:

		C	R
Aguascalientes	x1,1	97,820.00	0.98
	x1,2	575,130.90	0.93
	x1,3	291,612.40	0.81
	x1,4	368,182.84	0.30
	x1,5	297,454.16	0.51
	x1,6	493,452.40	0.18
Baja California	x2,1	2,346,489.46	0.21
	x2,2	1,746,329.38	0.30
Baja California Sur	x3,1	3,519,412.83	0.66
Campeche	x4,1	4,327,714.17	0.76
	x4,2	1,492,570.49	0.81
	x4,3	1,081,640.95	1.00
	x4,4	366,845.13	1.00
	x4,5	454,607.87	0.00
Coahuila	x5,1	1,997,998.35	0.82
	x5,2	540,118.01	0.82
Colima	x6,1	565,138.56	0.89
	x6,2	739,912.90	0.71
	x6,3	549,573.03	0.52
Chiapas	x7,1	645,912.78	0.46
	x7,2	1,478,371.27	0.71
	x7,3	1,573,229.94	0.56
Chihuahua	x8,1	99,931.69	1.00
	x8,2	103,886.39	1.00
	x8,3	70,783.20	1.00
	x8,4	177,992.89	1.00
	x8,5	627,087.78	0.64
	x8,6	613,899.23	0.35
	x8,7	635,383.32	0.37
	x8,8	601,054.00	0.31
	x8,9	536,359.96	0.47
	x8,10	451,356.00	0.42
Durango	x9,1	2,559,332.59	0.78
	x9,2	5,034,482.50	0.79
	x9,3	701,281.96	1.00

Guanajuato	x10,1	889,408.57	1.00
	x10,2	1,150,572.38	1.00
	x10,3	550,908.06	1.00
Guerrero	x11,1	3,654,500.70	0.28
	x11,2	736,244.40	0.23
	x11,3	458,021.20	0.00
Hidalgo	x12,1	2,140,710.60	0.56
	x12,2	2,000,082.81	0.55
	x12,3	73,778.04	1.00
	x12,4	579,628.80	0.90
	x12,5	534,141.46	0.96
	x12,6	100,711.91	0.83
Jalisco	x13,1	2,214,500.41	0.61
	x13,2	1,737,961.67	0.68
	x13,3	10,502.00	1.00
	x13,4	1,978,593.91	0.25
México	x14,1	4,028,451.38	0.50
	x14,2	6,996,453.30	0.35
	x14,3	3,124,624.86	0.10
Michoacán	x15,1	1,163,812.94	0.78
	x15,2	2,791,505.43	0.84
	x15,3	831,586.79	0.82
Morelos	x16,1	3,209,982.10	0.64
	x16,2	592,805.01	0.75
Nayarit	x17,1	926,171.05	0.51
	x17,2	695,217.30	0.10
	x17,3	171,419.74	1.00
	x17,4	165,225.04	1.00
	x17,5	574,487.48	0.00
Nuevo León	x18,1	5,634,176.39	0.57
	x18,2	4,099,986.66	0.51
	x18,3	1,660,308.77	0.16
	x18,4	1,068,774.60	1.00
	x18,5	54,547.49	1.00
	x18,6	116,756.89	1.00
Oaxaca	x19,1	6,379,174.74	0.74
	x19,2	1,422,284.12	0.88
Puebla	x20,1	4,096,054.69	0.29
	x20,2	325,666.30	1.00
Querétaro	x21,1	1,579,067.60	0.35
	x21,2	1,065,110.65	0.29

Quintana Roo	x22.1	1,894,991.33	0.91
	x22.2	845,768.77	0.84
	x22.3	1,586,793.41	0.64
	x22.4	316,633.15	0.00
San Luis Potosí	x23.1	1,873,135.67	1.00
	x23.2	95,782.46	1.00
	x23.3	3,909,108.89	0.20
	x23.4	230,367.78	0.00
Sinaloa	x24.1	1,426,156.19	0.45
	x24.2	528,563.78	0.52
	x24.3	1,413,608.89	0.30
	x24.4	39,869.69	1.00
Sonora	x25.1	2,631,074.59	1.00
	x25.2	615,115.86	1.00
	x25.3	2,094,172.22	0.78
	x25.4	212,982.53	0.09
Tabasco	x26.1	4,446,715.16	0.92
	x26.2	6,878.56	1.00
	x26.3	22,526.62	1.00
	x26.4	991,073.36	0.00
Tamaulipas	x27.1	258,077.56	1.00
	x27.2	2,223,953.53	0.16
	x27.3	2,914,411.32	0.10
Tlaxcala	x28.1	3,146,014.73	0.14
	x28.2	1,681,172.86	0.15
Veracruz	x29.1	3,541,948.20	0.30
	x29.2	1,666,952.56	0.24
Yucatán	x30.1	111,040.94	1.00
	x30.2	2,069,308.61	0.74
	x30.3	1,019,993.70	0.58
	x30.4	466,656.96	0.44
	x30.5	298,941.64	0.00
Zacatecas	x31.1	1,610,215.57	0.81
	x31.2	449,391.71	0.65
	x31.3	1,960,350.93	0.75
	x31.4	644,005.95	0.64
	x31.5	400,067.88	0.45
	x31.6	394,594.96	0.46

ANEXO 3. SOLUCIÓN DEL MODELO PL

En el presente anexo se muestran los resultados que arrojó el programa solver al ingresar el modelo.

Nombre	Valor final	Entero
Solución >=0	1.00	Binario
Solución x1,2	1.00	Binario
Solución x1,3	1.00	Binario
Solución x1,4	1.00	Binario
Solución x1,5	1.00	Binario
Solución x1,6	1.00	Binario
Solución x2,1	0.00	Binario
Solución x2,2	1.00	Binario
Solución x3,1	1.00	Binario
Solución x4,1	1.00	Binario
Solución x4,2	1.00	Binario
Solución x4,3	1.00	Binario
Solución x4,4	1.00	Binario
Solución x4,5	0.00	Binario
Solución x5,1	1.00	Binario
Solución x5,2	1.00	Binario
Solución x6,1	1.00	Binario
Solución x6,2	1.00	Binario
Solución x6,3	1.00	Binario
Solución x7,1	1.00	Binario
Solución x7,2	1.00	Binario
Solución x7,3	1.00	Binario
Solución x8,1	1.00	Binario
Solución x8,2	1.00	Binario
Solución x8,3	0.00	Binario
Solución x8,4	1.00	Binario
Solución x8,5	1.00	Binario
Solución x8,6	1.00	Binario
Solución x8,7	1.00	Binario
Solución x8,8	1.00	Binario
Solución x8,9	1.00	Binario

Solución x8,10	1.00 Binario
Solución x9,1	1.00 Binario
Solución x9,2	1.00 Binario
Solución x9,3	1.00 Binario
Solución x10,1	1.00 Binario
Solución x10,2	1.00 Binario
Solución x10,3	1.00 Binario
Solución x11,1	0.00 Binario
Solución x11,2	1.00 Binario
Solución x11,3	0.00 Binario
Solución x12,1	1.00 Binario
Solución x12,2	1.00 Binario
Solución x12,3	0.00 Binario
Solución x12,4	1.00 Binario
Solución x12,5	1.00 Binario
Solución x12,6	1.00 Binario
Solución x13,1	1.00 Binario
Solución x13,2	1.00 Binario
Solución x13,3	1.00 Binario
Solución x13,4	1.00 Binario
Solución x18,6	1.00 Binario
Solución x19,1	1.00 Binario
Solución x19,2	1.00 Binario
Solución x20,1	0.00 Binario
Solución x20,2	1.00 Binario
Solución x21,1	1.00 Binario
Solución x21,2	1.00 Binario
Solución x22,1	1.00 Binario
Solución x22,2	1.00 Binario
Solución x22,3	1.00 Binario
Solución x22,4	0.00 Binario
Solución x23,1	1.00 Binario
Solución x23,2	0.00 Binario
Solución x23,3	0.00 Binario
Solución x23,4	0.00 Binario
Solución x24,1	1.00 Binario
Solución x24,2	1.00 Binario
Solución x24,3	1.00 Binario
Solución x24,4	1.00 Binario
Solución x25,1	1.00 Binario
Solución x25,2	1.00 Binario
Solución x25,3	1.00 Binario
Solución x25,4	1.00 Binario
Solución x26,1	1.00 Binario
Solución x26,2	104 1.00 Binario
Solución x26,3	1.00 Binario
Solución x26,4	0.00 Binario
Solución x27,1	1.00 Binario
