

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA



ANALISIS DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS EN
MEXICO SOBRE EL SISTEMA DE ENERGIA
UTILIZANDO MODELOS

TESIS PROFESIONAL

JOSE ANTONIO ZA VALETA PINEDA

I N G E N I E R O Q U I M I C O

MEXICO, D. F.

1979



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS 1979

M.T. 369 ~~375~~ 372

*CHA _____

*AG _____

* _____



Jurado asignado originalmente según el tema.

PRESIDENTE:	Prof.	Pascual Larraza Smith
VOCAL:	Prof.	Eduardo Rojo y De Regil
SECRETARIO:	Prof.	Alejandro Ramírez Grycuk
1er. SUPLENTE:	Prof.	Francisco Barnes De Castro
2do. SUPLENTE:	Prof.	Jorge Martínez Montes.

Sitio donde se desarrolló el tema.

Comisión Nacional de Energéticos. Secretaría
de Patrimonio y Fomento Industrial, SEPAFIN.

Sustentante:

JOSE ANTONIO ZA VALETA PINEDA

Asesor del tema

Dr. ALEJANDRO RAMIREZ GR YCUK

Con cariño y admiración a mis padres
EMILIO ZAVALA MONTES DE OCA
Ma. GUADALUPE PINEDA DE Z.

A mi hermana
MA. LETICIA EMILIA
por su ejemplo.

Gracias a todos los integrantes
de la Comisión de Energéticos
por sus invaluable orientaciones.

INDICE GENERAL

PAGINA

INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I SITUACION ENERGETICA Y NECESIDAD DE APLICAR MODELOS AL SISTEMA ENERGETICO.	3
CAPITULO II MODELOS SECTORIALES.....	33
CAPITULO III MODELOS DE MERCADO DE ENERGIA.....	86
CAPITULO IV MODELOS DEL SISTEMA ENERGETICO.....	152
CAPITULO V MODELOS ENERGETICO/ECONOMICO.....	175
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	208
BIBLIOGRAFIA	211

INTRODUCCION

La principal razón que motivó este trabajo fue la necesidad de recopilar y analizar las metodologías empleadas en estudios realizados para México sobre el funcionamiento del Sistema Energético haciendo uso de modelos.

Al irse documentando en el tema de los energéticos se fue descubriendo que después de 1973, año en que se declaró el Embargo Petrolero Arabe, se publicaron una serie de trabajos sobre la Situación Energética Mundial, los cuales la abordaban desde varios puntos de vista.

Unos analizaban las posibilidades de nuevas fuentes de energía, tratando de señalar los adelantos logrados en centros de investigación de los países generadores de tecnología, otros trataban de recopilar información estadística sobre las fuentes vigentes en explotación para establecer las reservas potenciales con las que se podría contar. Mayor aún, hubo algunos más que daban ya ciertas metodologías o procedimientos para el uso eficiente de los energéticos.

Con lo anterior se pretende señalar que existe una cantidad enorme de bibliografía sobre el tópico de energéticos, pero si se analizan globalmente, se observa que aunque trata el mismo tema no existe una coherencia tal que pudiese usarse para llegar a un objetivo común, la Planeación del Uso de los Energéticos.

Aunque es claro ver que hoy en día debido al gran avance tecnológico en cuanto a comunicaciones, es imposible pensar en el funcionamiento

aislado de una sociedad o un país por sí solo, la investigación pretende delimitar en lo posible a nuestro país en tiempo y espacio.

El problema por el cual surge esta tesis es el reconocimiento de que no se tiene la mejor trayectoria encadenada de los energéticos desde su explotación hasta su destino final. Es importante el darse cuenta de esta realidad, ya que aunque se tengan o no las reservas energéticas que se han mencionado, es pertinente que se obtenga el mayor provecho de tal recurso natural.

Para poder determinar la mejor trayectoria de tales recursos la herramienta óptima es el análisis económico desde un sistema micro hasta un enfoque macro, tratando de implementar modelos formales.

Por lo tanto la presente tesis tiene como objetivo exponer algunos de los trabajos sobre la modelación del uso de los energéticos en México, para de aquí poder señalar el tipo de formulación empleada y decidir si es efectiva o no.

Cabe señalar que la investigación no ha sido exhaustiva, dando a entender que los estudios descritos no son los únicos, creyendo que pueden existir algunos más.

Otro punto que debe quedar bien claro es que el análisis de estos modelos no tiene por objetivo central los resultados de cada uno, lo cual implicaría el tener que ver los datos y variables que en esencia usa cada modelo; sino que se trata de ver qué método matemático emplean dichos modelos y que tan conveniente resulta el utilizarlos.

C A P I T U L O I

SITUACION ENERGETICA Y NECESIDAD DE APLICAR MODELOS AL SISTEMA ENERGETICO.

- 1.1. Definición de Modelo.
- 1.2. Estructura de los Modelos.
- 1.3. Situación Energética y Necesidad de un Modelo Energético.

1.1. DEFINICION DE MODELO.

Se ha visto a través de la Historia del Mundo que el ser humano siempre ha intentado el explicarse los accidentes o fenómenos que se le presentan, de tal forma que después de tener un juicio, no sólo sepa el porqué de dicho fenómeno, sino que más aún, emita formulaciones para controlarlo o manejarlo a su conveniencia.

Este juicio razonado que surge en el cerebro humano representa un modelo, ya que a través de él puede estructurar el accidente o fenómeno que se le suscita.

El modelar podría resultar un tanto cuanto filosófico, porque hay que ver que si consideramos al hombre como un elemento de la naturaleza, éste también resulta ser un accidente o fenómeno para los demás componentes y si nos damos cuenta del comportamiento humano vemos que un modelo lo podemos situar como la unión entre un estímulo hacia el individuo y la reacción de éste para tal causa.

Todos estos flujos que estimulan a un individuo representan problemas, los cuales le afectan a diferentes niveles de espacio y tiempo, es decir una persona puede ocupar mucho tiempo tratando de encontrar el sustento diario de sí mismo y su familia, puede preocuparle el poseer el poder personal o que su país lo posea, la posibilidad de una guerra mundial puede inquietarlo toda la vida.

Si trazamos una gráfica de espacio contra tiempo, cualquier problema se puede situar en un punto del plano, dependiendo del espacio geográ

fico que abarque y de su duración en el tiempo. La mayoría de las preocupaciones humanas se concentran cerca del origen de coordenadas, es decir la mayoría de las personas orientan casi todos sus esfuerzos a su sustento diario y al de sus familias. Otras personas piensan y actúan en torno a problemas más alejados en espacio y tiempo, por ejemplo las presiones que perciben no sólo los afectan a ellos en particular, si no a toda la comunidad con la que se identifican. Las acciones que emprenden duran no sólo días, sino semanas o años. Las perspectivas de tiempo y espacio de una persona dependen de su cultura, de sus experiencias pasadas y de la urgencia de los problemas a que se enfrenten en cada nivel.

La mayoría de la gente necesita primero haber resuelto con éxito los problemas en una área reducida, para después transferir sus intereses a una más amplia. En general, cuanto más amplio sea el espacio y mayor el tiempo relacionados con el problema, menor será el número de personas efectivamente interesadas en su solución.

De lo anterior se concluye que todos los fenómenos naturales que afectan a un individuo lo hacen a diferente nivel y a través de los modelos podrá jerarquizar sus problemas y situarlos ordenadamente en la gráfica de espacio-tiempo. Por lo tanto un MODELO es simplemente un cuerpo ordenado de hipótesis acerca de un sistema complejo; es un intento por entender algún aspecto de la infinita variedad de los fenómenos naturales que presenta el mundo, seleccionando a partir de percepciones y de experiencias pasadas, un cuerpo de observaciones generales aplicables al problema.

Por ejemplo, un agricultor utiliza un modelo mental de su tierra, sus propiedades, las posibilidades del mercado y las condiciones climáticas del pasado para decidir lo que ha de sembrar cada año. Un agrimensor construye un modelo físico (un mapa) para ayudarse en la planeación de un camino. Un economista utiliza modelos matemáticos para entender y predecir el flujo del comercio internacional.

Quienes toman las decisiones a todos los niveles utilizan inconscientemente modelos mentales para elegir entre diversas políticas que darán forma al mundo futuro. Estos modelos mentales son, por necesidad, muy sencillos si los comparamos con la realidad a partir de la cual han sido abstraídos. El cerebro humano únicamente puede registrar un número limitado de las complicadas interacciones simultáneas que determinan la naturalidad del mundo real.

Si retrocedemos en el tiempo veremos que el hombre se vió en la necesidad de implementar herramientas para poder reflejar los modelos - que formaba de todos aquellos fenómenos que observaba, de esta necesidad de modelar nació la escritura, las matemáticas, la pintura que no son sino instrumentos con los que el ser humano es capaz de modelar todo su mundo y ejercer control sobre el mismo.

1.2. ESTRUCTURA DE LOS MODELOS.

Tomando en cuenta que un modelo es una serie de hipótesis que se formulan sobre un fenómeno que se presenta, éste debe contar con cierta estructuración, o sea que debe de existir una secuencia lógica de su desarrollo, lo cual se ve reforzado por el método científico, al cual se le podría considerar como la regla general de la estructura de cualquier modelación.

Con base a lo anterior se establece que los pasos sucesivos en la evolución de todo modelo son:

- 1.- Establecer el problema al que se enfrenta, es decir definirlo; lo cual involucra el colocarlo dentro del plano espacio-tiempo. En este primer punto también debe incluirse la selección de las variables pertinentes de tal evento.
- 2.- Una vez definido el problema se procede a buscar los instrumentos que existen para poder determinar el comportamiento del fenómeno, es decir se establecen las relaciones funcionales entre las variables.
- 3.- Posteriormente se deben dar valores a las constantes de estas relaciones y
- 4.- Se debe buscar relacionar este modelo con otros para obtener una modelación más compacta e integrada.

Es importante ver que la finalidad primordial de todo modelo es el de llegar a emitir un juicio sobre el problema para que se tome una acción

tal que con ésta se maneje la situación y se pueda ejercer un control sobre la misma.

Una vez implementado el modelo formal se procede a comprobar su validez, para que posteriormente si ésta es acertada, llegue a convertirse en un modelo real.

Creemos que antes de irse enfocando hacia el tipo de modelado que se pretende en este trabajo, es conveniente el hacer resaltar una diferencia en cuanto a nuestro mundo y en cuanto a los modelos que de éste se han hecho y que que es la siguiente.

Todos los fenómenos que se presentan en la naturaleza los podemos dividir en dos grandes grupos o conos:

a).- Mundo Entrópico, y

b).- Mundo No-Entrópico

En el mundo que se le ha denominado Entrópico entran todos aquellos fenómenos cuyo comportamiento o desarrollo no es aleatorio, sino que gracias a esta evolución predecible han surgido las Leyes Físicas.

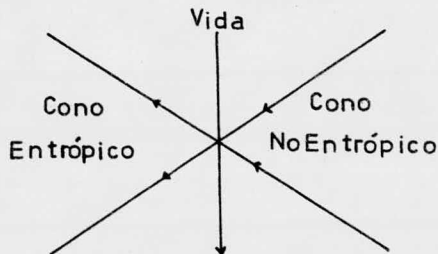
El otro grupo involucra fenómenos aleatorios, como es el caso de todos aquellos problemas que están en función del ser humano y aún más específicamente los fenómenos económicos que son de especial interés para cualquier modelo que se enfoque al Sistema Energético.

Los modelos que se han construido del mundo Entrópico han permitido que la humanidad resulte beneficiada, ya que gracias a ello se ha podido ejercer control sobre casi todos los fenómenos que pertenecen a dicho mundo, como por ejemplo el hombre ha levantado ciudades, ha construido

motores y máquinas que le han servido para alimentarse y vestirse, en fin nunca se terminaría por enumerar todos los modelos a través de los cuales se ha imitado a la naturaleza y que han facilitado la trayectoria seguida por el hombre a través del tiempo.

Los modelos surgidos en el mundo No-Entrópico pertenecen a todos aquellos relacionados con la lógica de la vida y presentan cierto grado de aleatoriedad, como por ejemplo tenemos el caso de los modelos que han tratado de emitir hipótesis sobre el comportamiento de una colonia de hormigas, de aves o de abejas; mayor aún la infinidad de modelos enfocados sobre el mismo ser humano, como los modelos de la psique, de los instintos y sentimientos; aquéllos que han modelado el desarrollo de una sociedad a través de parámetros económicos o el de una enfermedad o epidemia que haya azotado a un grupo humano en determinada época; en fin este mundo abarca aquellas relaciones que se han presentado por la acción de la vida y aunque el ser humano ha procurado normalizar o ajustar estos fenómenos bajo ciertas teorías o leyes, nunca ha podido obtener el completo control de ellos. Prueba de esto lo vemos palpable en infinidad de Teorías Económicas o Sociales, que tratan de normar la conducta humana.

De estos dos mundos se puede formar un esquema como sigue:



De éstas dos zonas se puede decir que en el mundo No-Entrópico es donde se toman decisiones, de aquí que sea el cono de acción, mientras que la zona Entrópica representa el cono de influencia.

Las anteriores explicaciones vienen a formar la filosofía de todo modelo, lo cual debe tomarse muy en cuenta para formular cualquiera - que se pretenda hacer sobre algún fenómeno, sin embargo de acuerdo al objetivo de ésta tesis, sólo se verá el enfoque hacia el patrón de flujo - de los energéticos. Por lo tanto a continuación se describirá el panorama que predomina en México para la posibilidad de implementar un Modelo Energético.

1.3. SITUACION ENERGETICA Y NECESIDAD DE UN MODELO ENERGETICO

Es interesante el recordar que la era industrial nació y se desarrolló en Europa Occidental por el carbón y sobre el carbón; después cruzó el Atlántico para que encontrara en América un mayor impulso (más acelerado) con el petróleo y el gas natural. Sin embargo, la Europa que siguió a la Segunda Guerra Mundial tuvo que enfrentarse a la escasez de recursos energéticos, lo cual trajo consigo la esperanza del átomo, muy distante de ser una realidad, mucho más lejos que los desiertos árabes y africanos, por lo que Europa tuvo que permitir el paso al flujo del petróleo importado, todo ello para imitar el ritmo de industrialización de los E.U.A.

Si hoy en día el mundo se encuentra en la era del petróleo y no continúa la del carbón, es porque ha sido más cómodo emplear aquel por su fluidez y por su relativa facilidad de producción que es menos costosa que la del carbón. Aunado a esto surge el gas natural, recurso cuya facilidad de uso roza en la excelencia, de aquí que sea clara la razón por la que el petróleo ha conquistado el primer puesto entre los recursos energéticos.

Otro punto que pasa a formar parte de éste marco de referencia es la distribución geográfica de los recursos energéticos, que como se ve hay países que tienen y otros que no, de tal forma que podemos clasificarlos sencillamente en:

a.- países ricos en recursos energéticos y grandes consumido--

res de energía.

- b.- países pobres en recursos energéticos y grandes consumidores de energía.
- c.- países ricos en recursos energéticos y poco consumidores y
- d.- países pobres en recursos y poco consumidores.

México se puede localizar en el primer grupo, constituyendo un ejemplo de feliz equilibrio, el cual debido a todas las tendencias mundiales puede romperse y provocar que se caiga lógicamente, en un desequilibrio desfavorable para el país.

Un aspecto importante es que el temor a la escasez que domina la historia de la energía desde el comienzo del siglo no es del todo cierta y este ha llevado a la búsqueda de nuevos recursos que siempre se -- han encontrado en abundancia: ayer fué el carbón, hoy es el petróleo, -- mañana el uranio y el sol "natural" o "artificial" posteriormente. O sea, que el hombre ha pasado y seguirá pasando sucesivamente de un sistema energético a otro, igual que ha evolucionado de una civilización a otra -- en oleadas progresivas.

Como ya se dijo arriba, hoy estamos en la era de los hidrocarburos y específicamente en la era del petróleo. De hecho, debido a la inercia de las sustituciones es evidente que existe cierto grado de solapamiento: El carbón acaba su reinado como compañero envejecido y el uranio ve comenzar el suyo como sucesor impaciente de un petróleo hoy reinante.

Este esquema de los sistemas energéticos, acoplándose o recu--

briéndose sucesivamente y siempre en el momento oportuno es tan perfecto que el problema de la energía parece resuelto.

Paralelamente a ésta evolución de los combustibles primarios, -- nuestro mundo mecanizado se ha ido electrificando progresivamente. A -- proximadamente un 22% de nuestra oferta de energía se utiliza hoy en -- forma de electricidad, la que es de empleo limpio y casi universal; é-- ste porcentaje posiblemente se elevará hasta un 30 ó 35% para finales - del presente siglo, posteriormente a largo plazo, no es impensable que se llegue a un universo totalmente eléctrico.

Teniendo en cuenta ésta suposición es claro ver que existen di-- ferentes posibilidades de elección entre los diversos recursos energéti-- cos primarios, ya que mientras para los hidrocarburos (petróleo y gas natural) se habla de un abastecimiento del orden de decenios y para el carbón de siglos, se ha dicho que para el caso en que estos combusti-- bles fósiles tradicionales llegasen a faltar, las reservas teóricas de -- Uranio y de Torio se cifrarían en milenios.

Más allá del Uranio también existen posibilidades de captar la-- energía del sol (como se hace ya en pequeña escala en los satélites), o bien realizar en la Tierra soles en miniatura domesticando la energía - termonuclear, es decir, a fin de cuentas "quemando" el Hidrógeno infi-- nito de los océanos.

De todo lo antes dicho se puede desprender que en cierta forma se tiene resuelto el problema de los recursos energéticos, más sin -- embargo, la realidad es que los países desarrollados han obtenido tal avance a través de los proyectos extremadamente energívoros sobre --

los cuales nunca se ha aplicado ningún freno y que al disponer de energía, se despilfarra.

Al enfocarse sobre el aumento del consumo de energía se ve -- que, paralelo a éste, ha ocurrido el crecimiento demográfico.

Desde principios de siglo, la tasa anual mundial en el aumento del consumo ha sido regular hasta 1913, de 3 a 3.5%, para el aspecto demográfico del orden de 0.6 a 0.7%; para el periodo 1913-1952 para la energía tuvo un promedio de 2%, en el otro caso se elevó a 1.34%. Por último en las tres anteriores décadas ha surgido cierta disparidad en éstos índices de crecimiento y por ende es imposible hablar de una tasa mundial, sino que comienzan a dividirse regionalmente, es decir, mientras que los mayores índices del aumento del consumo de energía los tienen los países desarrollados, las mayores tasas de crecimiento demográfico ocurren en los países no desarrollados, de tal forma que en el consumo energético aumenta hasta 5% y en la población supera al 2% anual.

De éstos últimos índices se concluye que la población mundial se duplicaría en 30 años y que se necesitaría el doble de recursos energéticos cada 15 años.

Estos crecimientos se introducen en el campo de las exponenciales, lo cual es interesante por la enormidad misma de los resultados que se alcanzan, ya que una variable puede crecer durante mucho tiempo paulatinamente y seguidamente en dos o tres periodos crecer en -- forma alarmante.

Sin embargo pensar que la curva de crecimiento exponencial del consumo de energía seguirá sin desfallecer hasta el día en que de repente, todos los recursos se agoten de golpe, no es realista. Se concibe mal, salvo en un universo surrealista, todos los pozos de petróleo secos, todas las minas de carbón súbitamente estériles, todos los focos apagándose en el mismo instante, todos los vehículos inmovilizándose o todas las fábricas parando sus labores en una glaciación inmediata y definitiva. De hecho si se aplican los rendimientos decrecientes, se concibe que la obtención de una materia prima sea cada vez más costosa a medida que se hace más rara, que ha de extraerse de yacimientos más pobres, más lejanos y más profundos.

De lo anterior se deducen curvas de consumo que sólo son exponenciales en una primera fase. Si se consideran los consumos anuales acumulados, las curvas que se obtienen, exponenciales al principio, se inflexionan luego de alcanzar un máximo, siguiendo las llamadas curvas logísticas. El punto de inflexión es de un gran valor pues constituye lo que podríamos llamar un "testigo", indicador de la acción progresiva de un freno. En general éste tipo de curvas son en forma de campana, que se traducen en una primera fase de utilización creciente, un máximo y una fase de abandono progresivo. El interés de éstas curvas consiste en mostrar la duración total de vida de las reservas.

Hasta ahora se han puesto de relieve dos problemas que se han desarrollado conjuntamente y son:

- a) Crecimiento exponencial de la población, y
- b) Crecimiento exponencial del aumento del consumo de ener-

gía:

además se ha justificado parcialmente el hecho de que por lo que res
pecta a la fuente energética se cuenta con ella, de manera que el pro
blema de la falta del recurso no debe esperarse para un futuro cerca
no.

Sin embargo, un tercer problema que se presenta alarmante es
la contaminación del ambiente y al igual que las tasas crecientes de
población y consumo de energía, aumenta de una forma casi exponencial.

Por esto se ha llegado a pensar que si en los próximos años o
decenios no se hace nada por controlar este envenenamiento de la atmóss
fera por el gas carbónico, el gas sulfuroso, los hidrocarburos incom-
pletamente quemados, los óxidos de nitrógeno, etc. será tal la situa--
ción que influirá sobre la salud del ser humano induciendo muertes en
número creciente.

Existe tal relación en estos dos fenómenos que si el nivel gene
ral de contaminación, deducido a partir de la suma de todos los agen-
tes contaminantes liberados en la tierra, fuese veinte veces más eleva
do que el nivel actual habría el doble de muertes por cada mil habitan
tes de hoy y si este nivel de contaminación se multiplicase por sesen-
ta, habría diez veces más.

Es preciso ver que a pesar de que existe abundancia de recur-
sos a escala mundial para las necesidades inmediatas, también hay un
problema de aprovisionamiento y de distribución entre naciones; como
ya se había mencionado, hay países que tienen recursos y otros no y

algunos consumidores y otros menos, lo cual viene a formar una geopolítica de los recursos y de la utilización de la energía y precisamente ésta ha guiado y guiará las políticas energéticas nacionales y regionales.

Hecho palpable de esto y que ha sido la gota que derramó el vaso fué el embargo petrolero de 1973, lo cual vino a colocar a los países productores principalmente de petróleo en una postura fuerte, tal que a medida que se habla de la alternativa de la energía nuclear del mañana, más tienden a aumentar hoy la presión sobre países energívoros, misma que no se dejará de ejercer durante algún tiempo.

El mundo actual se puede enfocar estáticamente como una pintura en donde la región oriental (Rusia y China) se encuentra aparentemente tranquila, con las suficientes reservas de energía para no detener su máquina evolutiva y a la vez para que le dé tiempo a desarrollar la tecnología adecuada que les aseguren su abastecimiento energético por un largo periodo.

Como una segunda parte de este panorama se tiene a los países de Oriente Medio, del Extremo Oriente, Africa y Latinoamérica poseedores de cierta riqueza que intentarán sacrificar con el mayor provecho posible en favor de un mejor desarrollo económico.

Una última zona de este cuadro, están Europa, Japón y Estados Unidos. Las dos primeras regiones hambrientas de energía y totalmente exiguas de las mismas; mientras que los Estados Unidos aunque con cierta cantidad de reservas, se tambalea por su alto crecimiento expo-

nencial del consumo de energía y si sabemos que no hay humo si no hubiese fuego, podemos estar seguros que el problema de esta última región en cierta forma existe.

Como reacción a la presión hecha por los países productores, esta última región se ha confabulado para hacer más drástica la situación y poder sacudirse en parte tal control. En México existen pruebas de este tipo de tendencias políticas.

Sabiendo pues, que la política energética guiará el destino final que se les dé a los recursos, es de suma importancia el tomar en cuenta estas corrientes mundiales para formular un Modelo Energético Nacional, ya que jamás podríamos aislarnos de la influencia de las mismas.

Sin embargo, es urgente que México mida sus capacidades para que con la potencia resultante de tales habilidades plané una expansión propia, que sea más independiente.

México dentro de los países en vías de desarrollo se sitúa como uno de los que presenta mayor dinamismo en cuanto al incremento acelerado del consumo de energía.

Si se observa la evolución de la estructura productiva del país en los últimos cuarenta años, se tiene que ésta ha cambiado de una economía fundamentalmente agrícola a otra de tipo industrial, de aquí que este factor opere como una de las principales causas que han conducido a las elevadas tasas de crecimiento de la demanda de energéticos en dicho sector.

Sobre este tipo de evolución han incidido indirectamente factores

como el desarrollo y el crecimiento económicos. Esta influencia se refleja en el desplazamiento de la población rural hacia las ciudades, debido principalmente a la pérdida neta de recursos en el campo y la menor redituabilidad de las actividades agropecuarias, trayendo consecuentamente la incorporación al mercado de la energía comercial, grandes núcleos de la población creando una demanda que antes de dicha migración no existía.

Mientras que en países poco desarrollados la mayor parte del - consumo de energía es de carácter doméstico, debido a que su producción se basa en actividades agropecuarias, las cuáles consumen poca energía, en el caso de México, que se encuentra en una etapa intermedia de su desarrollo, el consumo doméstico pasa a segundo término, orientándose la energía hacia el sector industrial y transporte.

Creemos que de todo el panorama que se ha venido describiendo tanto a nivel mundial, de las tendencias políticas que han surgido y la situación del país, el problema energético no es tanto en cuanto a los recursos, sino a los procedimientos de transformación de estos recursos en energía utilizable, es decir en trabajo.

Este es el caso de México y específicamente en el sector energético que como se sabe por ley están bajo control estatal.

Como resumen de este punto tenemos:

- 1.- En cuanto a fuente energética, hoy en día el mundo vive el reinado de los hidrocarburos (crudo y gas natural) por la fluidez y facilidad de producción.

- 2.- De acuerdo a la trayectoria histórica, se puede decir que la humanidad caerá en otro sistema energético distinto de los hidrocarburos, pero las perspectivas son a largo plazo.
- 3.- Sin afirmar que el crecimiento demográfico sea causa primordial del aumento del consumo de energéticos, sin embargo si afecta a éste indirectamente.
- 4.- Existe el problema de la contaminación ambiental, sobre la cual incide en parte el alto consumo de energéticos, por lo que todo modelo de planeación energética debe contar como limitante las concentraciones máximas permisibles de contaminantes.
- 5.- Aunque el aumento exponencial del consumo de energéticos existe a nivel mundial, en México la crisis se acentúa en la explotación y distribución de los mismos.
- 6.- De acuerdo a la geopolítica de los recursos y de la utilización de la energía (ya descrita anteriormente), es preciso que México planifique bien a través de la modelación la explotación y distribución de sus recursos energéticos.

Después de haber establecido estos puntos básicos para el mejor entendimiento de la necesidad de planificar las reservas energéticas del país, se discutirán dos puntos concernientes al Modelado Energético.

- I.- Efectividad de un Modelo de Planeación Energética en México.
- II.- Efectividad de las herramientas usadas en los modelos ya hechos y facilidad de construirlos.

I.- Como ya se vió en la introducción del trabajo, la razón del mismo fué el hecho de darse cuenta que México se vislumbraba como un país con buenas fuentes energéticas, que existe crisis en su explotación y distribución de los bienes obtenidos de estas fuentes y por último que debería planificarse tal explotación y distribución.

De inmediato surge la pregunta:

¿ De qué forma se puede obtener la mejor Planificación Energética?

Después de irse documentando, se llegó a la conclusión de que la mejor planificación de los energéticos se puede obtener a través de modelar el flujo de los mismos desde que se tiene como recurso hasta que se transforma en un bien o servicio implícita o explícitamente.

Posteriormente se decidió buscar el tipo de modelo comúnmente empleado para este fin, por lo cual como primer paso era preciso analizar los trabajos ya hechos. Esto se hará posteriormente, pero ahora nos ocuparemos de ver si es o no efectivo un modelo que planifique los recursos disponibles.

Todo modelo tiene por objeto el de emitir una serie de hipótesis sobre el comportamiento de un fenómeno o situación de la naturaleza o mejor dicho del universo, para poder obtener un control sobre tal comportamiento. Un modelo de tipo energético teóricamente debería ser formulado con el objeto de obtener un patrón general de qué es lo que se hace con cada unidad de energía la cual podría ser trans

formada en alguna otra manifestación física pero de mayor utilidad y una vez obtenida esta fórmula ver si el uso de tal unidad energética es adecuado, si es el mejor que se puede hacer de ella o inclusive determinar si fuera más conveniente algún otro destino para tal recurso, es decir sirve para decidir entre alternativas y nos ofrece la oportunidad de tomar decisiones.

En México como ya es conocido, por ley corresponde al Estado la explotación de toda fuente de energía primaria y la generación de corriente eléctrica como fuente secundaria (excepto la hidroeléctrica) y la distribución de ambos bienes por considerarlo patrimonio nacional. Con base en esta ley se tiene el establecimiento de organismos paraestatales encargados de tales derechos y obligaciones como Petróleos Mexicanos (PEMEX), Comisión Federal de Electricidad (CFE), Compañía de Luz y Fuerza del Centro (CLFC, en liquidación) y el hoy desaparecido Instituto Nacional de Energía Nuclear (INEN) y a la cabeza de todos ellos está la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial (SEPAFIN).

Por razones socioeconómicas y políticas estos organismos presentan un alto grado de ineficiencia en cuanto a la explotación y distribución de los recursos energéticos, lo cual ya se había señalado anteriormente, de aquí que estos eslabones sean los que se deberían de modelar con mayor atención en la cadena que determina el flujo de los recursos; por lo tanto, es obvia la necesidad de construir un

modelo, sin embargo de acuerdo a la investigación hecha al respecto, se ha llegado a la conclusión de que no resulta la efectividad que debiera tener un modelo, básicamente porque México es un país con un gran dinamismo en cuanto a su patrón de desarrollo "controlado" por organismos gubernamentales y sector público en general, trayendo como consecuencia que cualquier intento de modelar el flujo de energéticos se encuentre como problema fundamental que tal dinamismo ocasiona la imposibilidad de determinar dicho "patrón de flujo".

II.- Como ya se mencionó arriba, todo modelo energético debería estar implementado de manera que se obtuviese un patrón de flujo energético, como por ejemplo en la selección del espesor óptimo de aislante para algún equipo o para un tubería que conduzca vapor, el modelo que se obtiene nos determina qué es lo que se hace con cada unidad de energía en ese equipo o en esa tubería y nos ofrece alternativas para decidir la cantidad de aislante óptimo que se necesita para disminuir los costos de un determinado proceso; de forma similar se ha intentado implementar modelos energéticos pero con distinto enfoque y grado de complejidad.

En el anterior ejemplo el modelo se determina para un cierto límite de espacio (el equipo o la tubería) y para un tiempo (podría tomarse el tiempo de vida útil del equipo o del aislante), de igual forma pueden ir surgiendo modelos de mayor o menor magnitud en espacio-tiempo a lo cual se le podría denominar como nivel de agregación o desagregación (la agregación generalmente solo se refiere al espacio).

De acuerdo a éste nivel de agregación, se tienen modelos que establecen las interrelaciones energéticas entre equipos, plantas, procesos, compañías, industrias, actividades económicas, sectores económicos o entre economías de distintos países o regiones geopolíticas; por esta razón existen clasificaciones de modelos en relación al orden de agregación que presentan en su formulación.

Cuando se inició la investigación de los modelos energéticos se tuvo la necesidad de contar con una clasificación de éstos para poder tener un marco de referencia, por lo que se optó tomar la clasificación hecha por investigadores de los Estados Unidos expertos sobre modelado de sistemas energéticos*. Dicha distribución menciona que los modelos se pueden ordenar de acuerdo a su complejidad (nivel de agregación) en cuatro grupos: modelos sectoriales, de mercado industrial, del sistema energético y modelos energético-económicos.

1. los modelos sectoriales abarcan la oferta o demanda para combustibles específicos o diferentes formas energéticas,
2. los modelos de mercado industrial incluyen las interrelaciones tanto de la oferta y la demanda para combustibles individuales o relacionados,
3. los modelos del sistema energético engloban las relaciones que surgen de la oferta y demanda para todas las

* Hoffman, C.K. (Brookhaven National Laboratory, Upton, New York 11973) & Wood, O.D. (Energy Laboratory, Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Mass. 02139). "Annual Review of Energy" Vol. 1, 1976. Ed. Annual Review Inc. p. 423-453.

fuentes energéticas,

4. los modelos energético-económicos modelan las interrelaciones del sistema energético y toda la economía.

Los trabajos obtenidos tuvieron que distribuirse bajo esta clasificación de forma un poco arbitraria, por el hecho de que no cumplían completamente con la definición de cada tipo de modelo, sin embargo después de haberlos analizado se ha llegado a definir ciertos rubros - bajo los cuales podrían quedar mejor clasificados en función del espacio y del tiempo o de acuerdo al objetivo que pretenden obtener.

Como resultado de este análisis se llegó a que con respecto al tiempo existen modelos "dinámicos" y "estáticos", aunque hay algunos rubros como "parcialmente dinámicos". En esta clasificación la diferencia fundamental es que los dinámicos van cambiando en función del tiempo. Por el hecho de que existen relaciones complicadas de un conjunto de variables entre sí, por lo general no es posible obtener un modelo que simplifique o concentre todas las relaciones en una sola ecuación diferencial y como única variable el tiempo, de aquí que se podría decir que no se puede obtener un modelo totalmente dinámico, de acuerdo al concepto estricto de la palabra.

Como contraparte, los "estáticos" no están en función del tiempo y determinan las interrelaciones que existen entre entes físicos o entre organismos empresariales para un tiempo "fijo", es decir al señalar tales transacciones, ofrecen una radiografía de un cierto campo.

Por lo que respecta a los objetivos que se persiguen, los dinámicos tratan de proyectar hacia un futuro, alguna o algunas variables de interés para el sistema energético, mientras que los estáticos por lo general tratan de determinar la manera en que se interrelacionan equipos, procesos hasta los sectores de la economía de algún país o inclusive entre economías de distintos países para un tiempo fijo, generalmente se usan los datos obtenidos para un determinado año.

Los modelos de tipo dinámico para poder obtener proyecciones de alguna variable "explicativa" del patrón de flujo de los energéticos, hacen uso de herramientas estadísticas como los análisis de correlación y regresión, junto con las pruebas de hipótesis y las bondades de ajuste.

Como ya es conocido el análisis de correlación y regresión tratan de encontrar el mejor ajuste de una serie histórica del consumo de un determinado producto energético, por ejemplo de gasolinas, de combustóleo o gas natural, el cual se puede hacer para un nivel de agregación fijado. En otras palabras se concluye que los modelos dinámicos hacen uso de datos históricos para que con estos se trate de proyectarlos hacia un futuro.

Se ve que estas técnicas tienen bastantes deficiencias, donde la principal es que suponen una trayectoria futura igual a la del pasado, las variables correlacionadas son precisamente eso y no son realmente explicativas de la trayectoria de la variable dependiente en el tiempo.

Los modelos estáticos por lo regular hacen uso del Análisis de Actividades, que utiliza la Programación Lineal con lo cual se logra

obtener una red que interconecta diferentes actividades. Este tipo de técnica ofrece la oportunidad de conocer la distribución que se tiene de los energéticos u otra alternativa es determinar el contenido energético de algún bien o servicio de demanda intermedia o final.

Existen otros ejemplos de modelos estáticos que utilizan la misma técnica de Programación Lineal, pero para optimizar la distribución de los productos energéticos. Para alcanzar tal optimización se fija alguna función objetivo como por ejemplo buscar la mejor distribución para conseguir satisfacer la demanda al menor costo posible y se llega a obtener la mejor función objetivo haciendo uso de cálculos iterativos para una serie de hipótesis.

Existen modelos que tratan de combinar un aspecto estático con un dinámico, llegando a modelos parcialmente dinámicos los cuales siguen usando las herramientas antes mencionadas para analizar y proyectar, pero como es lógico pensar, la proyección a largo plazo no puede lograrse con un alto grado de exactitud, por lo que este tipo de modelo sólo debe usarse para visualizar el comportamiento del flujo energético a un corto plazo (2 o 3 años).

De lo antes señalado, se tienen herramientas mucho muy sencillas matemáticamente, aún cuando los modelos por lo general no se enfocan a un estado de desagregación muy alto, es decir los modelos analizados se dedican cuando mucho a un nivel industrial como mínimo nivel de agregación o a trabajar con una serie histórica de la distribución por tipo de industrias de un determinado producto energético. Sin

embargo, las herramientas resultan ser muy sencillas que al final de cuentas se justifican por el hecho de que del mínimo nivel de agregación se extienden de tal manera que llegan a abarcar niveles más altos y resultaría muy complicado el tratar de aplicar matemáticas más depuradas.

De lo dicho se puede desprender que un modelo será más efectivo en cuanto a las conclusiones obtenidas por el mismo, cuanto mayor sea el intervalo de agregación que analiza.

En conclusión, se tiene que las matemáticas utilizadas son sencillas, lo cual es valioso porque los modelos en general adquieren un alto grado de complejidad en cuanto a espacio se refiere.

Se ha visto que en México se carece de información agrupada, congruente y que sea fidedigna para poder utilizarla en los modelos y que los resultados sean reales.

Por lo que respecta a la agrupación se observa que muchas veces sí existe la información de las transacciones y consumos de energéticos, pero está dispersada por lo que se necesita tratar de formar un banco de datos exclusivo de los energéticos. La Serie de Volúmenes del Instituto Mexicano del Petróleo, IMP llamado Energéticos ha venido a aliviar en parte esta deficiencia, sin embargo sería de mucha mayor utilidad si se propone que toda esa información sea más congruente escogiendo una unidad de energía que sea común como es el caso de las Kilocalorías. Otro punto a discutir es el hecho de que mucha de la

información que se llega a obtener no resulta ser fidedigna con lo cual se afirma que toda conclusión de algún modelo debe tomarse con cierta reserva.

Como antecedente al resto del trabajo, se señalarán algunas características generales usadas en los siete modelos recopilados. Sin embargo, conforme se va exponiendo cada trabajo, se detallan más la estructura y las suposiciones que consideran cada uno.

Tanto ENERGETICOS como INTERCON pertenecen a la misma serie de modelos y por ende utilizan la misma herramienta para poder optimizar una función objetivo y que es la programación lineal. Ambos modelos son parcialmente dinámicos y varían en la optimización, ya que mientras INTERCON trata que las demandas en distintos puntos de tiempo y espacio se obtengan a un costo mínimo, ENERGETICOS estipula la selección de inversiones de procesos alternativos en tres industrias o actividades para poder obtener las salidas necesarias a costos mínimos constantes, considerando los flujos interindustriales o intersectoriales entre las mismas.

Estos modelos presentan cada uno su nivel de agregación, --- ENERGETICOS es multisectorial e INTERCON es multiregional; sin embargo, esto influye en las restricciones que señalan, en las cuales llegan a determinar en forma exógena ciertas demandas, que vienen a fijar de antemano algunos límites en los resultados que llegan a obtenerse finalmente. Muchas veces tales demandas exógenas carecen de una base firme para asegurar que esos valores sean los correctos, -

pues para estimarlas se extrapola la tendencia.

Hay que hacer la aclaración que ésta serie de modelos se construyó en 1970, fecha anterior al embargo petrolero, por lo que la finalidad de los mismos no era la centrarse en los energéticos exclusivamente, sin embargo hoy en día se siguen construyendo modelos de optimización parcialmente dinámicos, los cuales a nuestro juicio resultan ser los más apropiados para determinar la planeación de energéticos.

Por lo que respecta al trabajo publicado por el Centro de Investigación y Docencia Económicas, CIDE, se señalan tres metodologías para poder pronosticar la demanda de energéticos. Tal pronóstico es importante para la planificación del desarrollo de la oferta de acuerdo con los recursos disponibles y también para la toma de decisiones - que modifique el patrón de consumo.

La primera técnica es haciendo uso de funciones econométricas a través del análisis de correlación. Tal herramienta como ya se ha señalado, hace el supuesto de que la variable que se pretende pronosticar seguirá la misma trayectoria que en el pasado, es decir que las interrelaciones existentes con los parámetros explicativos de tal variable continuarán ejerciendo el mismo efecto histórico, lo cual representa una limitación para el buen pronóstico de la variable.

Como segunda sugerencia es el análisis de sistemas-escenarios, la cual lleva a cabo como primer paso la determinación del sistema de demanda de energía para después establecer ciertas hipótesis de la e-

volución del sistema y llegar finalmente a obtener el nivel de demanda de los energéticos.

El desarrollo hecho en éste trabajo no es más que un ensayo el cual, sólo muestra algunas relaciones entre el consumo de energía y factores que influyen en dicho consumo.

Esta técnica presenta dos deficiencias, una para la determinación del sistema y la otra para los escenarios. Para obtener los factores del sistema por lo general se vuelve a hacer uso de la extrapolación de la tendencia a falta del número suficiente de datos. En el caso de los escenarios, las hipótesis que se establecen para la evolución del sistema resultan ser eso, sólo suposiciones de la forma en que podría evolucionar la demanda de los energéticos.

Cuando se tiene una modelación correcta de una reacción química o un reactor, se puede estar más seguro de que en el transcurso del tiempo tal reacción o reactor seguirán el comportamiento previsto y no sólo serán suposiciones las que puedan formularse sobre el patrón de evolución del sistema.

El modelo de simulación también carece de un total dinamismo, ya que lo que pretende es generar series de tiempo de los parámetros del sistema a través de sus tasas de crecimiento las cuales se podrían determinar a partir de información histórica o bien por la interconexión de los elementos del sistema, pero se vuelve a caer en la tendencia histórica.

El modelo BESOM es de optimización parcialmente dinámico, utiliza la programación lineal y los resultados ofrecen el menor cos

to ó el mayor beneficio que produciría la implantación de una nueva política o una nueva tecnología de algún proceso.

Por último la metodología que se expone en el trabajo titulado--- "Patterns of Urban Household Energy Use in Developing Countries: The Case of Mexico City", en realidad viene a ser similar a la del análisis de sistemas-escenarios ya descrito anteriormente, con la diferencia de que en este estudio se señala que en realidad se debe pensar que toda la energía fluye directa o indirectamente a través de bienes y servicios a un punto común para todos los flujos y que es la demanda final de -- los hogares, es decir que la familia viene a ser la unidad mínima de-- consumo de energéticos. Aunque de esta sugerencia, sólo se intenta aplicar para la zona urbana del Valle de México.

CAPITULO II

MODELOS SECTORIALES

- 2.1. Introducción
- 2.2. Modelo ENERGETICOS.
 - 2.2.1. Estipulaciones de tiempo y espacio
 - 2.2.2. Estructura del modelo de programación.
 - 2.2.3. Industria Siderúrgica
 - 2.2.4. Industria Eléctrica.
 - 2.2.5. Industria del Petróleo y Gas Natural.
 - 2.2.6. Ecuaciones usadas en el modelo.
- 2.3. Modelo INTERCON
 - 2.3.1. Formulación algebraica del modelo multiregional
 - 2.3.2. Formulación de la Programación Entera Mezclada.
 - 2.3.3. Algoritmo Entero Mezclado para la Evaluación de Proyectos.

2.1. INTRODUCCION.

Los siguientes cuatro capítulos incluyen ejemplos representativos de los modelos que han sido desarrollados y aplicados en México al análisis -- del sistema de energía y al desarrollo de pronósticos para propósitos de -- planeación. El objetivo es enfatizar las suposiciones y metodologías de los modelos.

Como ya se había mencionado, los modelos de energía son discutidos en varios grupos de acuerdo a su alcance (complejidad) y clasificados desde modelos orientados hacia la oferta de un solo combustible hasta modelos que engloban el sistema total de energía e inclusive al acoplamiento de éste en la economía nacional.

Sencillamente ninguna clasificación de los modelos de energía puede representar todas las características importantes; la clasificación adoptada pretende visualizar el alcance de ciertos modelos. En cada uno de los grupos, tanto los modelos orientados hacia las actividades o hacia la ingeniería del proceso como los modelos econométricos son usados grandemente. Estas formulaciones son frecuentemente combinadas para capturar la magnitud de la técnica del proceso al representar los detalles técnicos y la habilidad de los métodos econométricos para señalar aspectos del comportamiento del sistema energético.

En este capítulo se analizan los trabajos que podrían ordenarse bajo el rubro de modelos sectoriales.

Los modelos sectoriales se definen como la relación que surge entre algunos procesos de energía específicos o alguna actividad y el mercado que

de ellos se hace. Típicamente los modelos en esta categoría se enfocan ya sea sobre la oferta o la demanda del mercado. Los modelos del proceso se usan más frecuentemente para caracterizar la oferta de energía y la expansión de la capacidad, mientras que los modelos econométricos se usan para caracterizar la demanda.

2.2. MODELO ENERGETICOS *

Este desarrollo es tan solo uno de una serie de modelos de planeación a varios niveles. Para el nivel de agregación que tiene representa un estado intermedio entre un modelo regional llamado INTERCON (modelo de desagregado geográficamente para la industria eléctrica), el cual se describirá posteriormente, y DINAMICO (modelo I/O dinámico de toda la Economía Mexicana). Juntas, estas series de modelos intentan definir los flujos de información necesarios para integrar las decisiones sobre proyectos de expansión de los sectores.

El modelo sectorial ENERGETICOS permite la substitución entre procesos alternativos dentro de las industrias productoras de la energía en México: petróleo, gas y electricidad. También incluye actividades que usan energía alternativas para la manufactura del hierro y el acero. Excepto para la substitución del proceso en la industria del acero, este modelo no cuantifica la elasticidad de la demanda con respecto al precio de los productos energéticos. Se supone que los sectores energéticos son los que fijan el precio con respecto a sus entradas, pero que además fijan la salida de acuerdo a las entregas necesarias en otros sitios de la economía mexicana.

En este trabajo, para proyectar las demandas finales exógenas para cada producto se usaron los métodos de extrapolación de la tendencia.

Para este modelo, la optimización se estipula como una de las inversiones seleccionadas en procesos alternativos de tal manera que se obtengan

* Este modelo fué desarrollado para México en el año de 1970 por Guillermo Fernández de la Garza y Alan S. Manne. Se reportó en el capítulo 2 de la parte III del libro "Multilevel planning: case studies in México". p. 233-75.

las salidas deseadas para costos mínimos constantes, considerando los flujos intersectoriales. Cada solución genera un conjunto de incrementos en los costos para abastecer cada producto. Exceptuando los productos del petróleo, los niveles de exportación se especifican exógenamente.

Conforme a este tipo de formulación, la principal fuente de interdependencia se forma de los flujos intersectoriales de los combustibles industriales. (Como se sabe "combustibles industriales", se refieren al gas natural y al combustóleo convertidos a sus equivalentes caloríficos). Tanto el gas como el combustóleo se proporcionan bajo condiciones de costos marginales crecientes dentro de la industria petrolera. Existen las posibilidades comerciales entre estos combustibles fósiles y la introducción de plantas nuclear dentro de la industria eléctrica. De igual forma en la industria del acero, existen alternativas en el proceso los cuales podrían tener un impacto medible sobre el sector energético. El precio del transporte del combustible industrial se determina administrativamente a un nivel totalmente político. La estructura del modelo se muestra en la Fig. 2.1.

2.2.1. ESTIPULACIONES DE TIEMPO Y ESPACIO.

Debido a la incertidumbre que se tiene para predecir el lugar de la producción de aceite y gas en periodos futuros, no tiene una dimensión regional. Se supone como si cada proceso estuviese localizado en un punto representativo del espacio. Esta suposición presenta la ventaja de que reduce los cálculos y elimina las investigaciones detalladas que se necesitarían para corregir los costos del transporte de acuerdo a la estructura existente -

ESTRUCTURA DE ENERGETICOS

- 38 -

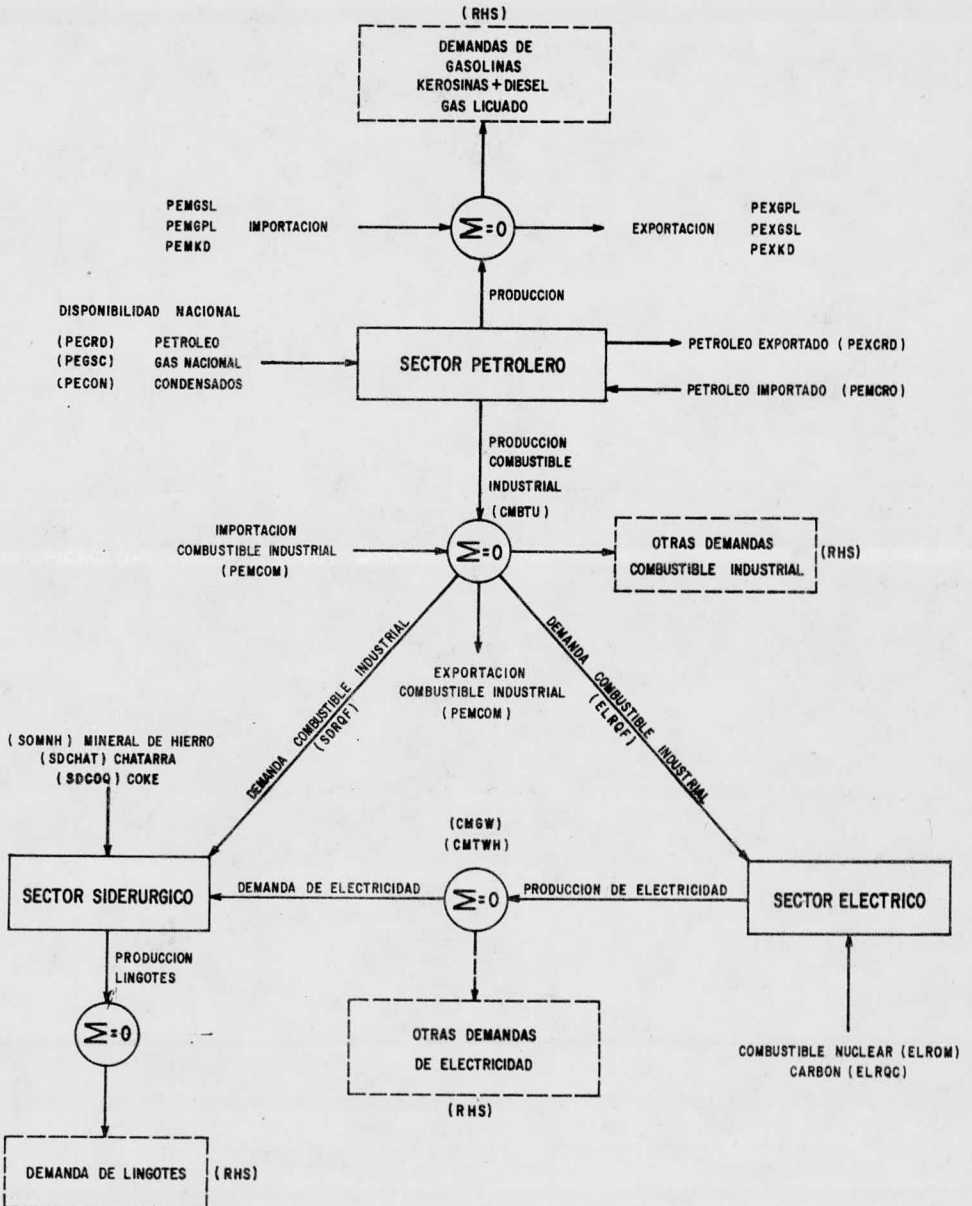


Figura 2.1



de ductos y vías de ferrocarril. Esta simplificación del modelo significa que de ninguna forma se puede emplear para seleccionar la óptima localización de plantas.

El tiempo juega un papel muy importante en cualquier modelo de inversión. Para este caso el año inicial se escogió el de 1974, para el período 1974-80, se calcularon balances de material para cada año. En el sector eléctrico se consideraron 3 intervalos adicionales de 5 años cada uno - el primero se extiende de 1981-85, el segundo de 1986-90 y el tercero de 1991-95. Este horizonte fué suficientemente largo para permitir el éxito de la tecnología de los reactores de crfa y por lo tanto un decrecimiento brusco en el costo de las primeras plantas nucleares. Para el período completo de 15 años, se supone que el precio de los combustibles fósiles es un dato para el sector eléctrico. Pero para el período cercano de 1974-80, el costo marginal del combustible es uno de los elementos que se determinan simultáneamente con las demás incógnitas del problema de programación.

La desagregación para cada año es útil para analizar las importaciones y exportaciones temporales que necesitan ser sincronizadas con la instalación de las mejores unidades indivisibles de capacidad.

Durante todo el modelo se emplean equivalencias de certidumbre, -- por ejemplo, en lugar de observar las entradas de agua al sistema hidroeléctrico como un fenómeno probabilístico, éstas se toman a sus valores promedio. Similarmente, en lugar de considerar explícitamente la influencia del tamaño de planta sobre la confiabilidad del sistema eléctrico respecto a interrupciones de suministro, se tomó un margen de reserva de capacidad generadora de 12%.

2.2.2. ESTRUCTRA DEL MODELO DE PROGRAMACION.

El arreglo que se hace es matricial, en el que los coeficientes del modelo se agruparon en tres secciones; cada una correspondiente a las restricciones que cada una de las tres industrias consideradas: petróleo y gas (PE), electricidad (EL) y siderurgia (ST) deben cumplir. Los únicos flujos intersectoriales consisten de tres productos: combustible industrial (restricción $CMBTU_t$), potencia eléctrica pico (restricción $CMGW_t$) y energía eléctrica (restricción $CMTWH_t$). Tales flujos se arreglan de tal manera que solo van en una sola dirección, además se hacen simplificaciones como por ejemplo, la industria petrolera se considera como productor del combustible industrial pero no como un significativo consumidor de electricidad. El sector eléctrico consume combustible industrial, mientras que el siderúrgico consume ambos, combustible industrial y electricidad.

Una vez que se definieron las interrelaciones entre los sectores, se intentó construir y probar los submodelos para cada sector independientemente. La tabla de análisis de actividades agrupó 213 hileras mas 15 filas que se emplearon por conveniencia para convertir los costos futuros de proyectos en su valor presente y para transformar los costos del comercio exterior en su valor nacional. Para tales efectos se usaron una tasa de descuento anual del 10% y un 15% como nivel de protección contra las importaciones y se convirtió el comercio exterior en moneda nacional a la paridad correspondiente para esos años. Estos parámetros de los costos son similares a aquellos comunmente empleados para la evaluación de proyectos para las empresas del sector público.

Para eliminar efectos de horizonte, los costos de la inversión inicial se convirtieron en flujos anuales a través de un factor de recuperación del capital determinado por la vida útil de los bienes de capital y por el 10% --- del costo de oportunidad del capital. Comenzando con el año en que la capacidad ya estaba en disponibilidad, los flujos descontados se suman sobre el resto del horizonte planeado.

2.2.3. INDUSTRIA SIDERURGICA.

Dentro de la industria siderúrgica las oportunidades principales para substituir entre recursos energéticos ocurren antes del laminado, por lo tan to los procesos de laminado se omitieron de la optimización y los lingotes - de acero se consideran como el producto final. Se fijó la estimación de la -- demanda de lingotes a una tasa anual compuesta.

Para satisfacer las demandas de la nueva capacidad de lingotes, se - tomaron en cuenta seis procesos alternativos -cada uno correspondiendo a - un tamaño de planta entero de 1.0 millón de toneladas anualmente.

Las restricciones fundamentales ($SDLIN_t$) consisten en que para cada período "t", la capacidad acumulada de producción de lingotes que se instale de cada proceso alternativo debe ser cuando menos igual a la demanda de lin gotes determinada exógenamente para el período "t".

Cada proceso alternativo tiene, además de costos diferentes de insta lación y operación, diferentes insumos de materias, combustible industrial y electricidad.

Los procesos alternativos que se consideraron fueron:

Relación de mineral de hierro a chatarra.

1. - Fierro esponja (HYLSA) + Horno de aceración eléctrico.	70/30
2. - Horno de electro reducción + <u>con</u> vertidor LD (CONOX)	75/25
3. - 'Pelets' prerreducidas + Alto <u>Hor</u> no + Convertidor LD (CONOX)	75/25
4. - 'Pelets' prerreducidas + Horno -- eléctrico de aceración	75/25
5. - Alto Horno + Convertidor LD (CONOX)	75/25
6. - Horno eléctrico de aceración no integrado	0/100

Se supuso que las materias primas (mineral de hierro, chatarra y coque) estaban disponibles en cantidades ilimitadas a costo marginal constante. No se supuso que el combustible industrial ni la electricidad, continuarían disponibles a la industria siderúrgica a costo marginal constante. Las actividades "SDRQF_t" definen los requerimientos de combustible fósil de la industria siderúrgica (ya sea como combustóleo o gas natural) en su equivalente calorífico en BTU. Estas son las actividades que ligan los procesos alternativos en las industrias petrolera y siderúrgica. Las demandas de electricidad de la capacidad que se instale de cada proceso entran directamente en las restricciones del sector eléctrico (CMGW_t) y (CMTWH_t).

2.2.4. INDUSTRIA ELECTRICA.

La demanda de electricidad se caracterizó en términos de sólo dos parámetros de la curva de duración de carga anual: la potencia pico anual y la demanda de energía anual. Esta representación de la demanda es suficientemente agregada para que en conjunto sea satisfactoria en las inversiones de planeación dentro del sector eléctrico.

Los KWH de energía eléctrica están agregados en un solo total anual. Esto simplificó el análisis de las uniones entre la electricidad y el sector petrolero, pero esto también significa que ENERGETICOS no puede resolver aquellos problemas de inversión que relacionan la comercialización geográfica entre los servicios de generación y de transmisión, de aquí que el problema de localización del servicio se maneja como una suboptimización por separado.

Los modelos más detallados de la industria eléctrica han sugerido que no se comete ningún error serio con varias simplificaciones posteriores: considerar los flujos de agua a los sistemas hidroeléctricos como determinísticos en vez de probabilísticos; omisión de toda turbina de gas para cualquier otro propósito que no sea el de la capacidad de reserva; tomar un factor del 12% para capacidad de reserva y los tamaños predeterminados para las plantas de generación nuclear y de fósiles. Aunque tales simplificaciones serían insatisfactorias para la planeación de la inversión dentro de la industria eléctrica, fueron aceptables para examinar la unión entre las decisiones de inversión en la electricidad, el petróleo y el sector siderúrgico.

El modelo ENERGETICOS se construyó como si la única opción en el

proceso para la nueva capacidad de generación eléctrica fuese la potencia generada vía nuclear contra las plantas de combustible fósil y como si los únicos combustibles fósiles fuesen combustóleo y gas natural. Las plantas que utilizan diesel, las que queman carbón y la geotérmica tienen cada una su lugar en la red nacional de México, pero no se consideran que proporcionen un mejoramiento a la nueva capacidad. Además las opciones de inversión para nuevos proyectos hidroeléctricos se omitieron - en parte porque México día a día se agota su oferta de sitios hidroeléctricos de bajo costo - y en parte porque los costos de los proyectos hidráulicos han sido continuamente subestimados en el pasado.

En la formulación del modelo se fijaron restricciones en el sector eléctrico como la satisfacción de las demandas pico, de energía y de transmisión, después de deducir las ofertas disponibles a partir de las instalaciones hidráulicas y de fósiles iniciales.

La mayoría de estas restricciones están conectadas con el fenómeno del cambio de servicio. Esto significa que durante el tiempo se puede anticipar qué nuevas plantas térmicas se añadirán al sistema y las cuales tendrán progresivamente menores costos energéticos.

Cuando una unidad térmica entra en servicio, es factible que se opere como una unidad de carga base (i.e. a máxima capacidad). Las fluctuaciones en la curva de carga diaria son absorbidas por las plantas térmicas más viejas o por unidades hidráulicas. Conforme el tiempo pasa, es típico que la unidad térmica (ya sea planta fósil o nuclear) es utilizada sucesivamente a menos niveles de su capacidad.

Una formulación que se dá para el cambio de servicio óptimo puede ilustrarse en el caso de la nueva capacidad de combustible fósil. Para esta opción del proceso, se supone que existen dos tipos de incógnita: FOS_t y XF_t . La primera denota la capacidad nueva instalada en el período t , y la segunda denota la energía arriba del mínimo que produciría dicha capacidad en el mismo período t . Plantas de este tipo no pueden operar a más del 90% de las 8760 horas en el año, ni deben operar abajo del 25% de su capacidad. Esto se toma en cuenta en el coeficiente energético de FOS_t y se muestra en la restricción $CMTWH_t$: $8.760 \times 0.90 \times 0.25 = 1.971$ miles de horas por año. Durante las horas restantes que estas unidades fósiles están disponibles, un kilovatio de capacidad no puede producir más de 5.913 miles de KWH de energía; por lo tanto el coeficiente de FOS_t en el límite de energía es $ELL - MF_t$.

En igual forma se consideran las plantas de carbón y las nucleares. La totalidad de la energía disponible de las nuevas plantas hidráulicas entran directamente en $CMTWH_t$ mediante el coeficiente γ_i correspondiente a cada tipo de hidroeléctrica.

Las variables INT_{kt} sirven para describir la operación de las plantas fósiles inicialmente instaladas. Por diferencias en la eficiencia térmica de estas unidades, existe un orden determinado para su uso con objeto de minimizar el consumo de combustible fósil - sin incrementar ninguna otra componente de costo. Primero se genera energía eléctrica en las plantas más eficientes hasta su capacidad máxima, después en las plantas que le siguen en eficiencia y así sucesivamente. Dado que se conocen perfectamente las -

características de las unidades ya instaladas, se puede determinar una relación entre su producción de electricidad y el consumo de combustible fósil (ver Fig. 2.2.). Para describir esta relación convexa, se especificaron cinco niveles de producción identificados por el índice $k = 1, 2, \dots, 5$.

De la Fig. 2.2. se puede ver que para cada valor de "k" hay un valor predeterminado de la producción total de energía (el coeficiente α_k) -- y del consumo total de combustible (el coeficiente β_k). Las incógnitas de programación lineal no son estas entradas y salidas directamente, sino más bien las variables de los "pesos de interpolación", o sea INT_{kt} .

La producción de energía correspondiente se interpola con los coeficientes " α_k " en la restricción de energía $CMTWH_t$. Similarmente, los requerimientos de combustible fósil se interpolan con los coeficientes " β_k " - en las restricciones de combustible $ELRQF_t$.

Cada incógnita INT_{kt} aparece en tres restricciones: $CMTWH_t$, --- $ELRQF_t$ y $ELCNV_t$. Las restricciones de la curva convexa $ELCNV_t$ aseguran que las variables de interpolación sumarán la unidad en cada período "t". - El proceso de optimización, además de la forma convexa de la Fig. 2.2., - aseguran que nunca será óptimo asignar intensidades positivas a dos variables de interpolación no adyacentes; por ejemplo, no sería óptimo tener - - $INT_{31} > 0$ y simultáneamente $INT_{51} > 0$, se podría lograr una reducción en el consumo de combustible incrementando el valor de INT_{41} y reduciendo -- tanto INT_{31} , como INT_{51} .

Para completar los datos de entrada a la industria eléctrica, los coeficientes del costo se calculan para cada actividad, los cuales se derivaron de las características del proyecto, interpolando linealmente los costos de -

CONSUMO DE COMBUSTIBLE VS ENERGIA ELECTRICA
GENERADA POR LAS PLANTAS FOSILES INICIALES

β_k
CONSUMO DE
COMBUSTIBLES
(10^{12} BTU)

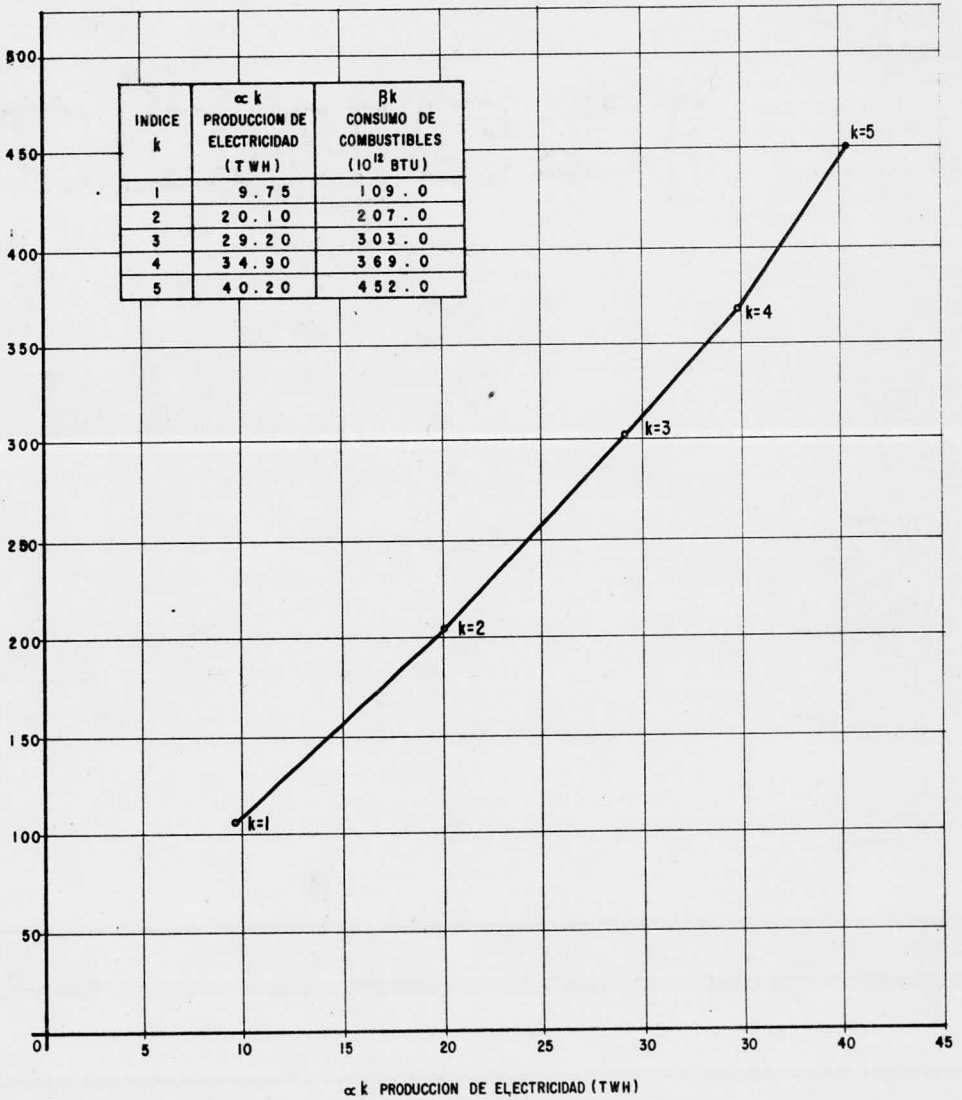


Figura 2.2

operación y de inversión.

2.2.5. INDUSTRIA DEL PETROLEO Y GAS NATURAL.

El modelo ENERGETICOS se estableció como si el objetivo fuese el de satisfacer las demandas internas de producción del petróleo a costo mínimo, exportando e importando los productos más ventajosos. Sin embargo, no se estipuló que se diera absoluta prioridad a la autosuficiencia, ni siquiera para empleo dentro de la industria petrolera, sino que se exploran las interacciones entre los costos totales y los costos extranjeros, considerando una tasa de protección a la industria nacional.

Para concentrarse sobre el problema de las relaciones intersectoriales, el estudio se avocó sobre la producción de aceite y gas, y específicamente sobre la refinación, excluyendo el transporte y los aspectos de mercado.

Para procesos alternativos de refinación, se determinan sus insumos y productos, así como sus costos de instalación y operación. Cada uno de los tres procesos alternativos de refinación considerados se supone completamente integrado desde petróleo crudo hasta productos refinados, ignorando los productos intermedios.

2.2.6. ECUACIONES USADAS EN EL MODELO DE ENERGETICOS

A. - Función Objetiva

$$\text{Minimizar CSVA} = \sum_t \left[F_t^i \cdot \text{INV}_t + F_t^o \cdot \text{OP}_t \right] + K \cdot \text{MVA} + P \cdot \text{MXVA}$$

F_t^i = Factor de valor presente para inversiones decididas en el período "t". Las inversiones se transforman en anualidades mediante un factor de recuperación de capital calculado con la tasa de descuento y la vida útil de la instalación considerada. El factor F_t^i se calcula para llevar a valor presente todas y cada una de las anualidades correspondientes a partir del período "t" en que se realiza una decisión de inversión, hasta el final del horizonte de estudio.

F_t^o = Factor de valor presente para los gastos de operación realizados en el período "t". Como el nivel de operación puede variar de período a período, este factor se calcula de forma de interpolar linealmente en los años entre períodos (cuando los períodos son de más de un año).

K = Tasa de protección a la industria nacional (sobrecosto a las importaciones).

P = Factor para variar el precio sombra de las divisas.

B. - Restricciones de Contabilidad.

1 Anualidades por inversiones decididas en el período "t" = INV_t

$$\text{INV}_t = \sum_i \text{AN}_{it} \cdot \text{SDP}_{it} + \sum_i \text{AN}_{it} \cdot \text{EL}_{it} + \sum_i \text{AN}_{it} \cdot \text{PE}_{it}$$

AN_{it} = Anualidad para el proceso tipo "i" en el período "t" por unidad de capacidad.

SDP_{it} = Capacidad a instalarse en el período "t" del proceso tipo "i" en el sector siderúrgico.

EL_{it} = Capacidad a instalarse en el período "t" del proceso tipo "i" en el sector eléctrico.

PE_{it} = Capacidad a instalarse en el período "t" del proceso tipo "i" en el sector petrolero.

2 Gastos de Operación por período = OP

$$OP_t = \underbrace{\sum_{i=1}^I GO_{it} \sum_{z=0}^t [SDP_{iz} + EL_{iz} + PE_{iz}]}_{\text{Costos fijos de operación de la capacidad total instalada en cada sector.}} + \underbrace{\sum_{j=1}^J [CC_{jt} \cdot PE_{CRD_{jt}} + CG_{jt} \cdot PE_{GSC_{jt}} + CO_{jt} \cdot PE_{CON_{jt}}]}_{\text{Costo de los insumos domésticos de operación del sector petrolero.}}$$

$$\underbrace{+ C_{it} \cdot SDCHAT_t + C_{2t} \cdot SDMNH_t + C_{3t} \cdot SDCOQ_t + C_{4t} \cdot ELRQN_t + C_{5t} \cdot ELRQC_{it}}_{\text{Costo de insumos de operación del sector siderúrgico.}} + \underbrace{+ \sum_{k=1}^K C_{6kt} \cdot PEM_{kt} - \sum_{k=1}^K C_{7kt} \cdot PEX_{kt}}_{\text{Importaciones y exportaciones de productos del sector petrolero.}}$$

GO_{it} = Costos fijos de operación por unidad de capacidad del proceso tipo "i" (en cada sector) en el período "t".

CC_{jt} = Costo del crudo nacional en el nivel de costo "j", período "t"

CG_{jt} = Costo del gas seco de campos nacionales en el nivel de costo "j", período "t"

CO_{jt} = Costo de los condensados nacionales en el nivel de costo "j" período "t"

$PE_{CRD_{jt}}$ = Crudo nacional utilizado del nivel del costo "j" período "t"

$PE_{GSC_{jt}}$ = Gas seco nacional utilizado del nivel de costo "j" período "t"

$PE_{CON_{jt}}$ = Condensados nacionales utilizados del nivel de costo "j"; período "t"

C_{it} = Costo unitario de chatarra en "t"

$SDCHAT_t$ = Cantidad de chatarra utilizada en "t"

C_{2t} = Costo unitario del mineral de hierro en "t"

$SDMNH_t$ = Cantidad de mineral de hierro utilizado en "t"

C_{3t} = Costo unitario del coque en "t"

$SDCOQ_t$ = Cantidad de coque utilizado en "t"

C_{4t} = Costo unitario del combustible nuclear en "t"

$ELRQN_t$ = Combustible nuclear utilizado en "t"

C_{5it} = Costo unitario del carbón tipo "i" en "t"

$ELRQC_{it}$ = Carbón tipo "i" utilizado en "t"

C_{6kt} = Costo unitario de importación del producto petrolero "k" en "t". Los productos que se podrían importar o exportar son: crudo (CRD), Gas licuado (GPL), gasolina (GSL), Combustible (COM), Kerosina y Diesel (KYD).

$PEMR_t$ = Cantidad importada del producto petrolero "k" en "t"

C_{7kt} = Costo unitario de exportación del producto petrolero "k" en "t"

PEX_{kt} = Cantidad exportada del producto petrolero "k" en "t"

3 Gastos de importación actualizados = MVA

$$MVA = \sum_t [F_t^i \cdot MINV_t + F_t^O \cdot MOP_t]$$

F_t^i y F_t^o Definidos en A. anterior

$MINV_t$ = Componente de importación de las anualidades por inversiones decididas en el periodo "t". Se evalúa en la misma forma que INV_t (descrito en B.1. anterior), pero considerando en los coeficientes " AN_{it} " solo la componente de importación.

MOP_t = Componente de importación de los gastos de operación por periodo. Se evalúa en la misma forma que OP_t (descrito en B.2. anterior) pero considerando en los coeficientes solo la --- componente de importación de los costos.

4 Diferencia entre los gastos de importación actualizados y las ganancias actualizadas de exportación -
= MXVA

$$MXVA = MVA = XVA$$

MVA descrito en B.3. anterior

$$XVA = \sum_t F_t^o \cdot XOP_t = \text{Ganancias actualizadas de exportación}$$

F_t^o Descrito en A. anterior

$$XOP_t = \sum_k C_{7kt} \cdot PEX_{kt} = \text{Ganancias de exportación en el periodo "t"}$$

C_{7kt} y PEX_{kt} , descritos en B.2. anterior

C.- Flujos intersectoriales.

1 Restricción sobre el combustible industrial (realizada en unidades de 10^{12} Btu)

$CMBTU_t$:

$$\underbrace{6.321(PEQGSR_t + PEQGSC_t + PEQCOM_t) + 4.173 \cdot PEQGPL_t}_{\text{PRODUCCION}} - \underbrace{ELRQF_t - SDRQF_t}_{\text{DEMANDA}} \geq \text{DEMANDA EXOGENA DE OTROS SECTORES}$$

PEQGSR_t = Gas seco de refinería usado como combustible industrial (10⁶ barriles)

PEQGSC_t = Gas seco de campos usado como combustible industrial (10⁶ barriles)

PEQCOM_t = Combustóleo usado como combustible industrial (10⁶ barriles)

PEQGPL_t = Gas licuado usado como combustible industrial (10⁶ barriles)

ELRQF_t = Demanda de combustible industrial del sector eléctrico (10¹² Btu)

SDRQF_t = Demanda de combustible industrial del sector siderúrgico (10¹²Btu)

6.321 y 4.173 = Factores de conversión (poder calorífico de 10⁶ barriles a 10¹² Btu).

2 Restricciones sobre la capacidad eléctrica (GW)

$$\text{CMGW}_t: \sum_{c=0}^t \text{ELFOS}_c + \sum_{c=0}^t \text{ELNUC}_c + \sum_{c=0}^t \sum_{i=A,B} \text{ELCAR}_{i,c} + \sum_{c=0}^t \text{ELHID}_{i,c} - \frac{\text{DEMANDA SECTOR SIDERURGICO}}{1.12} \geq \text{DEMANDA PICO} - \text{CAPACIDAD INSTALADA INICIAL}$$

ELFOS_t = Capacidad de plantas fósiles instalada en el período "t"

ELNUC_t = Capacidad de plantas nucleares instalada en el período "t"

$ELCAR_{it}$ = Capacidad de plantas de carbón instalada en el período "t"

$ELHID_{it}$ = Capacidad de plantas hidráulicas instalada en el período "t"

3 Restricciones sobre la energía eléctrica (TWH)

$$CMTWH_t : \underbrace{\sum_{k=1}^5 \alpha_k \cdot ELINT_{kt}}_{\text{Capacidad inicial}} + \underbrace{1.971 \sum_{z=0}^t ELFOS_z}_{\text{Cap. nueva al mínimo}} + \underbrace{ELXN_t}_{\text{Cap. nueva arriba del mínimo}}$$

Generación de Fósiles

$$+ \underbrace{1.971 \sum_{z=0}^t ELNUC_z}_{\text{Cap. nueva al mínimo}} + \underbrace{ELXN_t}_{\text{Cap. Nueva arriba del mínimo}} + \underbrace{\gamma_i \sum_{z=0}^t ELHID_{iz}}_{\text{Generación de Hidroeléctricas}}$$

Generación de Nucleares

$$+ \underbrace{1.971 \sum_{z=0}^t ELCAR_{iz}}_{\text{Cap. nueva al mínimo}} + \underbrace{ELXC_{it}}_{\text{Cap. nueva arriba del mínimo}} - \left(\begin{array}{c} \text{Demanda} \\ \text{Sector} \\ \text{Siderúrgica} \end{array} \right) \geq \left(\begin{array}{c} \text{Demanda de} \\ \text{energía Eléc} \\ \text{trica} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Generación} \\ \text{de Hidro-} \\ \text{eléctricas -} \\ \text{iniciales} \end{array} \right)$$

Generación por Carbón

$ELINT_{kt}$ = Variable para interpolación (≤ 1) entre los 5 niveles (k) posibles de generación de las fósiles viejas

α_k = Valor de la generación en el nivel "k" de las fósiles viejas

$1.971 = 8.76 \left(\begin{array}{l} \text{Miles de Horas} \\ \text{por año} \end{array} \right) \times 0.25 \left(\begin{array}{l} \text{Factor de carga} \\ \text{mínimo} \end{array} \right) \times 0.90 \left(\begin{array}{l} \text{Disponibilidad de} \\ \text{las plantas} \end{array} \right) = \begin{array}{l} \text{Generación} \\ \text{mínima obli} \\ \text{gada por uní} \\ \text{dad de capaci} \\ \text{dad} \end{array}$

$\gamma_i = 8.76 \left(\begin{array}{l} \text{Miles de horas} \\ \text{por año} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{l} \text{Factor de carga} \\ \text{máximo del tipo} \\ \text{de hidro "i"} \end{array} \right)$

D. - Renglonés del Sector Siderúrgico

1 Renglonés sobre el mineral de hierro (Demanda en el período "t")

$$SDMNH_t = \sum_{i=1}^i D_{1i} \cdot \sum_{\tau=0}^t SDP_{i\tau}$$

D_{1i} = Consumo (10^6 Ton) de mineral de hierro por unidad de capacidad del proceso "i"

SDP_{it} = Capacidad del proceso "i" instalada en el período "t"

2 Renglonés sobre el coque (Demanda en el período "t")

$$SDCOQ_t = \sum_{i=1}^i D_{2i} \cdot \sum_{\tau=0}^t SDP_{i\tau}$$

D_{2i} = Consumo (10^6 ton) de coque por unidad de capacidad del proceso "i"

- 3 Renglones sobre la chatarra (Demanda en el período "t")

$$\sum_i D_{3i} \cdot \sum_{\tau=0}^t SDP_{i\tau} - SDCHA_t \geq \quad - \text{Chatarra disponible para recirculación}$$

D_{3i} = Consumo (10^6 Ton) de chatarra por unidad de capacidad del proceso "i"

- 4 Renglones sobre el combustible industrial (demanda en "t")

$$SDRQF_t = \sum_i D_{4i} \cdot \sum_{\tau=0}^t SDP_{i\tau} + \text{Requerimientos para el laminado (valor exógeno)}$$

D_{4i} = Consumo (10^{12} Btu) de combustible industrial por unidad de capacidad del proceso "i"

- 5 Restricción sobre la capacidad de producción de lingotes de acero (10^6 ton)

$$\sum_i \sum_{\tau=0}^t SDP_{i\tau} \geq \quad \text{Demanda exógena de lingotes de acero} \quad - \quad \text{Capacidad inicial de producción}$$

- E. - Renglones del Sector Eléctrico.

Además de los renglones mencionados en C.2 y C.3 anteriores se tiene:

- 1 Restricción sobre las variables de interpolación entre los 5 niveles (k) de generación de las fósiles- viejas

$$(\text{ELCNV}_t): \quad \sum_{k=1}^5 \text{ELINT}_{kt} = 1$$

- 2 Generación de fósiles nuevas arriba del mínimo (ELLMF_t)

$$\text{ELXF}_t \leq 5.913 \sum_{\tau=0}^t \text{ELFOS}_{\tau}$$

$$5.913 = \underbrace{8.76 \left[\begin{array}{c} \text{Miles de horas} \\ \text{por año} \end{array} \right] \times 0.90 \left[\begin{array}{c} \text{Disponibilidad de} \\ \text{las plantas} \end{array} \right]}_{\text{Generación máxima posible por unidad de capacidades}} - \underbrace{(8.76 \times 0.25 \times 0.90 = 1.971)}_{\text{Generación mínima obligada (ver C.3)}}$$

3 Generación de nucleares arriba del mínimo ($ELLMN_t$)

$$ELXN_t \leq 5.913 \sum_{z=0}^t ELNUC_z$$

4 Generación de plantas de carbón arriba del mínimo ($ELLMC_{it}$, $i = A, B$)

$$ELXC_{it} \leq 5.913 \sum_{z=0}^t ELCAR_{iz} \quad i=A, B$$

5 Requerimientos de combustible industrial de las fósiles viejas ($ELRQF_t$)

$$ELRQF_t = \sum_{k=1}^5 \beta_k \cdot ELINT_{kt} + (\text{Consumo térmico unitario de las fósiles nuevas})$$

$$(1.971 \sum_{z=0}^t EFOS_z + ELXF_t)$$

β_k = Requerimientos de combustible industrial en el nivel "k" de generación de las fósiles viejas

6 Requerimientos de combustible nuclear ($ELRQN_t$)

$$ELRQN_t = (\text{consumo unitario de combustible nuclear}) (1.971 \sum_{z=0}^t ELNUC_z + ELXN_t)$$

7 Requerimientos de carbón (ELRQC_{it}, i = A, B)

$$ELRQC_{it} = \left[\begin{array}{l} \text{Consumo unitario} \\ \text{de carbón "i"} \end{array} \right] (1.971 \sum_{z=0}^t ELCAR_{iz} + ELXC_{iz})$$

8 Capacidad hidráulica disponible para instalarse (ELLMH_{it})

$$\sum_{z=0}^t ELHID_{iz} \leq \text{Capacidad del tipo "i" disponible en el periodo "t"}$$

F.- Renglones del sector petrolero

Además de la restricción C. 1., se tienen:

1 Restricciones sobre el crudo (PECRD_t):

$$\sum_{j=1}^3 PECD_{jt} + PEMCRD_t - PEXCRD_t - \sum_{i=1}^i P_{1i} \sum_{z=0}^t PE_{iz} \geq 0$$

PECD_{jt} = Consumo de crudo nacional del nivel de precio "j" periodo "t". Estas variables se acotan superiormente de acuerdo a la disponibilidad nacional de crudo.

PEMCRD_t = Importación de crudo en "t"

P_{1i} = Requerimiento de crudo por unidad de capacidad de refinación tipo "i"

PE_{it} = Capacidad de refinación tipo "i" instalada en el periodo "t"

PEXCRD_t = Exportación de crudo en "t"

2 Restricciones sobre el gas seco de campos nacionales (PEGSC_t):

$$\sum_{j=1}^3 PEGSC_{jt} \sum_{i=1}^i P_{2i} \sum_{z=0}^t PE_{iz} - PEGSC_t \sum_{i=1}^i D_{5i} \sum_{z=0}^t SDP_{iz} \geq 0$$

$PEGSC_{jt}$ = Consumo de gas seco de campos nacionales del nivel de precio "j", periodo "t".

Variables acotadas superiormente de acuerdo con la disponibilidad nacional.

$PEQGSC_t$ = Ver restricción C.1.

P_{2i} = Requerimientos de gas seco por unidad de capacidad de refinación tipo "i"

D_{5i} = Requerimientos, de gas seco por unidad de capacidad del proceso siderúrgico tipo "i"

3 Restricciones sobre los condensados nacionales ($PECON_t$)

$$\sum_{j=1}^3 PECON_{jt} - \sum_{3i} P_{3i} \cdot \sum_{\sigma=0}^t PE_{i\sigma} \geq 0$$

$PECON_{jt}$ - Consumo de condensados nacionales del nivel de precio "j", periodo "t". Variables acotadas superiormente según disponibilidad nacional.

P_{3i} = Requerimientos de condensados por unidad de capacidad de refinación tipo "i"

4 Restricciones sobre el gas licuado ($PEGPL_t$):

$$\sum_{4i} P_{4i} \cdot \sum_{\sigma=0}^t PE_{i\sigma} + PEMGPL_t - PEXGPL_t - PEQGPL_t \geq \text{Demanda Exógena}$$

P_{4i} = Producción de gas licuado por unidad de capacidad de refinación tipo "i"

$PEMGPL_t$ = Importación de gas licuado en "t"

$PEXGPL_t$ = Exportación de gas licuado en "t"

PEQGPL_t = Gas licuado usado como combustible industrial en "t"

6 Restricciones sobre el combustóleo (PECOM_t)

$$\sum_{i=0}^i P_{6i} \cdot \sum_{i=0}^t PE_{i0} + PEMCOM_t - PEXCOM_t - PEQCOM_t \cong \text{Demanda exógena}$$

P_{6i} = Producción de combustóleo por unidad de capacidad de refinación tipo "i"

PEMCOM_t = Importaciones de combustóleo en "t"

PEXCOM_t = Exportación de combustóleo en "t"

PEQCOM_t = Combustóleo usado como combustible industrial en "t"

7 Restricciones sobre la kerosina y diesel (PEKYD_t):

$$\sum_{i=0}^i P_{7i} \cdot \sum_{i=0}^t PE_{i0} + PEMKYD_t - PEXKYD_t \cong \text{Demanda exógena}$$

P_{7i} = Producción de kerosina y diesel por unidad de capacidad de refinación tipo "i"

PEMKYD_t = Importación de kerosina y diesel en "t"

PEXKYD_t = Exportación de kerosina y diesel en "t"

8 Restricción sobre el gas seco de refinerías (PEGSR_t):

$$\sum_{i=0}^i P_{8i} \cdot \sum_{i=0}^t PE_{i0} - PEQSR_t \cong 0$$

P_{8i} = Producción de gas seco de refinería por unidad de capacidad de refinación tipo "i"

PEQSR_t = Gas seco de refinería usado como combustible industrial en "t"

2.3. MODELO INTERCON *

Se trata de un modelo multiregional que introduce el mercadeo entre la generación y transmisión de electricidad.

Si se mantuviese el mismo estado de agregación en movimiento desde un estado micro hacia el macro, la evaluación del proyecto llegaría a ser más realista, pero también crecería en complejidad desde el punto de vista de la obtención de datos, cómputo y oportunidad de resultados. De aquí que sea inapropiado mantener el mismo sistema de agregación para los estados de planeación del proyecto del sector y de los multisectores.

Tradicionalmente, el análisis de un proyecto (una planta de potencia nuclear en una región específica) se evalúa contra una alternativa (una planta de combustible fósil) convirtiendo toda la inversión, costos de operación y combustible en flujos anuales equivalentes.

Típicamente se supone que la opción del proyecto no ejerce influencia sobre parámetros de evaluación como el costo de capital o del comercio exterior.

Antes de continuar es conveniente señalar que toda planta eléctrica produce dos elementos unidos: potencia y energía. La potencia se refiere a la salida en un instante dado. La energía se refiere a la integral de la salida de potencia durante cierto tiempo. Por ejemplo, un kilovatio (KW) de capacidad de potencia operado durante 1000 horas, producirá 1000 kilovatios-hora (KWH) de energía eléctrica.

* Al igual que el anterior modelo, este también se desarrolló en 1970 por Guillermo Fernández de la Garza, Alan S. Manne y José Alberto Valencia. Se reportó en el capítulo 1 de la parte III del libro "Multilevel planning: case studies in México", p. 197-231.

El número de horas de operación de una planta de potencia es un parámetro que no es independiente de la mezcla de otras unidades dentro del sistema. Por ejemplo, la red nacional contiene un número substancial de unidades hidroeléctricas, estas tienen una relación de turbina/capacidad de recipiente que permite a las plantas hidráulicas producir una gran fracción de su salida de energía durante las horas de demanda pico.

Dadas las plantas hidro en el sistema, las unidades nucleares pueden ser empleadas como plantas de carga base, es decir que son operadas todo el tiempo para tomar ventaja de sus bajos costos incrementales por KWH de energía.

Se ha reconocido que la programación lineal proporciona una herramienta para establecer opciones de proyectos individuales dentro de un marco de sistemas de potencia, permitiendo de esta forma completarse entre plantas hidráulicas y nucleares. Cada planta se ve como una fuente de productos unidos: electricidad disponible en diferentes puntos de tiempo durante el ciclo de operación diario, semanal o por cada estación. INTERCON es un modelo en que el número de horas de operación de cada unidad llegará a ser una variable endógena.

2.3.1. FORMULACION ALGEBRAICA DEL MODELO MULTIREGIONAL.

El modelo está desagregado en tiempo y espacio. Las demandas en distintos puntos de tiempo y espacio se deben obtener a un costo mínimo. Mientras mayor sea la diversidad interregional de la energía demandada (o de energía hidroeléctrica ofrecida) en distintas épocas, mayores serán -

los ahorros del costo de la interconexión a través de líneas de transmisión.

El índice "t" se emplea para distinguir entre dos años representativos, dentro de cada uno de estos años representativos se tienen tres estaciones de 4 meses cada una y se denota por el índice "s" (los suministros de energía hidroeléctrica difieren marcadamente de una a otra de estas estaciones). Existen 4 horas pico diarias; distinguidas de las 20 horas no pico y se distinguen por el sufijo de bloque de demanda de energía k. (Tabla 2.1). Se fijó que la demanda de potencia pico anual ocurre ya sea en la estación 2 o 3 dependiendo de la región.

El índice r identifica las 8 regiones que podrían ser interconectadas por líneas de transmisión. Cada región se simplificó como si formara un simple punto representativo. Las distancias para las 12 posibles uniones de transmisión y también se debe especificar los costos de combustible fósil dentro de cada región (Fig. 2.3.). Los sistemas aislados se excluyeron del modelo, como por ejemplo Baja California.

Los costos de transmisión y las pérdidas por línea dependen del voltaje de línea. Para distinguir entre líneas de diferente voltaje, se empleó el sufijo de voltaje de línea de transmisión "j". Por último las plantas de generación de potencia eléctrica se distinguieron una de otra por el sufijo del tipo de planta "i".

Las incógnitas se refieren a la instalación y utilización de la capacidad de generación o de transmisión.

Para simplificar la escritura y eliminar sufijos, los diferentes índices (i, j, k, r, s y t) aparecen sobre la misma línea de nomenclatura. Por

TABLA 2.1
IDENTIFICACION DE INDICES

Clase	Subíndice general de la clase	Valores específicos de los Subíndices para los miembros de cada clase
Tipo de Planta	i	I1 Plantas de turbina de gas disponibles inicialmente. I2 y I3 Plantas de combustible fósil disponibles inicialmente. HD Plantas hidroeléctricas -- disponibles inicialmente. F1 Plantas de turbina de gas de 0.075 GW F2 Plantas de combustible fósil de 0.300 GW F3 Plantas de combustible fósil de 0.600 GW N1 Plantas nucleares de 0.600 GW N2 Plantas nucleares de 1.000 GW
Voltaje de la línea de transmisión	j	1 Líneas de transmisión de 230 kv. 2 Líneas de transmisión de 400 kv.
Región	r	TC Torreón - Chihuahua FM Falcón - Monterrey TP Tampico SL San Luis Potosí OR Región Este CL Región Central OC Región Oeste MS Mazatlán - Sonora
Bloque de demanda	k	1 Horas pico, Marzo-junio a/ 2 Horas no pico, Marzo-junio b/ 3 Horas pico, Julio-Octubre a/ 4 Horas no pico, Julio-Octubre b/ 5 Horas pico, Nov.-Marzo a/ 6 Horas no pico, Nov.-Marzo b/
Estación	s	1 Marzo - Junio 2 Julio - Octubre 3 Noviembre - Febrero
Año representativo	t	1 Marzo 1977-Febrero 1978 2 Marzo 1980-Febrero 1981

a/ Para los bloques de demanda "k" = 1, 3, 5, el tiempo de duración η^k es :

$$\eta^k = 486.7 \frac{\text{horas pico}}{\text{estación}} = \frac{4 \text{ horas pico}}{\text{día}} \cdot \frac{365 \text{ días}}{\text{año}} \cdot \frac{\text{año}}{3 \text{ estaciones}}$$

b/ Para los bloques de demanda "k" = 2, 3, 6, el tiempo de duración η^k es :

$$\eta^k = 2433.3 \frac{\text{horas pico}}{\text{estación}} = \frac{20 \text{ horas no pico}}{\text{día}} \cdot \frac{365 \text{ días}}{\text{año}} \cdot \frac{\text{año}}{3 \text{ estaciones}}$$

FIGURA 2.3

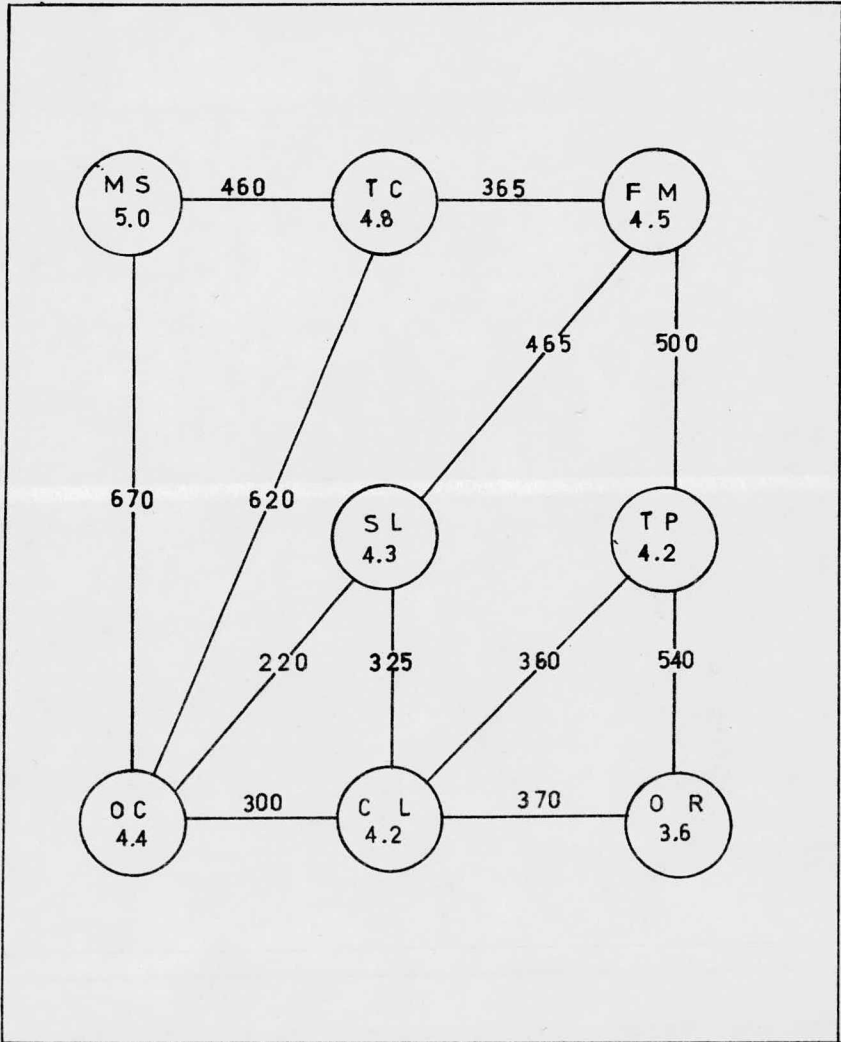


Diagrama Esquemático de las distancias (Km) y precios del combustible para 1977 (pesos por millón de BTU's).

ejemplo, (GW_{rst}) se refiere a la potencia pico en la región r , estación s , - año t . Los coeficientes son identificados por una de las primeras letras -- griegas y después por los distintos índices, por ejemplo, el coeficiente de pérdida de línea $\alpha_{jr'r}$ se refiere a la potencia pico recibida en la región r por unidad transmitida desde la región r' , empleando el voltaje de línea -- "j" .

Con estas convenciones en la notación, la potencia pico y las restricciones de demanda de energía $(GW_{rst}$ y $TWH_{rkt})$ se establecen respectivamente:

$$(1) \quad GW_{rst} \leq \sum_i G_{irt} + \sum_j \sum_{r' \neq r} (\alpha_{jr'r}) (U_{jr'rst}) - \sum_j \sum_{r' \neq r} U_{jr'rst}$$

GW_{rst} : Demanda de potencia pico, región r , estación s y año t .

G_{irt} : Capacidad de potencia pico usada en la región r .

$\alpha_{jr'r}$: Potencia pico recibida en la región r por unidad transmitida desde la región r' .

$U_{jr'rst}$: Potencia pico transmitida a la región r desde r' .

$U_{jr'r'st}$: Potencia pico transmitida a la región r' desde la región r .

$$(2) \quad TWH_{rkt} \leq \sum_i (\beta_{ik}) (G_{irt}) + \sum_i E_{irkt} - \sum_j \sum_{r' \neq r} (\alpha_{jr'r}) (V_{jr'r'kt}) - \sum_j \sum_{r' \neq r} V_{jr'r'kt}$$

TWH_{rkt} : Demanda de energía en la región r , bloque k y año t .

β_{ik} : Horas mínimas para la generación de energía, tipo de -- planta i , bloque k .

G_{irt} : Potencia pico de la capacidad de planta tipo i utilizada.

E_{irkt} : Generación de energía arriba del mínimo, del tipo de --- planta i .

$L_{jr'r}$: Energía recibida en la región r por unidad transmitida desde la región r'.

$V_{jr' rkt}$: Energía transmitida a la región r desde la región r'.

$V_{jrr' kt}$: Energía transmitida a la región r' desde la región r.

Para los tipos de plantas disponibles inicialmente, la capacidad de potencia pico es un dato. Los límites superiores sobre las incógnitas individuales son por lo tanto:

$$(G_{irt}) \geq G_{irt} \quad (i = I1, I2, I3, HD)$$

(G_{irt}) : Capacidad disponible de potencia pico, planta tipo i

G_{irt} : Capacidad utilizada de potencia pico, planta tipo i

Para que los quemadores de las plantas fósiles y nucleares permanezcan encendidos de manera que se obtengan los picos de demanda diaria, estas unidades no pueden ser operadas a niveles de potencia abajo del 25% de su capacidad. Este límite mínimo ya se ha introducido a través de los coeficientes β_{ik} en las restricciones (TWH_{rkt}) . El tiempo de operación disponible arriba de estos niveles mínimos está dado por el coeficiente γ_{ik} . Esto conduce a los siguientes límites superiores sobre la producción de energía arriba del mínimo para cada tipo de planta, región, bloque y período:

$$E_{irkt} \leq \gamma_{ik} (G_{irt}) \quad (i \neq HD)$$

E_{irkt} : Generación de energía arriba del mínimo

γ_{ik} : Horas para la generación arriba del mínimo, tipo de planta i, bloque k.

(G_{irt}) : Capacidad utilizada de potencia pico, tipo de planta i.

Los requerimientos de combustible fósil (i.e. las entradas de combustible para plantas distintas de las hidráulicas y nucleares) son calculados a través de las siguientes ecuaciones (CFrt).

$$CF_{rt} = \sum_i (\delta_{ir}) (G_{irt}) + \sum_i \sum_k (\xi_{ir}) (E_{irkt}) \quad (i \neq HD, N1, N2)$$

CFrt : Requerimientos de combustible fósil.

δ_{ir} : Requerimientos de combustible fósil por cada GW de la mínima generación de energía anual.

Girt: GW de capacidad de potencia pico utilizada, tipo de planta fósil i.

ξ_{ir} : Requerimientos de combustible fósil por TWH de generación de energía arriba del mínimo.

Eirkt : TWH de generación de energía arriba del mínimo, tipo de planta fósil i.

Los límites de la turbina implican los siguientes límites superiores sobre las operaciones hidráulicas:

$$EHD_{krt} \leq (EHD_{rkt}) \quad (k = 1, 2, \dots, 6)$$

EHDkrt : Energía hidráulica generada, bloque k.

(EHDrkt) : Límite de generación hidroeléctrica, bloque k.

Las siguientes restricciones están derivadas de los límites del recipiente que gobierna la salida de energía hidro durante la estación s. Ningún intento se hizo por dejar un carácter estocástico de los flujos de energía hidro:

$$(HD_{rst}) \geq EHD_{krt} + EHD_{(k+1)rt} \quad (S=1,2,3)$$

(HDrst) : Energía hidroeléctrica disponible durante la estación s -
conteniendo los bloques k y k + 1

EHDkrt+EHD(k+1)rt : Energía hidroeléctrica generada, bloques k y -
k+1.

Para cada uno de los 12 posibles pares de puntos r y r', existen res-
tricciones de capacidad sobre la potencia pico y sobre la energía transmiti-
da. Estas restricciones se identifican como: (Ujrr'st) y (Vjrr'kt) respecti-
vamente:

$$U_{jrr'kt} + U_{jr'rkt} \leq \left[\begin{array}{c} \text{Capacidad} \\ \text{disponible} \\ \text{inicialmente} \end{array} \right] + T_{jrr't}$$

$U_{jrr'kt} + U_{jr'rkt}$: Potencia pico transmitida entre regiones r y r', -
estación s.

$T_{jrr't}$: Capacidad instalada entre la fecha inicial y el año t.

$$V_{jrr'kt} + V_{jr'rkt} \leq (\eta_k) \left[\begin{array}{c} \text{Capacidad} \\ \text{disponible} \\ \text{inicialmente} \end{array} + T_{jrr't} \right]$$

$V_{jrr'kt} + V_{jr'rkt}$: Energía transmitida entre las regiones r y r', blo-
que k.

η_k : Horas por año, bloque k.

Cap. dis. ini. + $T_{jrr't}$: Capacidad de transmisión de potencia dispo-
nible entre la región r y r', año t.

El problema de programación de INTERCON se estableció como el -
suministro de las demandas eléctricas a un costo mínimo para la empresa-
productora de electricidad. Este criterio no necesariamente coincide con -

minimizar los costos a la Economía Mexicana en forma global. Con objeto de alcanzar en una aproximación estática un problema de planeación de la inversión dinámico, los costos de inversión inicial se convierten en flujos anuales a través de factores de recuperación del capital.

2.3.2. FORMULACION DE LA PROGRAMACION ENTERA MEZCLADA.

La divisibilidad es uno de los axiomas que fundamenta la teoría de la programación lineal. Sin embargo, para las líneas de transmisión y las plantas de generación nuclear existen dificultades con la divisibilidad. Sucede que cuando INTERCON se resuelve como un programa lineal las adiciones óptimas a la capacidad consisten en plantas y líneas de transmisión fraccionadas. Para eliminar soluciones que resulten de unidades fraccionadas se usó un modelo de programación entera mezclado, al cual se le identificó como algoritmo IPE. En este todas las variables "cero-uno" se definen como "proyectos" y se agrupan en conjuntos de exclusividad mutua.

Para reducir el tiempo de computación usado en la programación entera mezclada, la formulación original se simplificó en varias formas. Tal simplificación consistió en descartar cuatro regiones como localidades posibles para las plantas de potencia nuclear. Estas cuatro aparecieron ser sitios poco prometedores, ya sea por los déficits de baja capacidad (regiones TC y TP) o por los bajos precios del combustible fósil (región OR) o por una posición aislada en la red de transmisión (región MS).

Para cada una de las 4 regiones que permanecen como candidatos para la instalación de la capacidad nuclear (esto es, $r = FM, SL, CL$ y OC) -

la Tabla 2.2 contiene una ecuación identificada como (C PNr). Estas 4 ecuaciones unen las variables del proyecto "cero-uno" a las incógnitas continuas de la programación lineal GNlr1, que definen las adiciones a la capacidad nuclear en las 4 regiones. Se definieron catorce "proyectos" de exclusividad mútua para la capacidad de generación nuclear. Dicha exclusividad mútua se asegura a través de la restricción MUEX1. Si el primero de los catorce proyectos se adopta (i.e. si $Y_{1,1} = 1.0$), no se añade ninguna unidad nuclear. Si el proyecto 2 se escoge (i.e. si $Y_{2,1} = 1.0$), se agregará una planta de 0.600 GW y estará localizada en la región FM. De igual forma, si $Y_{14,1} = 1.0$, se localizarán en la región OC dos unidades con un total de 1.200 GW. Si se observa se notará que se definen las 14 alternativas de manera que no importa cual de ellas se escoja, solo se añadirá hasta 1.200 GW de capacidad nuclear, al sistema, capacidad óptima que resultó de la solución vía programación lineal, para un período.

Otra simplificación fué la reducción del número de uniones de transmisión desde las 12 que se tenían hasta 6 posibilidades, sin embargo se continúa manteniendo una incógnita de la programación lineal T2rr'1 la cual define la capacidad de transmisión que se añade entre las regiones r y r' , -- empleando una línea de 400 kv e instalando ésta capacidad antes del período que se está analizando. La tabla 2.2 muestra que estas 6 variables continuas están unidas a los proyectos "cero-uno" a través de 6 ecuaciones (CPTrr').

Las líneas de transmisión se agruparon entres conjuntos de exclusividad mútua. La exclusividad mútua se asegura a través de 3 restricciones MUEX2, 3, 4. Dos de los tres grupos están basados sobre una complementa-

TABLA 2.2
 TABLA PARA CORRELACIONAR LAS VARIABLES CONTINUAS
 CON LOS "PROYECTOS".

Identificación de la columna		Variables contnuas, cap. de gen. nuclear						Proyectos mutuamente exclusivos, cap. de gen. nuclear, grupo 1																		
		GN1	FM1	GN1	SL1	GN1	CL1	GN1	OCI	Y1, 1	Y2, 1	Y3, 1	Y4, 1	Y5, 1	Y6, 1	Y7, 1	Y8, 1	Y9, 1	Y10, 1	Y11, 1	Y12, 1	Y13, 1	Y14, 1			
Identificación de la hñera																										
Capacidad de Generación Nuclear (GW)	CPNFM	-1.0																								= 0
	CPNSL			-1.0																						= 0
	CPNCL				-1.0																					= 0
	CPNOC					-1.0																				= 0
	MUEX1						-1.0																			= 0
Identificación de la columna <th colspan="6">Variables contnuas, capacidad de transmisión</th> <th colspan="10">Proyectos de transmisión mutuamente exclusivos</th>		Variables contnuas, capacidad de transmisión						Proyectos de transmisión mutuamente exclusivos																		
Identificación de la hñera		T2SLOC1	T2SLCL1	T2TPCL1	T2 FMSL1	T2FMTP1	T2OCMS1	Grupo 2			Grupo 3			Grupo 4												
								Y1, 2	Y2, 2	Y3, 2	Y1, 3	Y2, 3	Y3, 3	Y1, 4	Y2, 4	Y3, 4	Y4, 4									
Capacidad de Transmisión (GW)	CPTSLOC	-1.0																								= 0
	CPTSLCL		-1.0																							= 0
	CPTTPCL			-1.0																						= 0
	CPTFMSP				-1.0																					= 0
	CPTFMTP					-1.0																				= 0
	CPTOCMS						-1.0																			= 0
	MUEX2							-1.0																		= 0
MUEX3								-1.0																		= 0
MUEX4									-1.0																	= 0
										0.846	0.846															= 1.0
												0.650														= 1.0
														0.613												= 1.0
															0.471	0.471										= 1.0
										1.0	1.0	1.0														= 1.0
																			0.380							= 1.0
																				1.0	1.0					= 1.0

72

ción geográfica entre las líneas de transmisión. Dentro de cada grupo los proyectos individuales se distinguen por el índice "p". Para los tres proyectos identificados como Yp, 2 (p = 1, 2, 3), SL se emplea como el punto de unión entre el norte y el sur. Para los proyectos Yp, 3 (p= 1, 2, 3), TP es el punto de unión. Los proyectos Yp, 4 (p=1, 2) se refieren a una opción alternativa sobre una simple línea de transmisión, OC-MS.

Dentro de las columnas que definen los proyectos de transmisión, los coeficientes se refieren a la capacidad de una línea de 400 kv. Por ejemplo de la Tabla 2.2 se puede ver que si el proyecto Y2, 2 se opera a una intensidad unitaria, implicaría la construcción de 2 líneas de unión en SL. La mas larga de éstas (FM-SL) tendría una capacidad de transmisión de 0.512 GW, y el mas corto (SL-OC) la tendría de 0,846 GW.

En resumen: existen 14 proyectos de generación nuclear mutuamente exclusivos, tres proyectos de transmisión también exclusivos con SL como punto de unión, 3 con TP como conexión y 2 para la línea OC-MS. Esto conduce a $14 \times 3 \times 3 \times 2 = 252$ posibles combinaciones alternativas lógicas.

2.3.3. ALGORITMO ENTERO MEZCLADO PARA LA EVALUACION DE PROYECTOS.

Este algoritmo procede del axioma de partición o división de Benders (Benders, J. F., "Partitioning Procedures for Solving Mixed-Variables Programming Problems", Numerische Mathematik 4, 1962.), enfocado a resolver problemas de programación entera y mezclada. Su principal aplicación podría considerarse que es para la evaluación de proyectos de inversiones -

interdependientes e indivisibles. De aquí que se referirá a las incógnitas - (cero-uno) como las "variables de decisión del proyecto", al resto de incógnitas no-negativas como "variables continuas" y al algoritmo en sí como IPE.

Este IPE es un algoritmo de enumeración implícita. Se asemeja a una especie de cálculo iterativo (branch-and-bound; alargar y delimitar), ya que procede para resolver problemas de programación lineal sucesivos - en cada paso se fijan límites sobre el valor de la función objetivo que se obtiene con combinaciones alternativas de las variables de decisión del proyecto. Tanto el método de Benders como el IPE, son similares en que solamente se consideran un número finito de combinaciones, una combinación se examina una sola vez, y la convergencia se asegura con un número finito de pasos.

El IPE difiere del método "alargar y delimitar" en que: (1) En cada paso, todas las variables "cero-uno" se establecen a valores enteros. Por lo tanto, cada paso proporciona una solución factible entera óptima -- para una combinación no tratada de variables "cero-uno". (2) Tanto las variables duales como los costos reducidos se generan en cada paso. Esto se usa para proporcionar límites inferiores del valor del mínimo global que se obtiene con cada una de las combinaciones remanentes de las variables de decisión del proyecto. De esta forma cada paso da tanto límites superiores como inferiores referentes a la optimización global, en lugar de dar -- límites que están restringidos al "alargamiento" que está siendo explorado.

Se tiene que el procedimiento de partición de Benders resulta costo-

so al resolver un solo problema de programación lineal y es prohibitivo -- para cada una de las N posibles combinaciones de las variables "cero-uno". A diferencia de éste, el IPE resuelve el problema con la completa enumeración de las N combinaciones, y aunque desde un punto de vista estético, la enumeración es poco elegante, el IPE se ayuda al establecer restricciones mutuamente exclusivas entre los proyectos. Antes de pasar al desarrollo del algoritmo es conveniente establecer que con los modelos que se enfocan a la planeación de inversiones y de significado económico, es innecesario calcular más soluciones de programación lineal (PL) que una pequeña fracción del número total de combinaciones de proyectos.

Desarrollo de IPE. - Se denominarán a las variables de decisión continuas por X_j , y a la variable de decisión del proyecto k dentro del grupo s como Y_{ks} . Dentro de cada uno de los grupos mutuamente exclusivos s, exactamente uno de los K proyectos alternativos se selecciona. Por lo tanto.

$$\sum_{k=1}^K Y_{ks} = 1 \quad (s = 1, \dots, S) \quad (1)$$

$$Y_{ks} = 0 \text{ ó } 1 \quad (\text{para todas las } k \text{ y todas las } s) \quad (2)$$

$$X_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, J) \quad (3)$$

Dados los coeficientes (a_{ij} , C_j , α_{iks} y γ_{ks}) y las constantes del lado derecho b_i , el modelo de programación entera mezclado consiste en asignar valores a las x_j y las y_{ks} de forma que se minimice la ecuación -- (5) quedando sujeta a las restricciones de las ecuaciones (1-4).

$$\sum_{j=1}^J a_{ij} x_j + \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \alpha_{iks} y_{ks} = b_i \quad (i=1, \dots, I) \quad (4)$$

$$Z_{\text{mínimo}} = \sum_{j=1}^J c_j x_j + \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \gamma_{ks} y_{ks} \quad (5)$$

De acuerdo a (1) y (2) el número de combinaciones del proyecto lógicamente posibles es $(K)^S = N$. (Existen argumentos específicos que podrían reducir N, por ejemplo, un alto horno no debería instalarse a menos que se disponga de una manufacturera de acero o una fundidora de hierro en el mismo lugar.) Ahora se supone que una combinación en especial de valores se asigna a las incógnitas y_{ks} , y que éstos valores satisfacen las restricciones de (1) y (2). Se considera que el índice "n" se emplea para identificar ésta combinación específica.

Dada la combinación "n" el problema se reduce a un simple formato de (PL) - minimización de (5) sujeto a las restricciones (3) y (4) sobre las variables continuas x_j , considerando a las incógnitas "cero-uno" como parámetros provisionalmente fijados a los valores específicos y_{ks}^n . De la solución simplex para la combinación "n", obtenemos los valores óptimos localmente de las variables originales x_j^n y del z^n mínimo. Para cada una de las restricciones de (4), existen variables duales óptimas localmente == " π_i^n ", ($i = 1, \dots, I$). De estas variables duales, a su tiempo se obtienen los "costos reducidos" δ_{ks}^n . Estas cantidades se pueden interpretar como el crecimiento o decrecimiento en el costo asociado con el proyecto ks a los precios de eficiencia prevalecientes para la combinación "n":

$$\delta_{ks}^n = c_{ks} - \sum_{i=1}^I a_{iks} \pi_i^n$$

Se omiten los detalles sobre tres casos especiales: (a) una solución no delimitada, la cual sería el mínimo global; (b) la posibilidad de que no exista solución factible para la combinación "n"; y (c) la posibilidad que existan actividades artificiales cuya intensidad sea cero en la base óptima,

por lo tanto no habrá variables duales para una o más de las I hileras de la ecuación (4). Los casos (b) y (c) pueden eludirse al formular el modelo de manera que se incluyan vectores unitarios de alto costo positivos y negativos para cada una de las I filas. Ahora considerando un movimiento de la combinación n hacia alguna otra combinación m - pero sin resolver explícitamente el modelo de (PL) para la combinación m. Entonces la clave del algoritmo IPE es el siguiente lema:

$$Z^m \geq Z^n + \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \delta_{ks}^n (y_{ks}^m - y_{ks}^n) \quad (6)$$

Reteniendo las restricciones no-negativas de (3) sobre las incógnitas originales continuas x_j , reescribamos (4) y (5) como el siguiente problema de (PL) paramétrico. El símbolo θ denota un parámetro escalar, con valores $0 \leq \theta \leq 1$. Cuando θ se varía desde cero hasta la unidad, el método simplex producirá los mínimos locales Z^n y Z^m respectivamente. Los valores y_{ks}^n y y_{ks}^m son constantes conocidas e igual sucede con los términos de doble suma de la derecha de (4a) y (5a):

$$Z_{\text{mínimo}} = \sum_{j=1}^J c_j x_j + \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left[\delta_{ks} (y_{ks}^m - y_{ks}^n) \right] \theta + \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \gamma_{ks} y_{ks} \quad (5a)$$

$$\sum_{j=1}^J a_{ij} x_j + \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left[\alpha_{iks} (y_{ks}^m - y_{ks}^n) \right] \theta = b_i - \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \alpha_{iks} y_{ks}^n \quad (i=1, \dots, I) \quad (4a)$$

Ahora interpretando θ como la intensidad de una nueva actividad que se introduce en la solución óptima localmente para la combinación n, con $(0 \leq \theta \leq 1)$. El criterio de "costo reducido" convencional para la introducción de esta nueva actividad es

$$\sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \delta_{ks}^n (y_{ks}^m - y_{ks}^n)$$

Esto implica la débil desigualdad (6) que debe ser probada.

Observaciones:

a). - Nótese que z^n está asociada con una solución factible entera, e inmediatamente proporciona un límite superior sobre el valor del mínimo global z .

b). - La clave del lema (6) establece un límite inferior sobre z^m - un límite que puede ser calculado solamente con los resultados de la (PL) - para la combinación del proyecto n : z^n , π_i^n y δ_{ks}^n .

Si $\sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \delta_{ks}^n (y_{ks}^m - y_{ks}^n) \geq 0$, la combinación "m" puede rechazarse inmediatamente y ninguna solución de PL necesita ser calculada explícitamente para esa combinación.

La eficiencia de cálculo de IPE dependerá de la frecuencia con la que ésta desigualdad nos permita rechazar combinaciones. Nótese que (6) es un criterio para rechazar combinaciones de proyectos.

c). - Las diferencias en las intensidades del proyecto $(y_{ks}^m - y_{ks}^n)$ son ya sea $\langle +1, 0, -1 \rangle$. Mayor aún, dentro de los grupos de exclusividad mutua s , existirán a lo más una diferencia positiva, y una diferencia negativa.

d). - Si una solución óptima localmente para la combinación n se obtiene a través del método simplex, ésta inmediatamente proporciona una solución básica inicial factible dual para la combinación m . Para obtener la solución óptima con la combinación m , sería ventajoso aplicar la técnica simplex doble, iniciando los cálculos de la solución básica con la combinación n .



Ejemplo de planeación de inversiones: interdependencia entre proyectos y dos sectores.

Este ejemplo es una versión simplificada de un modelo descrito en Chenery (1959). Se ilustra la interdependencia entre las decisiones de inversión en el caso de proyectos de maquinaria y acero.

Un país hipotético está interesado en seleccionar el nivel de importaciones y exportaciones, seleccionando simultáneamente entre proyectos de inversión indivisibles en éstos sectores. Los costos necesitan minimizarse sujetos a la restricción de entregar 1MT/Y (millones de ton/año) de acero y 1 MT/Y de maquinaria a la salida de "demanda final" de los sectores de acero y maquinaria. Se lleva una tonelada de acero el hacer una tonelada de maquinaria, pero ninguna maquinaria se necesita como una entrada de cuenta corriente para producir acero.

Las variables de decisión continuas son x_1, \dots, x_4 , la tasa de importaciones y exportaciones del acero y maquinaria, respectivamente. Los proyectos de acero pueden construirse en uno de los tres tamaños mutuamente exclusivos: 0, 2 y 4 MT/Y. Los proyectos de maquinaria pueden construirse en uno de los tres tamaños de exclusividad mutua: 0, 1 y 2 MT/Y. Asumiendo que no mas de un proyecto de cada tipo se construye, existen tres variables de decisión para los proyectos de acero: y_{11}, y_{21} y y_{31} y 3 para la maquinaria: y_{12}, y_{22} y y_{32} . El número de combinaciones lógicamente posibles es de esta forma

$$N = (K)^S = 3^2 = 9.$$

La programación aparece en la Tabla 2.3 - primero la fila del costo, después los balances de material y por último las filas mutuamente ex-

TABLA 2.3

TABLA DE COEFICIENTES PARA EL EJEMPLO DE ACERO Y MAQUINARIA

	Variables Continuas				Proyectos Siderúrgicos			Proyectos de Maquinaria			
	Importaciones Acero	Importaciones Maquinaria	Exportaciones Acero	Exportaciones Maquinaria	Tamaño: OMT/Y	Tamaño: 2MT/Y	Tamaño: 4MT/Y	Tamaño: OMT/Y	Tamaño: 1MT/Y	Tamaño: 2MT/Y	
Incógnitas	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	
COSTOS	200	500	-50	-250		320	520		330	530	= Z Millones de pesos anuales = 1 MT/Y
Balance de Material del acero	1		-1			2	4		-1	-2	
Balance de Material de Maquinaria		1		-1					1	2	= 1 MT/Y
Proyectos del Acero Mútuaente Exclusivos					1	1	1				= 1
Proyectos de Maquinaria Mútuaente Exclusivos								1	1	1	= 1

TABLA 2.4
SECUENCIA DE CALCULO DEL IPE

Número de la iteración		1	2	3	4	5
n	Identificación de la combinación para la optimización de programación lineal	11	33	21	13	22
π_1^n	Valores dobles para el balance de material - Acero	200	50	50	200	200
π_2^n	Valores dobles para el balance de material-Maquinaria	500	250	500	250	500
δ_{11}^n	Costos reducidos para el proyecto del acero 1	0	0	0	0	0
δ_{21}^n	Costos reducidos para el proyecto del acero 2	-80	220	220	-80	-80
δ_{31}^n	Costos reducidos para el proyecto del acero 3	-280	320	320	-280	-280
δ_{12}^n	Costos reducidos para el proyecto de maq. 1	0	0	0	0	0
δ_{22}^n	Costos reducidos para el proyecto de maq. 2	30	130	-120	280	30
δ_{32}^n	Costos reducidos para el proyecto de maq. 3	-70	130	-370	430	-70

Combinación del Proyecto
n o m

11	700 ^a	700	700	700	-
12	730	-	-	-	-
13	630	630	630 ^b	880 ^a	-
21	620	620 ^b	770 ^a	-	-
22	650	650	650	650 ^b	650 ^a
23	550	650	650	800	-
31	420	620	870	-	-
32	450	750	-	-	-
33	350 ^b	750 ^a	-	-	-
Límite superior mas chico = lub global sobre Z	700	700	700	700	650
Límite inferior mas grande = glb global sobre Z	350	620	630	650	650

a Denota el Z^n mínimo óptimo para cada iteración

b Denota el glb global sobre Z.

clusivas. De la fila de costo, se puede ver que las economías de escala son significativas, por ejemplo, para duplicar la salida de acero de a 4 MT/Y, los costos anuales aumentan de \$320 a 520 millones/año, un crecimiento de 60%. Las ganancias por exportaciones entran como un artículo negativo en la fila del costo. Nótese que los costos y las escalas de demanda han sido arregladas de manera que es más barato importar tanto el acero y la maquinaria en vez de importar un artículo y producir el otro nacionalmente. El óptimo global se obtiene a través de un "empujón grande" coordinado, en el que ambos artículos son producidos nacionalmente; no existen importaciones o exportaciones y $Y_{21} = Y_{22} = 1$. Con esta combinación de proyectos, los costos totales son \$650 millones/año.

Abajo de la fila de costo en la Tabla 2.3, existen dos filas de balance de materiales-para el acero y maquinaria respectivamente. Estas corresponden al grupo de ecuaciones (4) con $I = 2$. A continuación vienen dos hileras mutuamente exclusivas - una para el acero y una para el sector de maquinaria. Estas corresponden al grupo de ecuaciones (1), con $s = 2$. Se entiende que las incógnitas deben satisfacer las restricciones de no negatividad (3) y restricciones de números enteros (2).

La Tabla 2.4 señala los pasos sucesivos de IPE. Cada columna corresponde a un paso - los resultados de la optimización de la (PL) para una combinación particular n . Cada columna está dividida en 4 partes: (a) la identificación de n y los valores de las variables duales π_i^n ; (b) los valores de los costos reducidos d_{ks}^n ; (c) el mínimo óptimo localmente Z^m , junto con los valores del "glb" (límite inferior mas alto) conocido para ---

(para toda $m \neq n$); y (d) el "lub" global (límite superior más bajo) y el "glb" de Z.

Cada una de las N combinaciones es identificada por un número de 2 dígitos - el primero de ellos identifica el índice de tamaño k del proyecto del acero y el segundo el índice de tamaño del proyecto de maquinaria. --- Ahora suponiendo que el primer paso se toma arbitrariamente y que la --- combinación del proyecto seleccionado es 11 - un tamaño de cero para --- ambos proyectos de acero y de maquinaria. Resolviendo la (PL) continuo -- para $n = 11$, se observó que $z^{11} = \$ 700$ millones/año y que los valores duales óptimos π_i ; se establecen por los costos de importación: \$ 200/ton de acero y \$ 500/ton de maquinaria. Usando estos precios para obtener los costos reducidos σ_{ks}^{11} , la desigualdad (6) proporciona límites inferiores - sobre los costos para cada una de las m combinaciones alternativas, por - ejemplo para $m = 32$:

$$z^{32} \geq z^{11} + \sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^3 \sigma_{ks}^{11} (y_{ks}^{32} - y_{ks}^{11})$$

$$z^{32} \geq z^{11} + [\sigma_{11}^{11}(-1) + \sigma_{21}^{11}(0) + \sigma_{31}^{11}(1)] + [\sigma_{12}^{11}(-1) + \sigma_{22}^{11}(1) + \sigma_{32}^{11}(0)]$$

$$z^{32} \geq 450$$

Se empleó un cálculo similar para determinar un "glb" para cada una de las ocho combinaciones $m \neq n$ y el resultado se coloca en la lista "glb" de la Tabla 2.4. Ya que éste primer paso indica que $z^{11} = 700$ y --- que $z^{12} \geq 730$, la combinación 12 puede descartarse de aquí en adelante como un candidato para el óptimo global. Al final del paso 1, se estableció que el valor óptimo de Z debe descansar entre el lub global de 700 y el glb global de 350. Ya que el glb más bajo está asociado con la combinación del

proyecto 33, el segundo paso consiste en resolver el programa lineal continuo para $n = 33$.

De la misma Tabla 2.4 se observa que la solución 5 óptima localmente $Z^{33} = 750$, que el glb del paso 1 no proporciona un límite exacto y que la combinación 33 puede descartarse en adelante. Más aún, con tantas escalas de inversión, el $\bar{\pi}_i$ cae substancialmente y ahora son iguales a los precios de exportación de \$ 50/ton de acero y \$250/ton de maquinaria. De nuevo aplicando la desigualdad (6) del lema IPE, los nuevos valores duales nos capacita para establecer que $Z^{32} \cong 750$ y que la combinación 32 se puede rechazar. Posteriormente, estos valores duales suben el glb para la combinación 23 y 31.

Al final del paso 2, nótese que el lub global permanece a 700, pero que el glb global ha aumentado hasta 620. Para el paso 3, se establece $n = 21$, se resuelve un tercer (PL) y se ve que $Z^{21} = 770$ y que $Z^{31} \cong 870$. Esto prueba que las combinaciones 21 y 31 pueden rechazarse en lo sucesivo.

Dos pasos más - o un total de 5 soluciones de (PL) se calculan de - el máximo posible de 9 - se necesitaron para descartar todas las combinaciones excepto la 22 y para verificar que ésta es una solución óptima globalmente con $Z_{\min} = Z^{22} = 650$. En este punto, las variables duales otra vez tienen los mismos valores numéricos que en el paso 1. Esto proporciona un contra ejemplo inmediato a la conjetura de que los precios son -- suficientes para dar una señal del óptimo global en presencia de indivisibilidades. Tanto la información de precios como de cantidades son usadas en

el proceso de optimización IPE.

Observaciones sobre la perforación de un programa de computadora para IPE.

a). - Si la capacidad de la memoria de la computadora no representa un cuello de botella, sería ventajoso mantener una lista explícita de las glb para cada una de las N posibles combinaciones del proyecto, como en la Tabla 2.4. Alternativamente, el costo de un incremento en las operaciones aritméticas, ésta lista puede mantenerse en forma implícita. Esto se logra a través de las cantidades Z^n y δ_{ks}^n producidas en cada una de las soluciones simplex explícitas. En cada paso y para cada combinación en turno, el cálculo del glb (ecuación 6) se repite - aplicando las cantidades Z^n y δ_{ks}^n obtenidas de los pasos previos.

b). - Es probable que el número de pasos puede reducirse a través de opciones juiciosas del punto de inicio (S). El lub inicial puede ser disminuido a través de una buena conjetura en las combinaciones de menor costo. No existe nada en la lógica básica de IPE que imposibilite dos o más puntos de inicio.

c). - El número de iteraciones del IPE está influido a través de un parámetro de tolerancia específico del usuario $\epsilon > 0$. El algoritmo se termina cuando quiera que el glb global $+\epsilon \geq lub$ global. Mientras más bajo sea el valor de ϵ , mayor será el número de pasos del IPE, pero la exactitud se logra sobre los límites del mínimo.

CAPITULO III
MODELOS DE MERCADO DE ENERGIA

- 3.1. Conceptos generales y clasificación de los modelos de demanda.
- 3.2. Metodología de Pronóstico de Demanda usando Funciones Econométricas.
 - 3.2.1. Desarrollo de la Metodología
- 3.3. Metodología de Análisis de Sistemas-Escenarios.
 - 3.3.1 Estructura de la Metodología.
 - 3.3.2. Proyección de la Economía al año 1985
 - 3.3.3 Evaluación de la Demanda Agregada
 - 3.3.4 Segunda Evaluación de la Demanda de Energía.
- 3.4. Modelo de Simulación
 - 3.4.1 Metodología del Modelo
 - 3.4.2 Estructura del Modelo
 - 3.4.3 Dinámica del Sistema
 - 3.4.4 Características del Modelo

3.1. CONCEPTOS GENERALES Y CLASIFICACION DE LOS MODELOS DE DEMANDA.

Los modelos para los mercados de energía incluyen modelos económicos y del proceso, así como modelos integrados de los dos anteriores, los cuales caracterizan tanto la oferta como la demanda para un conjunto específico o relacionado de productos energéticos. Tales modelos son muy útiles y aplicables a todas las categorías de uso energético, aunque la mayor utilidad es al proveer un cuadro concreto para planear la expansión industrial y estudiar los efectos de la política regulatoria de la misma. Los trabajos de modelos realizados en otros países en esta área, involucran la unión de las técnicas econométricas y de proceso para aprovechar su fuerza al representar las relaciones de demanda y oferta respectivamente.

Puesto que hasta el momento no se tiene conocimiento de la existencia de un modelo integrado de este tipo para México, consideramos pertinente clasificar bajo este rubro al trabajo que se llevó a cabo en el Centro de Investigación y Docencia Económicas, A.C. (CIDE) por el Grupo de Economía de Energéticos en el año de 1976 cuyo título es "La Evaluación de Proyectos y Metodologías de Demanda en el Sector Energético Nacional".

Este trabajo involucra la mayoría de las técnicas econométricas para evaluar las opciones de las inversiones que se pintan como adecuadas en el sistema energético. Como ya se había mencionado, los modelos que se enfocan hacia el proceso o que tienen un tratamiento ingenieril son los que estructuran la oferta de productos energéticos, mientras que los que tienen enfoque económico y usan herramientas econométricas estructuran la de-

manda, es decir tratan de formular los parámetros que la determinan para proyectarla o bien para simularla.

El pronóstico de la demanda futura de energía es importante para el análisis del sector energético, debido a que los resultados de dicho pronóstico sirven de base para la planificación del desarrollo de la oferta de acuerdo con los recursos disponibles y también permite el diseño de políticas encaminadas a modificar el patrón de consumo.

De la gran variedad de técnicas que se utilizan para el pronóstico de la demanda en este trabajo se hizo una revisión somera de algunas de ellas.

Los pronósticos pueden ser de diferente naturaleza; de corto, medio o largo plazo; también se puede llevar a cabo predicciones puntuales o de intervalo y pueden estar o no condicionados a la ocurrencia de cierto evento.

Algunas de las técnicas empleadas son bastante simples, mientras que otras son más sofisticadas; por lo que se refiere a las primeras, se tienen:

- a). - Método de la intuición
- b). - Método de encuestas
- c). - Modelos autónomos
- d). - Modelos condicionales.

a). - Método de la intuición.

Este método es el que realizan generalmente los expertos en el área que se está investigando. Los expertos expresan sus opiniones acerca de los valores que probablemente tomarán en el futuro la variable o variables

que se quieren predecir. Sin embargo, este tipo de análisis tiene el inconveniente de que es materialmente imposible que se tomen en cuenta todas aquellas variables que influyen de manera importante en la variable a explicar, y que se determine, además, en qué grado influyen esas variables: Es el mismo método que el Delfi.

b). - Método de Encuestas.

La idea básica es que, si se desea pronosticar cuál va a ser la demanda en un año dado, lo más conveniente es que se pregunte a la gente y a las organizaciones que van a demandar ese producto.

Evidentemente, ésta es una técnica bastante útil para realizar pronósticos de demanda de nuevos productos, o para el que se hace en aquellos tipos de mercado en los que pocas unidades económicas intervienen -- (en la venta y compra del producto). Sin embargo, hay que señalar el hecho de que éste método es costoso en términos de recursos empleados, además de los problemas técnicos que pueden presentarse en cuanto al diseño de la encuesta, de la muestra, etc.

c). - Modelos Autónomos.

Los modelos autónomos, suponen un crecimiento de la variable que se quiere determinar de acuerdo con una cierta tasa, y de manera independiente de otros factores que pueden influir en el crecimiento de la variable.

La tasa de crecimiento que se utilice puede basarse en la tasa de crecimiento histórica o en una tasa diferente, de acuerdo con los supuestos adoptados.

En este tipo de procedimientos, "t", la variable tiempo, se transforma en la variable causal o explicativa, mientras que otras variables -- explicativas son ignoradas, o se supone que no existen. En cierto sentido, "t" refleja el peso promedio de todas las influencias actuales, pero no se trata de investigar las interrelaciones entre la variable que se quiere pronosticar y estas influencias.

Si se ignoran otros posibles factores causales, entonces implícitamente se supone que estos factores van a continuar operando en el futuro, de tal manera que la variable crecerá o disminuirá tal y como lo ha hecho en el pasado. La extrapolación de la tendencia es normalmente más útil para la toma de decisiones que se relacionan con el futuro cercano, o en situaciones en que los errores de pronóstico producirían solamente ganancias o pérdidas pequeñas (ya sea de dinero, de recursos, etc.); ello se debe a que ésta es una técnica bastante rápida y que no implica un costo muy elevado.

Hay diferentes maneras de llevar a cabo una extrapolación. Se puede determinar la tasa de crecimiento en el pasado y aplicarla a los valores futuros, o ajustar una función con respecto al tiempo, la cual puede ser lineal logarítmica, exponencial, etc.

d). - Modelos Condicionales.

Por último, tenemos los modelos condicionales, que presentan un grado de sofisticación mayor con respecto a la técnica anterior. Este método se basa en el análisis de aquellos factores que influye, o de los cuales se piensa que pueden influir en la variable que se quiere predecir. Se trata pues, de determinar la relación entre estos factores y la variable explicada.

La relación derivada puede ser barométrica, estadística o económictrica; en éste último caso, se examinan los factores causales y se analizan, de manera más rigurosa, sus interrelaciones con la variable a proyectarse, mientras que en las dos primeras, sólo se determina el grado de relación entre las variables independientes y dependientes.

En el enfoque econométrico, ciertos métodos estadísticos son aplicados a proposiciones económicas, las cuales han sido formuladas en la dirección especificada; también se puede presentar el que un cierto factor influya en ambas variables, en la dependiente y en la independiente.

Por lo que se refiere a enfoques más sofisticados tenemos, por ejemplo, la construcción de modelos para el análisis de la demanda de energía. La naturaleza del modelo dependerá de los objetivos que se -- desean alcanzar, así como del tiempo y de los recursos que se quieren invertir.

En el trabajo hecho por el CIDE se sugieren metodologías de pronósticos de demanda de energía, para los cuales se menciona que si se espera que continúe la estabilidad del sistema, la extrapolación de la tendencia pasada proporcionará los pronósticos más acertados; pero si esto no llega a suceder se tienen variaciones sustanciales en las magnitudes.

Por otro lado, el pronóstico de la demanda de energéticos debe ser el resultado de la confrontación entre el desarrollo económico y el energético, hecho a través del análisis de los cambios estructurales de la economía en vías de desarrollo, de las modificaciones en los sistemas de preferencia y de las condiciones de oferta de los energéticos. Se debe tener en

cuenta que en los sectores industrial y transportes, la energía es un factor productivo que está, con un cierto grado de rigidez, ligado al factor capital, mientras que, en el sector doméstico, el consumo de energía es generalmente el resultado indirecto del uso de ciertos aparatos domésticos.

Estas características significan que, a mediano y largo plazo el desarrollo energético es el resultado de varios fenómenos particulares, los cuales tienen su propio dinamismo dentro del marco general del dinamismo de una economía en desarrollo.

Se proponen tres metodologías para el pronóstico de demanda de --- energías, y se recomienda el uso de la primera para el pronóstico de corto y mediano plazo (5-7 años), mientras que las dos últimas, que son susceptibles de integrarse en una sola, se diseñaron para el pronóstico a largo -- plazo (10-25 años)

a). - Uso de Funciones Econométricas para Pronóstico por Energé-- tico.

Se puede considerar que el consumo de energéticos está ligado al nivel de la actividad económica, así como a otras variables de tipo social- o técnico, las cuales determinan en parte el consumo de energía. Esta me- todología se basa en este hecho para efectuar la construcción de relaciones econométricas, en las que el consumo de un cierto combustible se expresa en función de una serie de variables exógenas, las cuales influyen en el nivel del consumo.

Es importante que se tenga en cuenta que en este tipo de relaciones se supone una permanencia de los parámetros, por lo que las proyecciones a largo plazo son bastante restrictivas. Se recomienda el uso de estas fun-

ciones econométricas para el pronóstico de corto y mediano plazo, período en que es difícil que ocurran cambios substanciales en las relaciones.

b). - Técnica de los Escenarios-Análisis de Sistemas.

Esta metodología permite que se construya un marco general para hacer hipótesis consistentes sobre los parámetros de cada subsistema de la economía mexicana. En una primera etapa se ponen en relieve las relaciones que ligan los diferentes subsistemas del conjunto, así como sus --- evoluciones relativas hasta el horizonte del pronóstico. En una segunda -- etapa, se analizan con mayor detalle los subsistemas intensivos en el uso de la energía; la industria y los transportes.

Para el sector industrial, el objetivo es la medición de las conce-- cuencias del crecimiento de las actividades económicas, a través de la evolución de la estructura del sector de los bienes finales, del peso relativo - de las diferentes industrias, y también con la ayuda de los cambios en los procesos productivos y de las eficiencias en el uso de la energía por cada-- ramo industrial. Con este fin, se pueden hacer estudios específicos sobre cada una de las industrias intensivas en el uso de la energía, así como so-- bre los procesos que se utilizan dentro de ellas; se pueden también estudiar los planes oficiales para el futuro (proyectos de inversión, pronósticos de - producción, etc). Por otra parte se puede tratar de hacer una idea de las -- consecuencias de las diferentes políticas industriales, que pueden ser ex-- presadas por diferentes sectores de la demanda final.

Por lo que se refiere al sector transportes, se pueden medir los -- efectos del crecimiento de las actividades económicas de producción y de-

consumo, a través del número de los diferentes medios de transporte, así como sus grados de utilización y el grado de eficiencia de estos medios de transporte. El estudio se puede realizar atendiendo al tipo de transporte: - transporte de bienes, transporte foráneo de pasajeros y transporte urbano de pasajeros. Se necesitan hipótesis sobre el desarrollo de las diferentes redes (carreteras, ferrocarriles), sobre el crecimiento del ingreso promedio (y su relación con el número de coches), sobre el grado de urbanización, así como sobre los intercambios geográficos interindustriales e industria--agricultura. De la misma manera, se puede considerar el consumo de ener--gía para los demás subsectores.

Para el sector agrícola, el objetivo es la medición del grado y de la eficiencia de la mecanización (número de tractores, de segadoras, etc).

Los objetivos gubernamentales sobre el uso de la mano de obra agrí--cola, la emigración del campo hacia la ciudad, los promedios y las inver--siones agrícolas, el autoabastecimiento agrícola del país y las exportacio--nes de bienes agrícolas, son determinantes en la realización del pronóstico del consumo de energía del sector agrícola.

En cuanto al consumo de energía en el sector doméstico o en el sec--tor terciario, el objetivo puede ser el intento de precisar el impacto del --- crecimiento del ingreso promedio, de la distribución de los energéticos, de la urbanización y de la política de alojamiento, sobre el consumo de bienes y servicios que llevan a un consumo de energía.

c). - Modelo de Simulación. (tipo paramétrico).

Es de utilidad para medir los efectos de diferentes políticas o de --

evoluciones diferentes de la economía.

Tal y como se especificó anteriormente, ésta metodología y la de-
escenarios son susceptibles de integrarse en una sola, ya que el modelo -
de simulación es la formalización matemática de las relaciones que se tra-
tan de derivar a través de los escenarios.

3.2. METODOLOGIA DE PRONOSTICO DE DEMANDA USANDO FUNCIONES ECONOMETRICAS.

El consumo de energéticos por parte de ciertos grupos de consumidores, está ligado al nivel de ciertas variables que se pueden considerar como determinantes, y que explican en parte este consumo.

Por medio de funciones econométricas, en las que el consumo de cierto combustible se expresa en función de algunas variables que influyen en el nivel del mismo, se puede pronosticar el consumo futuro de este combustible.

Esta metodología tiene ciertas limitaciones. Una de las más importantes es el supuesto de que el sistema representado por la relación considerada, se reproducirá en las mismas condiciones que en el pasado, sin cambios estructurales o con los mismos cambios que en el pasado.

Por ejemplo, si el consumo del sector industrial está ligado al valor agregado industrial y al precio de la energía, se supondrá que en el futuro, el consumo industrial de energía se desarrollará en las mismas condiciones que en el pasado. Esto significa que cada rama industrial evoluciona de acuerdo con la trayectoria histórica, y con la misma eficiencia en el consumo de energía (consumo de energía dividido entre el valor agregado de ese ramo industrial*).

Por otra parte, también se supone que la elasticidad precio en el --

* Es posible interpretar la relación econométrica entre el consumo de energía y el valor agregado como el efecto de una compensación entre los cambios en las partes relativas de las ramas industriales y la eficiencia en el consumo de energía.

nivel global del sector industrial, será constante aún si los cambios en los precios son importantes.

Sin embargo, la política industrial en el futuro puede ser muy diferente de la política adoptada en el pasado. Se puede imaginar por ejemplo, una política de industrialización por medio de la producción nacional de bienes de capital, o una política que permita el desarrollo de las industrias orientadas hacia la exportación.

También se puede imaginar una política de conservación de energía, en la que los mejoramientos en la eficiencia del consumo industrial de energía serían alentados de diferentes maneras (subsidios, mejor información sobre las técnicas, etc.). Por el contrario, se puede considerar como posible una evolución de la industria, sometida a ciertas restricciones financieras (por ejemplo, para limitar el desequilibrio de la balanza de pagos), por lo que sería preciso conservar equipo viejo.

Se puede considerar las mismas relaciones econométricas entre el consumo de energía del sector doméstico y el ingreso promedio o el PIB -- per cápita, ya que se supone que los cambios en la estructura del ingreso serán los mismos que en el pasado y que en cada estrato de ingreso, los hábitos de consumo, las inclinaciones, los valores sociales, serán reproducidos en las mismas condiciones.

Por esto es que este tipo de metodología se recomienda para horizontes no muy lejanos (5-7 años), en los que es difícil que ocurran cambios importantes en las relaciones.

3.2.1. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA.

Se consideraron tres sectores consumidores para realizar pronósticos por producto. Estos sectores son el Industrial, Transportes y Domésticos.

Se calculan las funciones econométricas solamente para los principales productos por sector; así para el sector industrial se estimaron las de consumo de gas natural, combustóleo, energía eléctrica y carbón; para el sector transportes se estimaron las funciones de demanda de gasolina, diesel y turbosinas; para el sector Doméstico, las ecuaciones de consumo de kesorinas, gas licuado y electricidad. No se incluyeron en éste análisis los sectores agrícolas y servicios debido a su poca participación relativa en el total, mientras que para el sector energético sería más conveniente que se analizaran los planes de desarrollo de las empresas que forman el sector, con lo que se podría obtener una idea más exacta del consumo futuro a mediano plazo, ya que este nivel de consumo depende, en el caso del subsector eléctrico, del tipo de planta que se va a utilizar para generar energía eléctrica.

Todos los pronósticos de la demanda de energía que se llevaron a cabo para los tres sectores se obtuvieron con análisis de regresiones, y tan solo dan las ecuaciones obtenidas para cada producto energético en los diferentes sectores. La información que se utilizó fué la que se tiene sobre el consumo sectorial del Instituto Mexicano del Petróleo (1976), con excepción de las gasolinas, para la obtención de cuyos datos se usó la información sobre gasolinas automotrices, reportada en el anuario es-

AT ; Número de vehículos en circulación.

La elasticidad precio de la demanda es baja, igual a 0.1378, lo cual demuestra la inelasticidad de la demanda de las gasolinas. Sin embargo, dadas las pocas variaciones que en los precios se han tenido, la elasticidad precio está sesgada hacia cero, por lo que se podría considerar el dato resultante como un límite inferior.

b) Diesel. - Las variables explicativas son el PIB del sector transportes, el precio del diesel y algunos indicadores de aquellas actividades que emplean diesel, tales como los kms. - pasajero transportados por ferrocarriles o el número de auto transportes en circulación, etc.

Las variables que resultaron significativas fueron el PIB y el precio del diesel; se obtuvo una baja elasticidad precio de la demanda igual a 0.266, lo cual indica la inelasticidad de la curva de la demanda.

$$DDT = - 32.69 + 0.542 PIBT - 2.845 PD$$

$$(45.7) \quad (-7.31)$$

$$r^2 = .997$$

Error estándar de la estimación = 112.02

No. de observaciones = 16

DDT : Demanda de Diesel en metros cúbicos.

PIBT : PIB del sector transportes en pesos de 1960

PD : Precio promedio del diesel por M³, deflactado por el Índice de Precios al Mayoreo.

c) Turbosinas mas Gasavión. - Los indicadores empleados fueron pasajeros y toneladas transportadas por kilómetro y el PIB del sector ---

transportes; esta última variable resultó más significativa.

$$DTT = -300.95 + 0.11145 \text{ PIBT}$$

(26.51)

$$r^2 = 0.992$$

Error estándar de la estimación = 25.31

No. de observaciones = 16

DTT = Demanda de Turbosinas mas gasavión (M³)

PIBT = PIB del sector transportes en pesos de 1960.

2. Sector Industrial.

Los productos que se consideraron fueron combustóleo, gas natural, electricidad y carbón. Debido a la sustituibilidad que existe entre el combustóleo y el gas natural, éstos se agruparon.

a) Combustibles Industriales. - La demanda se expresó en metros cúbicos de combustóleo equivalente y se usó como variable explicativa el PIB del sector industrial.

$$DCOI = 1200.246 + 151.36 \text{ PIBI}$$

(30.22)

$$r^2 = .9924$$

Error estándar de la estimación = 633.06

No. de observaciones = 16

Por otra parte se presentan ecuaciones preliminares para combustóleo y gas natural.

$$\text{Gas Natural} \quad DGNI = -384.16 + 69.41 \text{ PIBI} - 3.04 \text{ REP}$$

(16.01) (- 1.12)

$$r^2 = .986$$

Error estándar de la estimación = 381.2

No. de observaciones = 16

DGNI : Demanda de gas natural en el sector industrial (M^3)

PIBI : PIB del sector industrial en pesos de 1960

REP : Relación de precios de gas natural sobre combustóleo, deflactada por el Índice de precios al mayoréo.

$$\text{Combustóleo} \quad \ln DCI = 7.42 + 0.13425 \ln PIBI \\ (1.566)$$

$$r^2 = .586$$

Error estándar de la estimación = 0.13002

No. de observaciones = 16

DCI : Demanda de combustóleo en el sector industrial en metros cúbicos.

PIBI : PIB del sector industrial en pesos de 1960.

Se incluyó la relación de precios en ambos casos, aunque esta variable no resultó significativa para el del combustóleo; para el consumo de gas natural sí fue significativa, aunque tuvo una elasticidad baja. Esto significa que las empresas no van a reaccionar a cambios en los precios, sino que mas bien es la disponibilidad del producto la que afecta a la estructura del consumo de combustibles.

b) Carbón. - La variable explicativa que se utilizó para realizar la estimación del consumo de carbón en el sector industrial es el PIB de las industrias metálicas básicas.

$$\text{DCCI} = -446.22 + 0.86769 \text{ PIBM}$$

(10.22)

$$r^2 = 0.939$$

Error estándar de la estimación = 512.59

No. de observaciones = 15

DCCI = Consumo de carbón en el sector industrial (toneladas)

PIBM : PIB de industrias metálicas básicas en pesos de 1960.

b) Electricidad. - Como en las anteriores se usó el PIB del sector, observándose un comportamiento relativamente normal de la demanda de electricidad ante los aumentos en el PIB sectorial.

$$\text{DEI} = 4691.7 + 165.8597 \text{ PIBI}$$

(32.18)

$$r^2 = 0.994$$

Error estándar de la estimación = 551.709

No. de observaciones = 14

3. Sector Doméstico.

Para este sector se estimaron las ecuaciones de consumo de gas licuado, de electricidad y de kerosinas.

g) Gas Licuado. - El consumo de gas licuado se relacionó con el nivel de ingreso, por lo que se estimaron dos ecuaciones; en la primera se utilizó el PIB, mientras que en la segunda el PIB per cápita.

La ecuación en función del PIB tuvo mejor ajuste.

$$\text{DGLD} = -756.9 + 6.303 \text{ PIB}$$

(31.9)

$$r^2 = 0.993$$

Error estándar de la estimación = 60.29

No. de observaciones = 16

DGLD : Demanda de gas licuado en el sector doméstico (miles de toneladas).

PIB ; Producto Interno Bruto en pesos de 1960.

b) Electricidad. - Las variables explicativas fueron el PIB, el PIB per cápita y el precio promedio de la electricidad. Cuando se incluyó el precio, se obtuvieron signos correctos, es decir negativo para el precio y positivo para el PIB, pero los coeficientes no resultaron significativos, por lo que realizó el pronóstico con la ecuación que sólo tomo en cuenta el PIB.

$$DED = - 2281.2 + 20.426 \text{ PIB}$$

(27.6)

$$r^2 = 0.992$$

Error estándar de la estimación = 193.78

No. de observaciones = 14

DED : Demanda de electricidad en el sector doméstico, en GWH

PIB : Producto Interno Bruto en pesos de 1960.

c) Kerosinas. - Se usó el PIB total. El resultado indicó que cuando aumenta el PIB, y por lo tanto el ingreso de las unidades domésticas, el consumo de kerosinas tiende a disminuir. De ahí el signo negativo de la participación del PIB en la ecuación estimada.

$$\ln \text{DKD} = 6.2989 - 0.02154 \ln \text{PIB}$$

(-1.19)

$$r^2 = 0.80341$$

Error estándar de la estimación = 0.02201

No. de observaciones = 16

ln DKD : Logaritmo natural de la demanda doméstica de kerosinas.

ln PIB : Logaritmo natural del PIB en pesos de 1960.

3.3. METODOLOGIA DE ANALISIS DE SISTEMAS-ESCENARIOS.

Este enfoque descansa sobre dos componentes metodológicos:

- a) El análisis del sistema de la demanda de energía, que permite analizar los factores que determinan esta demanda y los vínculos que los unen en su evolución y
- b) El método de "escenarios", que consiste en la definición de hipótesis sobre la evolución de estos factores que determinan el nivel de consumo energético.

El trabajo presentado no es más que un ejercicio en el que se presentan algunas relaciones entre el consumo de energía y determinados factores que influyen en este consumo.

Las hipótesis escogidas y sus justificaciones, sólo son una ilustración del método y no resultan de un análisis profundo de los mecanismos del consumo de energía.

El desarrollo consiste primeramente en establecer un conjunto de hipótesis jerarquizadas y coherentes; se deduce la estructura de la economía mexicana en la fecha horizonte y se suponen los cambios exógenos asociados que pueden ocurrir; con lo anterior se determina el nivel de la demanda de energía para cada sector de la economía.

3.3.1. ESTRUCTURA DE LA METODOLOGIA.

Las hipótesis o proyecciones que se hacen son a mediano plazo --- (1985). A largo plazo (hasta el año 2000), se requiere de un número mucho mayor de supuestos. A mediano plazo las hipótesis se realizan sobre las -

ducción; tal política requiere de inversiones importantes, pero conduce a una mayor integración e independencia de la economía. En el tercero (S_3), se supone una política de sustitución de importaciones de bienes de consumo y una dependencia de la economía respecto del exterior, por lo que se refiere a bienes de capital y a la tecnología.

En la Tabla 3.5 se señalan las hipótesis adoptadas de acuerdo a los distintos escenarios. La Tabla 3.6 contiene datos del PIB a precios de 1960, para este año y para 1973.

3.3.2. PROYECCION DE LA ECONOMIA AL AÑO 1985.

Suponiendo conocida la estructura del PIB en México para el año de 1973 en millones de pesos de 1960 se procede como sigue. Solo se hará para el escenario (S_1) puesto que para los otros dos se hace de la misma forma. Las tasas de crecimiento de los sectores se obtienen de la Tabla 3.5 y de la 3.6 los valores del PIB.

Para la tasa anual de crecimiento de 8%, el valor agregado de la industria (VAI) en pesos de 1960 será para 1985:

$$VAI_{85} = VAI_{73} (1 + 0.085)^{12} = \$269646 (10^6)$$

Para la agricultura

$$VAA_{85} = VAA_{73} (1 + 0.035)^{12} = \$ 54669 (10^6)$$

Ambos sectores importan un total de \$ 324 315 (10^6) de bienes producidos para 1985.

Con estos niveles de producción la participación de la agricultura es 17% y la industria 83%, de aquí que la tasa de crecimiento del comercio es:

TABLA 3.5
HIPOTESIS DE LOS TRES ESCENARIOS

Tasas de crecimiento de los sectores	S ₁	S ₂	S ₃
Población	+ 3.5 %	+ 3.5 %	+ 3.5 %
Sector Industrial	+ 8.0 %	+ 9.0 %	+ 7.5 %
Producción de Bienes de Capital	+ 8.0 %	+10.0 %	+ 6.3 %
Producción de Bienes de Consumo.	+ 8.0 %	+ 8.2 %	+ 8.5 %
Construcción	Δ PIB + 1.5 %	Δ PIB + 1.0 %	Δ PIB + 2.0 %
Agricultura	+ 3.5 %	+ 4.0 %	+ 3.5 %
Sector Urbano	+ 5.8 %	+ 6.2 %	+ 5.8 %
Ingresos	Δ PIB + 0.5 %	Δ PIB	Δ PIB + 1.0 %
Servicios	Δ PIB - 0.3 %	Δ PIB - 0.5 %	Δ PIB
Tecnologías	Mejoramiento lento	Mejoramiento rápido	Mejoramiento muy lento
Comercio Exterior	Déficit ligero	Excedente ligero	Déficit Importan.
Transportes	Δ PIB + 0.5 %	Δ PIB + 0.5 %	Δ PIB + 0.5 %

TABLA 3.6

Estructura del PIB en México en 1960 y 1973. (Millones de pesos de 1960).

	1960	%	1973	%	Tasa media anual de crecimiento (%) 1960 - 1973
PIB	150, 511	100.0	354, 100	100.0	6.8
Industria (incluyendo minas y energía)	37, 828	(25.1)	107, 080	(30.2)	8.30
Agricultura	23, 970	(15.9)	36, 179	(10.2)	3.07
Comercio	46, 880	(31.2)	111, 968	(31.6)	6.87
Servicios	30, 732	(20.4)	69, 472	(19.6)	6.32
Construcción	6, 105	(4.1)	18, 016	(5.0)	8.51
Transportes	4, 996	(3.3)	12, 385	(3.5)	7.56

FUENTE: Banco de México: Informe Anual, 1970 y 1974.

$$\text{COM}_{85} = 8\% (0.83) + 3.5\% (0.17) = 7.2\%$$

Con esta tasa se tendrá para este sector

$$\text{VACOM}_{85} = \text{VACOM}_{73} (1 + 0.072)^{12} = \$ 257\ 888 (10^6)$$

Habiendo señalado que en el sector servicios la tasa sería la del --

PIB menos 0.3%, entonces:

$$\begin{aligned} \text{VAS} (\%)_{85} &= \text{VAS} (\%)_{73} (1 - 0.003)^{12} = 19.6\% (0.997)^{12} \\ &= 18.9\% \text{ del PIB DE 1985} \end{aligned}$$

Para la construcción

$$\text{VACO} (\%)_{85} = \text{VACO} (\%)_{73} (1 + 0.015)^{12} = 6\% \text{ del PIB de 1985.}$$

Para transportes

$$\text{VATR} (\%)_{85} = \text{VATR} (\%)_{73} (1 + 0.005)^{12} = 3.7\% \text{ del PIB de 1985.}$$

La suma de estos tres últimos sectores es

$$6\% + 3.7\% + 18.9\% = 28.6\%$$

por lo tanto la participación de los otros sectores (IND, AGR, COM) es

$$100 - 28.6 = 71.4\% \text{ que equivale a } \$ 582\ 203 (10^6)$$

De esta forma se puede obtener el PIB de 1985.

$$\text{PIB}_{85} = \frac{582\ 203}{0.714} = \$ 815410 (10^6)$$

Esta cantidad representa una tasa media de crecimiento del PIB para el período 1974 - 1985 de 7.2%.

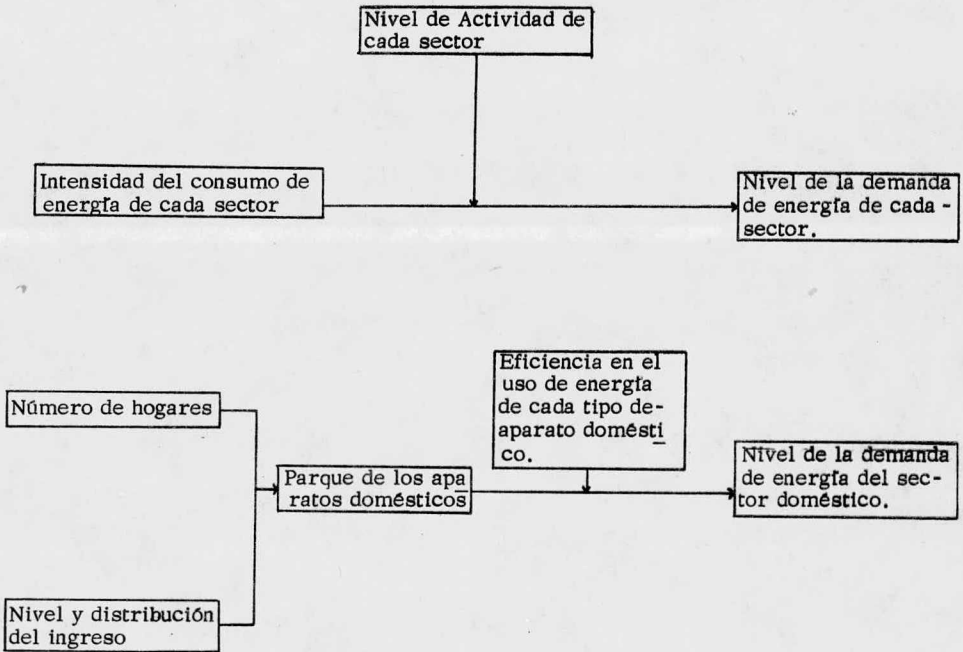
De igual forma se procede para los escenarios (S_2) y (S_3), obteniéndose los resultados de la Tabla 3.7

3.3.3. EVALUACION DE LA DEMANDA AGREGADA.

Con los anteriores resultados y las hipótesis de los posibles cam--

bios tecnológicos, se hace una primera evaluación del consumo de energía en 1985, utilizando patrones de consumo observados en el pasado (Tabla 3.8).

Los procedimientos para la estimación de la demanda de energía están representadas de la siguiente manera:



Procedimiento para estimar la demanda de energía.

TABLA 3.7
ESTRUCTURA DEL PIB EN 1985.
(MILLONES DE PESOS DE 1960)

	S ₁			S ₂			S ₃		
	10 ⁶ \$	%	Tasa de Crecimiento	10 ⁶ \$	%	Tasa de Crecimien- to	10 ⁶ \$	%	Tasa de Crecimien- to
PIB	815,410	100.0	7.2	854,157	100.00	7.6	789,784	100.0	6.9
INDUSTRIA	269,646	(33.1)	8.0	285,012	(33.4)	8.5	255,041	(32.3)	7.5
AGRICULTURA	54,669	(6.7)	3.5	57,924	(6.8)	4.0	54,669	(6.9)	3.5
COMERCIO	257,888	(31.6)	7.2	273,764	(32.0)	7.7	246,298	(31.2)	6.8
SERVICIOS	154,112	(18.9)	6.9	158,228	(18.5)	7.1	154,798	(19.6)	6.9
CONSTRUCCION	48,925	(6.0)	8.7	48,486	(5.6)	8.6	49,756	(6.3)	8.9
TRANSPORTES	30,170	(3.7)	7.7	31,536	(3.7)	8.1	29,222	(3.7)	7.4

TABLA 3.8

EVOLUCION DE LA DEMANDA DE ENERGIA.

(MILES DE MCPCE y 10⁶ PESOS DE 1960)

	1960			1973			TMC de la eficiencia en el uso de la energía (1960 - 1973)
	Consumo de Energía	VA	Coef. de Intensidad	Consumo	VA	Coef. de Intensidad	
Industria (+ Construcción)	10 000	43933	0.227619	24 366	125096	0.194778	- 1.19 %
Agricultura	661	23970	0.027576	1240	36179	0.034274	1.69 %
Servicios (+ Comercio)	633	77612	0.008156	1351	181440	0.007446	- 0.70 %
Transportes	7276	4996	1.456365	17140	12385	1.383932	-0.39 %
Doméstico	1533			3742			
TOTAL	20103			47839			

Fuente: I.M.P. Energéticos, Vol. 2, Cuadro B-13.

De la Tabla 3.8 se ve que la eficiencia en el uso de la energía aumentó en la industria, en los transportes y en los servicios. Para la agricultura la tendencia a su modernización hizo que se diera por un lado una substitución creciente de combustibles tradicionales por comerciales y por otro lado un mayor crecimiento en el consumo pre-existente de combustibles comerciales.

De acuerdo a lo establecido por cada escenario, la evolución en la intensidad sectorial en el uso de la energía se prevé:

- S₁: Los ritmos observados en el mejoramiento tecnológico y en la modernización rural, se mantienen.
- S₂: Hay un mejoramiento de las técnicas en el uso de la energía. La modernización y la mecanización de la agricultura se acelera, lo que produce un aumento en el uso de la energía en este sector. El ritmo de crecimiento de las industrias intensivas en el uso de energía se acelera.
- S₃: Hay un lento mejoramiento de las técnicas, un desarrollo acelerado de las industrias de bienes de consumo (poco intensivas en el uso de energía), una mecanización lenta de la agricultura y un aumento del consumo de energía en el sector de los servicios.

De lo antes dicho, se fijan los siguientes datos:

TABLA 3.9

TMA DEL CRECIMIENTO DE LA EFICIENCIA EN EL USO DE ENERGIA.

(1974 - 1985)

	Industria	Agricultura	Transportes	Servicios
S ₁	- 1.19	1.69	- 0.39	- 0.70
S ₂	- 0.19 (normal + 1.0%)	2.19 (normal + 0.5 %)	- 0.53 (normal - 0.14 %)	- 0.70
S ₃	- 0.94 (normal + 0.25%)	1.69	- 0.25 (normal + 0.14%)	- 0.45 (normal + 0.25%)

De estas tasas medias de crecimiento, se pueden obtener los coeficientes de intensidad para los distintos sectores y escenarios para 1985.

TABLA 3.10

COEFICIENTES DE INTENSIDAD DE CONSUMO DE ENERGIA

(1985)

	Industria	Agricultura	Transportes	Servicios
S ₁	0.168714	0.041909	1.320535	0.006844
S ₂	0.190383	0.044449	1.298435	0.006844
S ₃	0.173908	0.041909	1.342980	0.007054

Multiplicando estos coeficientes de intensidad por el nivel de actividad obtenido de la Tabla 3.7 se obtienen los niveles de consumo de energía para cada sector y cada escenario.

TABLA 3.11

NIVEL DE DEMANDA DE ENERGIA SECTORIAL (1985)

(MILES DE MCPCE)

	Industria (+ Construcción)	Agricultura	Servicios (+ Comercio)	Transportes	Total
S ₁	53 747	2291	2820	39841	98699
S ₂	63 492	2575	2957	40947	109971
S ₃	53 007	2291	2829	39245	97372

3.3.4. SEGUNDA EVALUACION DE LA DEMANDA DE ENERGIA (DESAGREGADA).

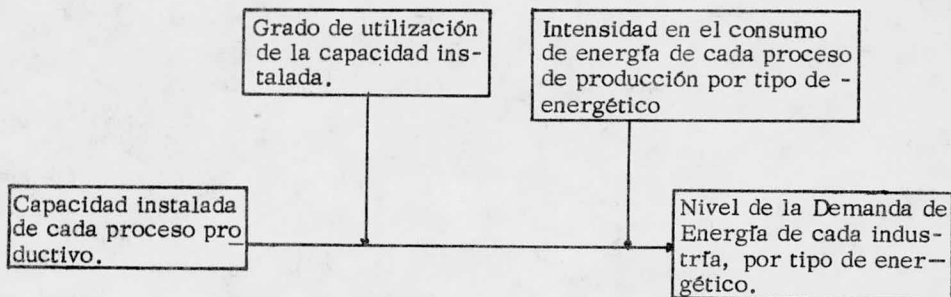
Las evaluaciones anteriores permiten hacer proyecciones semi-globales para cada sector consumidor. Sin embargo, las hipótesis que se hacen para determinar la intensidad en el consumo de energía para cada sector son demasiado globales. Los cambios en la estructura de los productos de cada industria no están tomados en cuenta, aunque tales cambios -- tienen ciertos efectos en el consumo de energía.

Esta segunda evaluación se hace para los dos sectores más intensivos en el consumo de energía, o sea, el industrial y el de transportes.

1.- Sector Industrial.- Para el industrial se emplea la misma metodología, solo que más desagregada, llegando a obtener tasas medias de crecimiento para cada grupo de productos del sector (Productos Alimenticios, bebidas y tabaco, materiales para construcción, metálicas básicas, automotriz, química, papel y celulosa, textil y otras industrias). Posteriormente se estudian los cambios que pudiesen ocurrir en el consumo de

energía del sector, utilizando una desagregación entre las industrias intensivas y las no intensivas.

El método a seguir para las intensivas es:



De los datos históricos de consumo de las distintas industrias se obtiene sencillamente que las más intensivas son: Productos Alimenticios, Materiales para Construcción, Metálicas Básicas y Papel y Celulosa.

Se dice que para las ramas que tienen un pequeño número de procesos de producción, los cuales sean bien conocidos, el análisis se puede hacer por proceso y como ejemplo se hace para la industria siderúrgica. Los datos de los procesos y los costos se tomaron del Modelo ENERGETICOS, ya señalado en el capítulo II en la sección 2.2.3.

Se establecen las seis tecnologías ahí empleadas

Proceso 1 : Fierro esponja + acería eléctrica (HYLSA)

Proceso 2 : Horno de electroreducción + LD convertidor (CONOX).

Proceso 3 : Pelet (SLRN) + alto horno + LD convertidor.

Proceso 4 : Pelet + horno de electroreducción.

Proceso 5 : Alto horno + LD convertidor

Proceso 6 : Acerfa no integrada

En las Tablas 3.12 y 3.13 se dan las características económicas y técnicas de cada uno de los procesos y sus costos.

De estas se ve que el proceso 5 es el más rentable, seguido por los procesos 4 y 3.

La capacidad instalada existente en 1974 y prevista en 1978 en México es:

TABLA 3.14
C. I. EN LA INDUSTRIA SIDERURGICA MEXICANA
(Millones de Toneladas)

	1974	1978
Proceso 2	1.00 (19.1 %)	5.36 (54.4%)
Proceso 1	1.55 (29.6%)	2.06 (20.9 %)
Proceso 5	2.68 (51.3 %)	2.43 (24.7 %)
TOTAL	5.23	9.85

Fuente : Nacional Financiera. La Industria Siderúrgica integrada de México 1976.

A continuación se adopta la hipótesis de que con base en los proyectos de inversión de las empresas siderúrgicas y el aparato existente y las rentabilidades comparadas, la estructura del aparato productivo de esta rama industrial en 1985 es la siguiente:

Proceso 2 : 60 %

Proceso 1 : 10 %

Proceso 5 : 30 %

TABLA 3.12

DATOS TECNICOS Y ECONOMICOS SOBRE CADA UNO DE LOS SEIS PROCESOS.

	Proceso 1	Proceso 2	Proceso 3	Proceso 4	Proceso 5	Proceso 6
Razón: hierro primario /chatarra.	70/30	75/25	75/25	75/25	75/25	0/100
Requisito de combustibles (por tonelada: 10^6 BTU)	0	0	4.589	2.950	1.640	0
Requisito del Mineral. (Ton./ton.)	1.155	1.320	1.237	1.237	1.320	0
Requisito de chatarra. (Ton./ton.)	0.325	0.275	0.275	0.275	0.275	1.050
Requisito de coque. (Ton./ton.)	0	0.330	0.400	0	0.650	0.050
Requisito de gas seco. (bbl/ton.)	2.710	0	0	0	0	0
Requisito de electricidad. (10^3 kwh/ton.)	0.718	2.000	0.100	0.760	0.047	0.500
Costos de inversión (\$/ton. año.)	3,131	2,415	2,821	2,894	2,200	2,180
Costos Fijos Anuales (\$/ton. año.)	180	145	169	173	132	131
Costos de Explotación.	51	50	61	37	55	27
Precio de Electricidad		150 \$ / 10^3 kwh.				
Precio de los Combustibles		5 \$ / 10^6 BTU.				
Precio del Coque.		300 \$ / tonelada.				
Precio del Gas Seco.		24 \$ / bbl.				
Precio del Mineral.		80 \$ / ton.				
Precio de la Chatarra.		500 \$ / ton.				

TABLA 3.13

COSTOS CORRIENTES DE PRODUCCION DE CADA UNO DE LOS PROCESOS.
(PESOS POR TONELADA)

	Proceso 1	Proceso 2	Proceso 3	Proceso 4	Proceso 5	Proceso 6
Costo del Capital (13 % de la inversión)	407	314	367	376	286	284.5
Costos Fijos.	180	145	169	173	132	131
Costos de Explotación.	51	50	61	37	55	27
Costos del Mineral.	92.4	105.6	99..	99..	105.6	0.
Costo de la Chatarra.	162.5	137.5	137.5	137.5	137.5	525.
Costo del Coque.	0.	99.	120.	0.	195.	15.
Costo del Gas Seco.	65.	0	0	0	0	0
Costo de la Electricidad	107.0	300.	15.	114.	7.	75.
Costo de los Combustibles.	0	0	22.9	14.8	8.2	0
TOTAL	1065.6	1151.1	991.4	951.3	926.3	1057.5

Volviendo al sistema de los escenarios, se supone que la tasa de crecimiento de la industria siderúrgica es la misma que la del sector de los bienes de producción.

$$S_1 = + 8 \%$$

$$S_2 = + 10 \%$$

$$S_3 = + 6.3 \%$$

Por lo tanto para 1985 la capacidad instalada será

TABLA 3.15

C. I. INDUSTRIA SIDERURGICA (1985)

(10⁶ Toneladas)

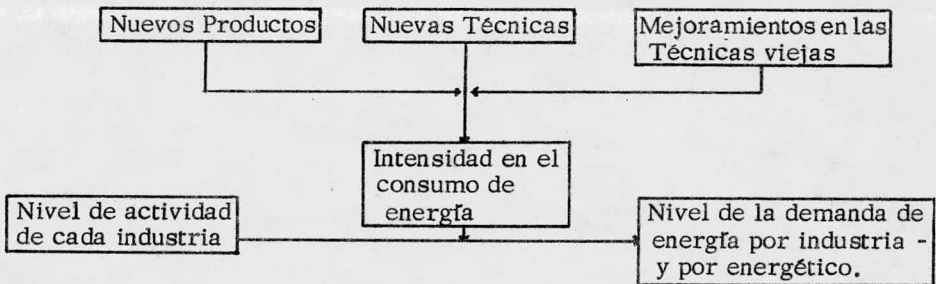
	S ₁	S ₂	S ₃
Proceso 2	7.31	8.95	6.15
Proceso 1	1.22	1.49	1.02
Proceso 5	3.66	4.48	3.07
TOTAL	12.19	14.92	10.24

Suponiendo que se trabaje a un 95% de la capacidad instalada y multiplicando los requisitos de cada producto energético por este nivel de actividad se obtiene la demanda de energía de la industria siderúrgica por -- tipo de energético (Tabla 3.12) se obtienen para cada escenario que:

TABLA 3.16
CONSUMO ENERGETICO DE LA SIDERURGIA (MILES DE MCPCE)
1985

	Electricidad	Coque	Gas seco	Combustible	Total
S ₁	1586	3761	515	178	6040
S ₂	1943	4613	612	218	7386
S ₃	1335	3166	418	150	5069

Ahora para las industrias menos intensivas, el método a seguir es diferente debido a que el número de procesos es demasiado grande. El método es similar al de la sección (3.2.3.) pero más desagregado:



Se consideran como industrias de baja intensidad relativa de energía para 1973: Bebidas y Tabacos, Automotriz, Química, Textil y otras.

Para cada rama, se consideran los volúmenes de bienes producidos por la economía mexicana y los posibles productos que pueden aparecer en la economía en el horizonte 1985, se toman en cuenta los requisitos de cada energético en cada uno de los principales procesos productivos utilizados.

2. - Sector Transportes.

Este se desagregó en tres subsectores

- a - Transporte de carga
- b - Transporte inter-ciudades de pasajeros
- c - Transporte urbano de pasajeros

Cada uno depende de características específicas, el de mercancías depende del nivel y de las características de la producción de bienes, de la disponibilidad y características de los diferentes medios de transporte, de la extensión y de la infraestructura nacional (red de caminos, de vías, etc.), de la política de inversiones públicas, del desarrollo regional.

Por lo que toca al transporte foráneo de pasajeros depende del ritmo de crecimiento de vehículos individuales, el cual a su vez es función del desarrollo de la actividad económica general; de la distribución del ingreso; de los precios relativos de los automóviles y de la gasolina; de las características técnicas de los automóviles; del estado de desarrollo de las carreteras, ferrocarriles, camiones y aviones.

El urbano depende de factores similares a los que determinan el foráneo, pero además de la tasa de urbanización, el crecimiento de la población, consideraciones ambientales, etc.

El consumo de energía de cada uno se mide por el número de vehículos de cada tipo de transporte, por su grado de utilización y por su consumo promedio de tipo de energético (gasolina, diesel, gas, carbón, electricidad).

La evolución del consumo de energía para cada subsector se estu-

dia ligada al nivel de actividad de cada uno.

2a). - Transporte de Mercancías.

El indicador del nivel de actividad es la cantidad de toneladas-kilómetros producida o entregada. Dicha cantidad puede ligarse al nivel de producción de los bienes industriales y agrícolas; tal unión depende de la importancia relativa de los diferentes sectores productivos de la economía (una economía requiere de más tons.-km. Si está basada en la industria pesada: producción de bienes de capital, de acero, de cemento) y de la ubicación de las actividades de producción.

Es decir el nivel de actividad está conectado con la "producción" - por tres factores: 1) volumen de la producción; 2) tipo de producción y - - 3) ubicación de los nodos de producción y de consumo.

El primero se mide a través del PIB, el segundo depende del peso relativo de un sector en el total de la economía; y el tercero de la política de desarrollo regional escogida por el país y de la integración técnica y física de las distintas empresas y plantas.

En la Figura 3.1 se esquematiza los pasos seguidos en la previsión de la demanda del subsector de transporte de carga.

En la Tabla 3.17 se tiene la serie histórica para relacionar la producción de bienes y el producto ton-km para el sector transportes.

Después de hacer varias comparaciones entre el transporte por ferrocarril y por camiones, sobre la distribución de la producción del transporte de carga en (tons.-km), de las inversiones y de sus eficiencias en -- (ton.-km/lt.) y (lt./ton.), se llega a la conclusión de que en el futuro la -

FIGURA 3.1

PROCEDIMIENTO PARA LA ESTIMACION DE LA DEMANDA DE ENERGIA DE LOS TRANSPORTES DE CARGA.

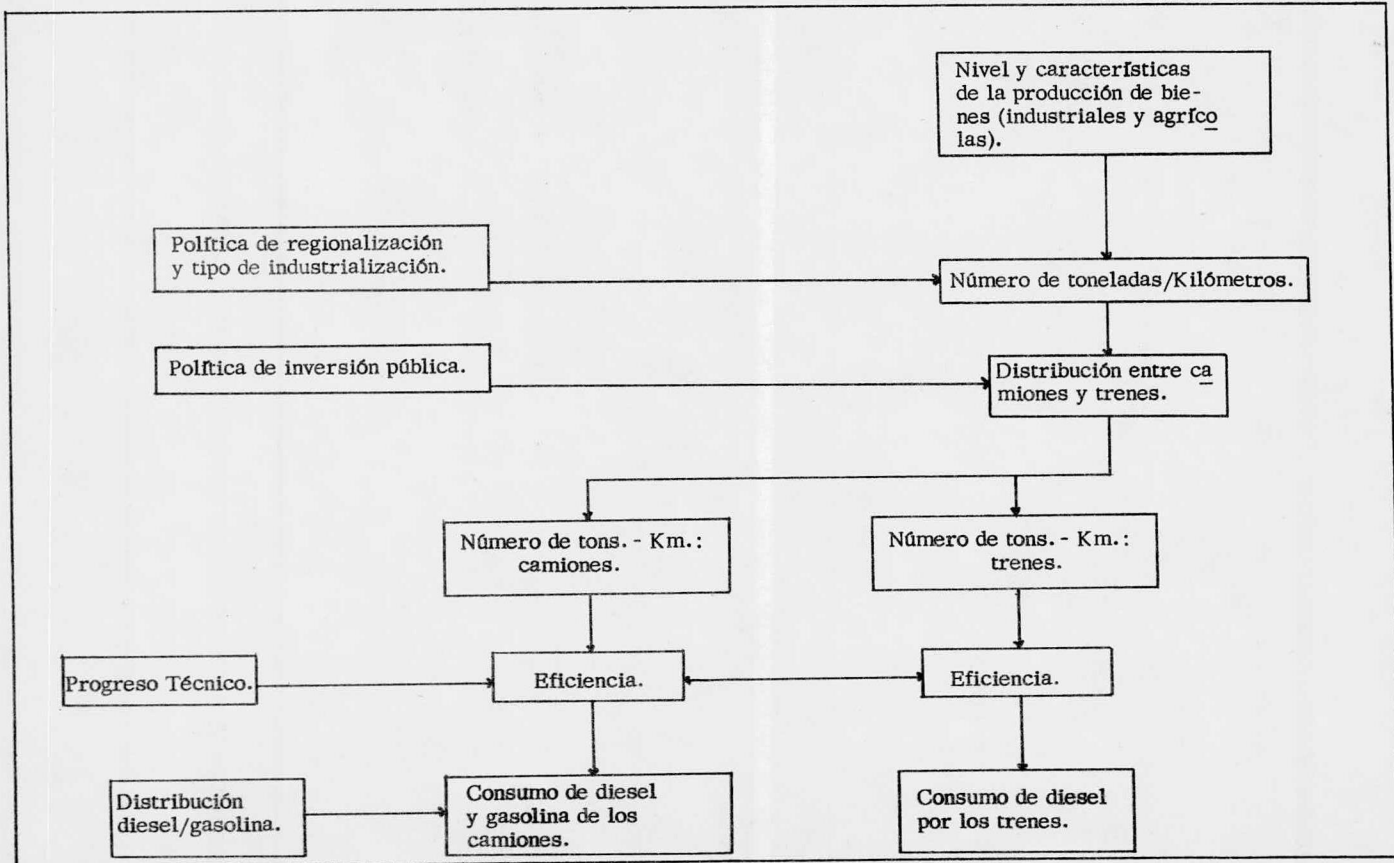


TABLA 3.17
PRODUCCION DE BIENES Y ACTIVIDAD DE TRANSPORTE.

	V. A. A. I (10 ⁹ \$)	VA Transportes (10 ⁹ \$)	Núm. de tons. km. (10 ⁹)	VAT/VAAI %	tons.-km./VAAI
1960	61.8	4.22	n.d.	6.8	-
1962	67.6	4.51	n.d.	6.7	-
1964	82.0	5.25	n.d.	6.4	-
1966	93.9	5.73	n.d.	6.1	-
1968	107.8	6.64	40.0	6.2	0.371
1969	114.3	7.08	42.7	6.2	0.374
1970	123.1	7.57	45.8	6.1	0.372
1971	126.7	8.00	49.0	6.3	0.387
1972	134.4	8.61	52.5	6.4	0.391
1973	143.3	9.51	56.3	6.6	0.393

FUENTE: S.C.T. Insumos del Transporte Terrestre, (Junio, 1975. p.8)

V. A. I.: Valor agregado de la agricultura y de la industria.

mayoría de los bienes que son transportados por tren (minerales, productos agrícolas y petroleros), seguirán siendo así transportados, de aquí -- que el problema se plantea sobre los productos industriales, que se transportan ahora por camiones. (Ver Tablas 3.18 y 3.19).

Una política posible puede ser la de dejar la evolución presente, -- lo que conduciría a que en el futuro se alcanzara una mejor eficiencia de -- los camiones.

De acuerdo a este planteamiento, las hipótesis de los escenarios = serían los siguientes:

F1 : La distribución camiones /trenes evolucionará como en el pasado.

F2 : Debido a una economía de combustibles petroleros y de mayor consumo nacional de los productos de la siderurgia (rieles, -- vagones y locomotoras), los ferrocarriles se desarrollarán más rápidamente que en el pasado.

F3 : El desarrollo del transporte por camiones es más rápido que -- en el pasado.

La siguiente etapa consiste en conocer y prever la situación de las técnicas y la eficiencia del consumo de energía por ton. -km. para cada -- medio de transporte. De acuerdo a la distribución histórica de tons. - km -- entre ferrocarriles y camiones se suponen distintas distribuciones.

TABLA 3.20
DISTRIBUCION DE LAS TONS. - KM (%)

	1973	1975	1985
S ₁	47	45	35
	53	55	65
S ₂	47	45	52
	53	55	48
S ₃	47	45	32
	53	55	68

TABLA 3.18
DISTRIBUCION DEL TRANSPORTE DE CARGA.
(10⁹ tons. -km)

	Ferrocarriles	Camiones	Total
1968	20.7 (51.8%)	19.3 (48.2%)	40.0
1969	21.7 (50.8 %)	21.0 (49.2 %)	42.7
1970	22.8 (49.8 %)	23.0 (50.2 %)	45.8
1971	24.0 (49.0 %)	25.0 (51.0 %)	49.0
1972	25.2 (48.0 %)	27.3 (52.0 %)	52.5
1973	26.5 (47.0 %)	29.8 (53.0 %)	56.3

TABLA 3.19
EFICIENCIAS ENTRE CAMIONES Y FERROCARRILES.
(1973)

	Ferrocarriles	Camiones
Producto ton. -km (10 ⁹)	26.5	29.5
Distancia promedio (Km)	49.6	25.6
Volúmen (tons.) (10 ⁶)	53.4	116.4
M ³ de combustible (10 ⁶)	0.404	5.58
Eficiencia:		
Indicador 1	65.6 ton-km/lt	5.4 ton-km./lt.
Indicador 2	7.6 lt/ton.	47.9 lt./ton.

Fuente: S. C. T. (Junio 1975).

TABLA 3.21
EFICIENCIA DE LOS FFCC

	(10 ⁹) tons. -km.	(10 ⁶) M ³ de diesel	Tons. -Km./lt.
1965	18.3	0.317	57.7
1970	23.0	0.361	64.5
1973	26.4	0.404	65.6

Fuente: S.C.T. (Junio 1975).

De esto se hacen hipótesis relativas a la eficiencia futura (1985) de los ferrocarriles.

E1 : Evolución de la eficiencia como en el pasado : (+ 0.57% / año)

E2 ; Evolución de la eficiencia hacia la prevaleciente en países más desarrollados o sea, 77 ton. -km./lt. en 1985. Esta cifra es arbitraria.

E3 : La misma evolución que en el escenario S1.

TABLA 3.22
EFICIENCIA EN 1975 y 1985. (TONS. -KM./LT.)

	1973	1975	1985
S ₁	65.6	66.3	70.2
S ₂	65.6	66.3	77.0
S ₃	65.6	66.3	70.2

Por lo que se refiere a los camiones surge el problema de que pueden usar distintos combustibles.

TABLA 3.23
CONSUMO DE DIESEL Y GASOLINA DE LOS CAMIONES
(10⁶ de MCPCE)

	1960	1973
Diesel	1.00 (32 %)	3.60 (57 %)
Gasolina	2.08 (68 %)	2.70 (43 %)

FUENTE: IMP (1974)

y se hacen las siguientes hipótesis para determinar la evolución para el año de 1985:

D₁ : La misma evolución observada : 1985 diesel 82 %

gasolina 18 %

D₂ : Incremento más rápido del consumo del diesel en comparación con el consumo de gasolina : 1985 diesel : 90 %

gasolina : 10 %

D₃ : Una evolución más rápida de consumo de gasolina . 1985

Diesel : 76 %

Gasolina : 24 %

Por último se establecen las hipótesis de la evolución de la eficiencia de los camiones.

C1 : La misma evolución observada o sea en 1985: 7 tons.km./lt.

C2 : Un crecimiento importante en la eficiencia: 8 tons.km./lt.

C3 : Evolución lenta : 6.5 ton.km./lt.

De todas estas suposiciones, se llegan a tener las tablas 3.24, -

3.25 y 3.26 del subsector transportes de carga para 1985.

El método consiste en obtener las tons-Km. para ese año y para cada escenario de acuerdo a una tasa anual, después desagregarlo de acuerdo a una distribución que se hizo de ferrocarriles /camiones y por última cada valor obtenido se divide por la eficiencia ton. -km/lt. para llegar al consumo en (lt). para camiones y trenes.

2b). - Transportes inter-ciudades de pasajeros.

El número de viajes de pasajeros entre ciudades para ir al trabajo o durante vacaciones, está ligado al ingreso, el cual determina el tipo de transporte usado.

TABLA 3.24

CONSUMO DEL SUBSECTOR TRANSPORTES DE CARGA EN 1985.

	S ₁	S ₂	S ₃
VAAI (10 ⁹ pesos 1960)	324.3	342.9	309.7
No. de ton. -km (10 ⁹)	139.7	147.4	133.2
Camiones (10 ⁹ tons. -km)	90.8	70.8	90.6
Trenes (10 ⁹ tpms'- km)	48.9	76.4	42.6
Consumo			
Camiones (10 ⁹ lt)	12.971	8.850	14.535
Trenes (10 ⁹ lt)	0.697	0.992	0.607

Utilizando ton. - Km / VAAI = 1.16% / año.

TABLA 3.25

CONSUMO DIESEL Y GASOLINA PARA TRANSPORTES DE CARGA EN
1985. (10^9 lt).

	S_1	S_2	S_3	$1m^3$ diesel = 1.1460 MCPCE
Consumo diesel				$1m^3$ gasolina = 1.0104 MCPCE
trenes	0.697	0.992	0.607	
camiones	10.636	7.695	10.593	
	11.333	8.957	11.200	
Consumo gasolina				
trenes	0.000	0.000	0.000	
camiones	2.335	0.885	3.345	
	2.335	0.885	3.345	

TABLA 3.26

DEMANDA DE ENERGIA (10^6 MCPCE)

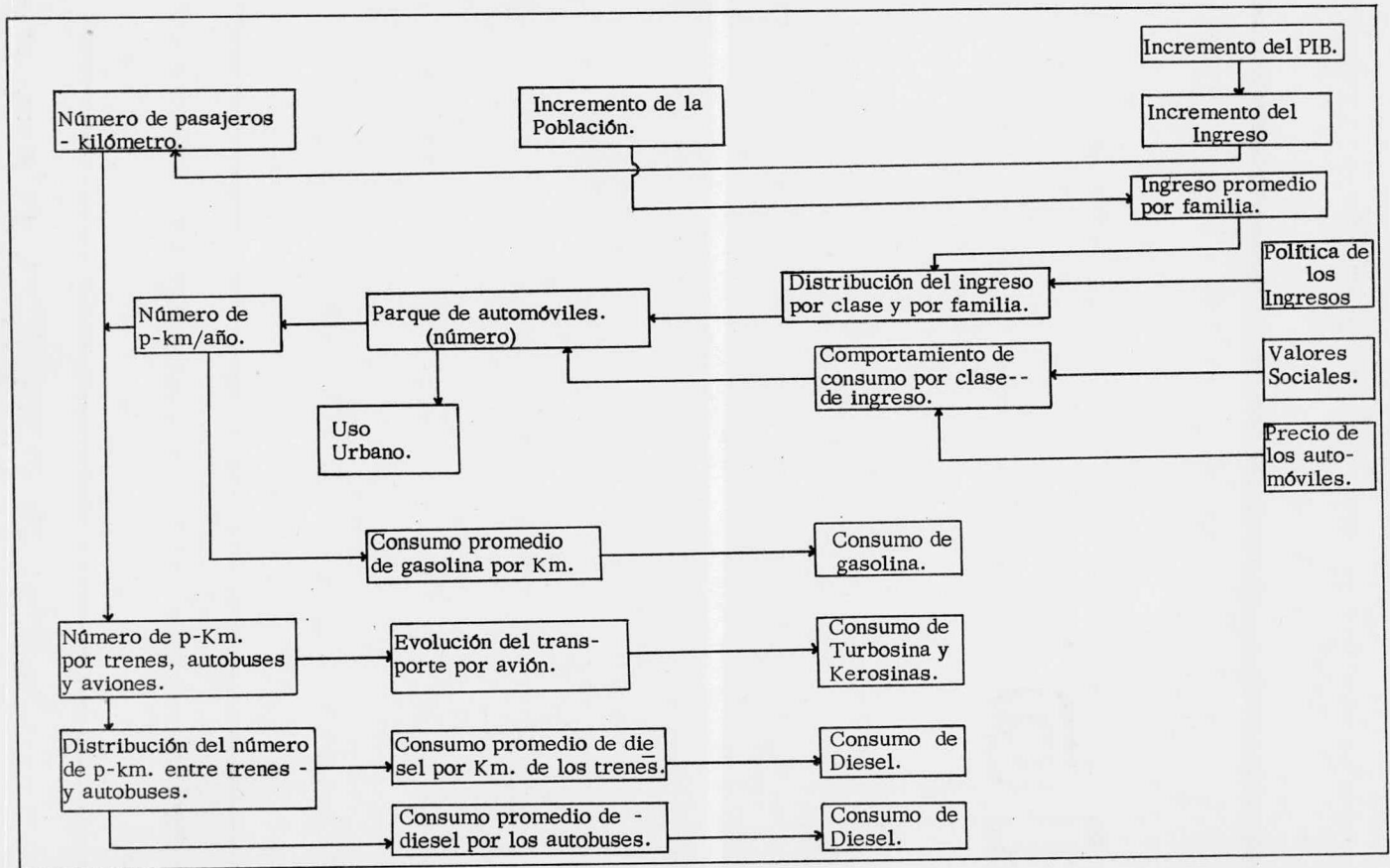
	S_1	S_2	S_3
Diesel	12.988	10.265	12.835
Gasolina	2.359	0.894	3.380
TOTAL	15.347	11.159	16.215

Otro factor es la diferencia entre los hábitos de consumo en los hogares urbanos y los rurales.

La Figura 3.2 señala el procedimiento para realizar el pronóstico de la demanda de energía para el subsector de transporte entre ciudades-de pasajeros.

FIGURA 3.2

PROCEDIMIENTO PARA LA ESTIMACION DE LA DEMANDA DE ENERGIA DE LOS TRANSPORTES FORANEOS DE PERSONAS.



El desarrollo se hace por medio de cuatro etapas, en la primera se trata de determinar el número de pasajeros-km., para lo cual se pueden tomar varios factores como el ingreso per cápita, número anual de viajes por motivo de trabajo y de vacaciones, el número de viajes por estrato de ingreso, la longitud promedio de los viajes y algunos mas.

El trabajo solo tomó un lazo de unión simple y general: la relación entre el número de pasajeros-kilómetros y el nivel de ingreso.

En una segunda etapa se puede analizar la evolución del parque automóvil a través del ingreso por familia, la política de redistribución del ingreso, las actitudes sociales (contaminación del automóvil), los impuestos al automóvil, etc. En el estudio solo se consideró el ingreso familiar y la política de redistribución.

La tercera trata de evaluar el consumo de gasolina de los autos a través del número promedio de pasajeros por automóvil, la distancia promedio anual recorrida por los coches entre las ciudades y el consumo promedio por kilómetro.

Por último se toman los demás medios de transporte, ya que al saber los pasajeros en automóvil, se deducen los demás (aviones, trenes y autobuses).

- Para la primera etapa se puede hacer por dos métodos, el primero supone que la actividad del subsector aumenta con la misma tasa que la del sector transportes: TC de PIB + 0.005. Esto conduce a:

$$TR1 : TC = 7.7 \% \text{ (Tabla 3.7) No. Pasajeros - km. 1985} = 220.51 (10^9)$$

$$TR2 : TC = 8.1 \% \text{ No. Pasajeros - Km 1985} = 230.54 (10^9)$$

$$TR3 : TC = 7.4 \% \text{ No. Pasajeros-km } 1985 = 213.25 (10^9)$$

El segundo método supone que la razón entre ingreso y pasajeros-km., es constante. Este da el siguiente resultado en 1973:

$$\frac{\text{Ingreso } 1973}{\text{Pasajeros-km.}} = \frac{205.358 (10^9)}{90.540 (10^9)} = 2.268$$

$$T1 : \text{Ingreso } 85 = \text{Ingreso } 73 (1 + 0.077)^{12} = \$ 500.150 (10^9)$$

$$\text{Pasajeros - km} = \frac{500.150}{2.268} = 220.51 (10^9)$$

$$T2 : \text{Pasajeros - km} = 218.07 (10^9) \quad I 85 = I 73 (1 + 0.076)^{12} = \$ 494.605 (10^9)$$

$$T3 : \text{Pasajeros - km.} = 225.47 (10^9) \quad I 85 = I 73 (1 + 0.079)^{12} = \$ 511.410 (10^9)$$

- La segunda etapa se hace en base al ingreso familiar promedio, en la redistribución del ingreso y en el comportamiento de consumo de las familias en cuanto a los viajes interciudades.

Para el ingreso familiar promedio se determina por la evolución del ingreso, por lo que se toman los resultados anteriores.

El crecimiento de la población es igual al histórico e igual para los tres escenarios. Se da el número de familias para 1973 (9 millones) y el promedio de individuos por familia (5.8), de donde se calculan las familias en 1985.

$$9360 (10^3) (1 + 0.035)^{12} = 14144 (10^3) \text{ familias.}$$

y el ingreso familiar promedio

$$Y F 1 = \$ 35361$$

$$Y F 2 = \$ 34969$$

$$Y F 3 = \$ 36157$$

Este ingreso se desagrega por estrato de ingreso para los tres -- escenarios en porcentaje de familias de acuerdo a su ingreso. Conocido el número de familias que pertenecen a cada clase de ingreso se "deducen" los automóviles en circulación en 1985. Posteriormente se desagrega en autos populares y compactos y estándar y lujo, para luego distinguir entre uso entre ciudades y uso urbano, todo ello haciendo hipótesis del porcentaje de distribución para los distintos escenarios.

Por último se supone que un auto entre ciudades recorre 11 000 km al año y con un promedio de 3 personas, se llegan a valores de pasajeros-km. para cada escenario en 1985. (Tabla 3.30).

- Para la tercera etapa se supone que en 1985 los autos tipo "popular" y "compacto" consumen 10 lt por cada 100 km. (0.1 lt/km) en carretera y los de tipo "estándar y de "lujo" (0.2 lt/km) y suponiendo porcentajes de distribución de los autos bajo estas clasificaciones para los tres escenarios, y multiplicando por el consumo promedio de cada tipo de automóvil se obtiene la demanda de gasolinas para los viajes entre ciudades - en 1985.

- En la cuarta etapa el número de pasajeros-kilómetros para los demás medios de transporte (autobuses, tren, avión), se obtienen por diferencia de los resultados de las dos anteriores etapas.

$$S_1 : 220.51 (10^9) - 93.19(10^9) = 127.31 (10^9) \text{ pas. -km.}$$

$$S_2 : 218.07 (10^9) - 54.38(10^9) = 163.69 (10^9) \text{ pas. -km.}$$

$$S_3 : 225.47 (10^9) - 70.65 (10^9) = 154.82 (10^9) \text{ pas. -km.}$$

Para 1973 se tiene la siguiente distribución

	(10 ⁹ pas.km.)	%	%	%
Automóviles	43.2	(47.7)		
Autobuses	40.6	(44.8)	(85.7)	(90.8)
Aviones	2.7	(3.0)	(5.7)	
Trenes	4.1	(4.5)	(8.6)	(9.2)
Total	<u>90.6</u>			

Se adopta la hipótesis de que la relación de porcentajes del uso del avión como transporte (5.7%) entre las familias con ingresos mayores de \$ 6000 (1960) (5.4%) se mantiene constante. Al multiplicar este valor por los por cientos de cada escenario para familias de ingresos arriba de - - \$ 6000. se obtienen los porcentajes de uso del avión, con los cuales resulta la cantidad de pasajeros-kilómetro por avión para 1985.

Suponiendo un consumo de 400 Kcal/pas.-km. dan las Kcal para -- los tres escenarios. Por diferencia de los autos y aviones se llega en este punto a que el resto se distribuye entre ferrocarriles y autobuses.

$$S_1 = 112.55 (10^9 \text{ pas. -km}).$$

$$S_2 = 157.63 \quad "$$

$$S_3 = 141.81 \quad "$$

De acuerdo a los por cientos distribuidos entre autobuses y trenes para 1973, se suponen distribuciones para 1985 y los tres escenarios y -- con ello resulta el número de pas.-km. para estos medios de transporte.

De datos proporcionados por la SCT para 1972 se suponen para los escenarios los consumos de diesel para autobuses y trenes.

Consumo de Energía (Kcal/pas. -km)

	1972	S ₁	S ₂	S ₃
Autobuses	178.4	150	150	150
Trenes	404.8	400	380	408

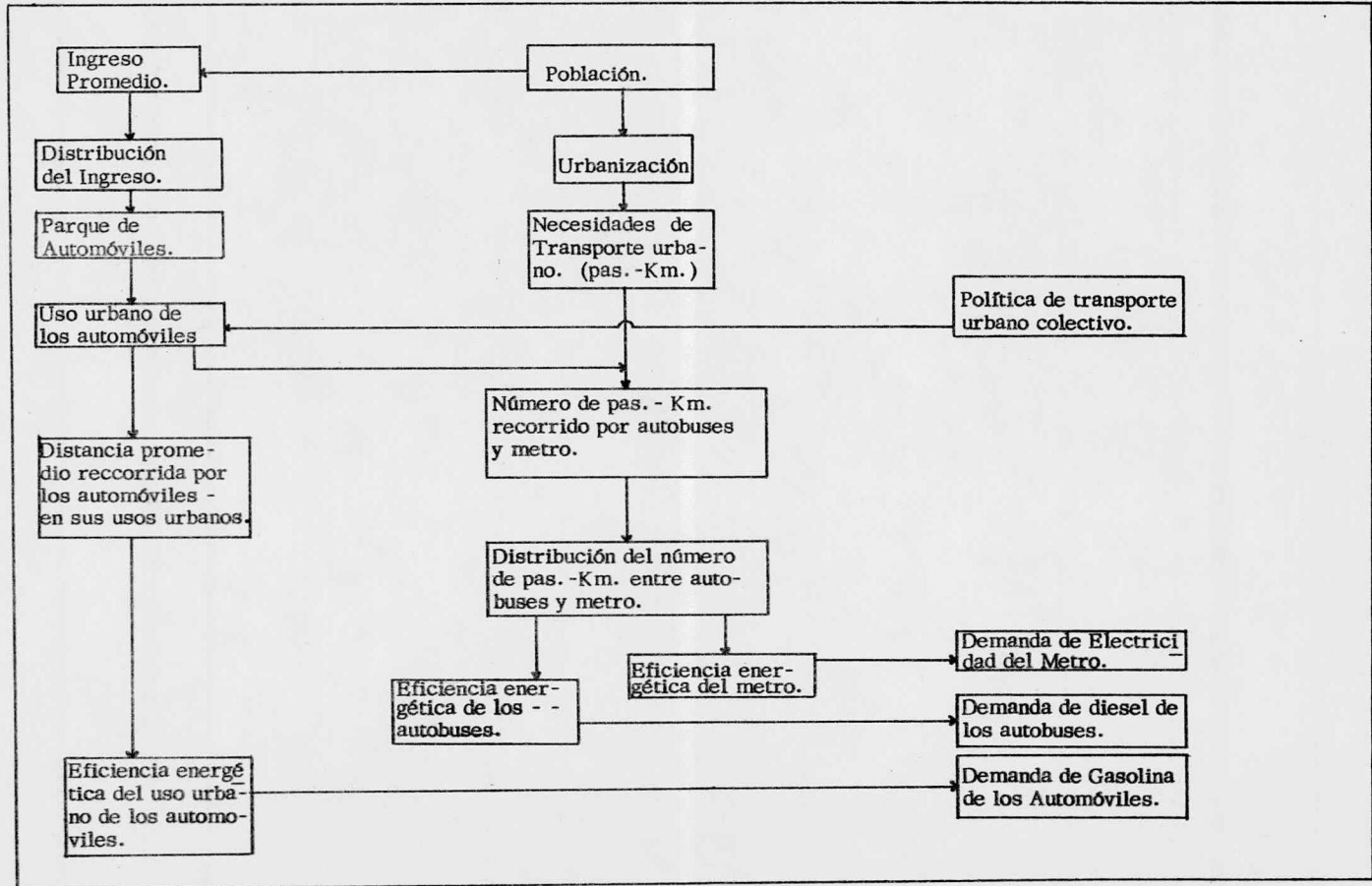
De aquí se calculan las kilocalorías de combustible y se transforman a MCPCE.

Al suponer que los automóviles consumen gasolinas, los aviones -- turbosinas y kerosinas y los autobuses y trenes usan el diesel, se llega a obtener la demanda de combustibles para 1985 para el subsector de transporte entre ciudades de pasajeros.

Para el subsector de transporte urbano no se hizo la estimación por carencia de datos, pero la metodología es similar que la del anterior subsector (Fig. 3.3)

FIGURA 3.3

PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA ESTIMACION DE LA DEMANDA DE ENERGIA DE LOS TRANSPORTES URBANOS.



SEGUNDA ETAPA

TABLA 3.27

		menor de 300	300-600	600-1000	1000-3000	3000-6000	6000-10000	mas de 10 ⁴
Ingreso Promedio (pesos 1960)		230	445	840	1790	4230	8270	18200
Dato 1968 % de las familias		5.4 %	15.4 %	20 %	40.8 %	13 %	3.4 %	2.0 %
Hipótesis 1985	S ₁	1.5 %	7.0 %	9.5 %	45 %	26 %	7.5 %	3.5 %
	S ₂	1.5 %	5.5 %	13.5 %	49 %	27 %	2.5 %	1.0 %
	S ₃	3.5 %	8.5 %	21.0 %	44 %	15 %	5.0 %	3.0 %
Porcentaje de familias que tienen un automóvil por ingreso y por escenario								
1968		0.0 %	0.0 %	0.5 %	9 %	36 %	84 %	149 %
S ₁		0.0 %	0.0 %	2.0 %	13 %	45 %	96 %	165 %
S ₂		0.0 %	0.0 %	1.0 %	10 %	39 %	91 %	158 %
S ₃		0.0 %	0.0 %	0.7 %	11 %	47 %	102 %	171 %

Automóviles y Familias por Ingreso y por escenarios (miles).

		menos de 600	600-1000	1000-3000	3000-6000	6000-10000	mas de 10 ⁴	TOTAL
S ₁	Familias	1202	1344	6365	3677	1061	495	14144
	Coches	0	26.9	827.5	1654.7	1018.6	816.8	4344.5
S ₂	Familias	990	1909	6931	3819	354	141	14144
	coches	0	19.1	693.1	1489.4	322.1	222.8	2746.5
S ₃	Familias	1697	2970	6223	2121	707	424	14144
	Coches	0	20.8	684.5	996.9	721.1	725.0	3148.3

TABLA 3.28
 CARACTERISTICAS DE LOS AUTOMOVILES (MILES)

	1970	1973	1975
Populares y compactos	96.3 (72.5 %)	144.8 (81.3 %)	199.7 (86.5 %)
Estándar y de lujo	36.5 (27.5 %)	33.2 (18.7 %)	31.2 (13.5 %)
TOTAL	132.8	178.0	230.9

TABLA 3.29

Características de automóviles (Miles)	S ₁	S ₂	S ₃	
Populares y Compactos	3953.5 (91%)	2664.1 (97%)	2770.5 (88%)	
Estándar y de lujo	391 (9 %)	82.4 (3 %)	377.8 (12 %)	
TOTAL	4344.5	2746.5	3148.3	
Hipótesis uso urbano e inter-ciudades				1972 (dato)
Uso urbano	35 %	40 %	32 %	37 %
Uso inter-ciudades	65 %	60 %	68 %	63 %

TABLA 3.30
NUMERO DE PASAJEROS - KM.

S_1	$43\ 44.5 (10^3) \times (0.65) \times 11000 \times 3 = 93.190 (10^9)$
S_2	$27\ 46.5 (10^3) \times (0.60) \times 11000 \times 3 = 54.381 (10^9)$
S_3	$31\ 48.3 (10^3) \times (0.68) \times 11000 \times 3 = 70.648 (10^9)$

TERCERA ETAPA

TABLA 3.31

	S_1	S_2	S_3
Distribución de pasajeros-Km (10^9 pas.-Km)			
Populares y compactos	84.803 (91%)	52.750 (97%)	62.170 (88 %)
Estándar y de lujo	8.387 (9 %)	1.631 (3 %)	8.478 (12 %)
TOTAL	93.190	54.381	70.648
Demanda de gasolina 1985 (10^6 de lt.)			
Populares y compactos	8480.30	5275.00	6217.00
Estándar y de lujo	167.74	32.62	169.56
TOTAL	8648.04	5307.62	6386.56
$1m^3 = 1.014$ MCPCE; (10^3 MCPCE)	8738.0	5362.8	6453.0

TABLA 3.32

	S ₁	S ₂	S ₃
Pasajeros-Km por avión (1985)			
Familias arriba de \$ 6000.	11 %	3.5 %	8 %
Aviones en transporte. colectivo	11.6 %	3.7 %	8.4 %
Pas. -Km. (10 ⁹ pas-Km)	14.769	6.057	13.005
Demanda de turbinas y kerosinas (10 ⁹ kilocalorías)			
	5907.6	2422.8	5202.0
10 ⁶ kcal = 0.12398 MCPCE (miles)			
	732.4	300.4	644.9
Autobuses	94 %	84 %	98 %
Porcentaje de Pas. -km			
Trenes	6 %	16 %	2 %
Autobuses	105.797	132.409	138.974
Distribución (1985) (10 ⁹ Pas. -Km)			
Trenes	6.753	25.221	2.836
Autobuses	150	150	150
Consumo de Energía (Kcal/pas-km)			
Trenes	400	380	408
Autobuses	15.870	19.861	20.846
Trenes	2.701	9.584	1.157
10 ⁶ kcal = 0.12398 MCPCE (miles de MCPCE)			
Autobuses	1967.6	2462.4	2584.5
trenes	334.9	1188.2	143.4
Total	2302.5	3650.6	2724.9
Gasolinas	8738.0	5362.8	6453.0
Turbinas y kerosinas	732.4	300.4	644.9
Diesel	2302.5	3650.6	2724.9
Gran total	11772.9	9313.8	9822.8

3.4 MODELO DE SIMULACION.

El sistema energético forma parte de un complejo sistema socioeconómico que es difícil de simular en el largo plazo. La demanda de energía sectorial está relacionada con el producto de los sectores del sistema energético al sistema económico de manera complicada. Para simular en el largo plazo el comportamiento de los avances económicos sectoriales, es necesario contar con una teoría acerca de los conceptos y de las leyes que rigen dicho comportamiento con el fin de que se confronten con la experiencia y se prueben las hipótesis que condujeron a ella.

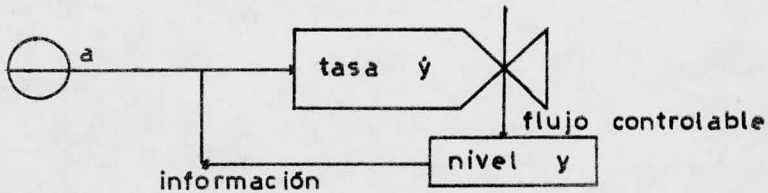
3.4.1. METODOLOGIA DEL MODELO.

Un modelo de simulación es una descripción numérica del estado del sistema a través del tiempo. Comúnmente, estos modelos se clasifican en dos grandes grupos: los de tipo discreto, en los que se considera que los cambios en el estado del sistema ocurren sin continuidad y por lo tanto pueden ser representados por una sucesión de acontecimientos instantáneos; y los modelos de tipo continuo, en los que el sistema que se simula es considerado como una serie de flujos continuos de material o de información y los estados del sistema están representados por la acumulación de dichos flujos.

Para la representación del comportamiento a largo plazo del sistema energético es más apropiado el segundo tipo de modelo, ya que no interesan en este caso acontecimientos como la construcción de plantas generadoras de energía de características dadas, sino más bien la acumula-

ción de los efectos de ese tipo de acontecimientos.

Un lenguaje de programación especialmente orientado a la simulación de sistemas de tipo continuo es el DYNAMO, que tiene como conceptos básicos: la tasa y el nivel (una tasa representa un flujo de material o de información y un nivel la acumulación de alguno o algunos de estos flujos a través del tiempo). Utilizando estos dos elementos, se puede formar un ciclo muy sencillo:



Analíticamente, esto significa que el cambio en el tiempo de "y" es proporcional al nivel "y" y a un parámetro "a", de tal forma que:

$$\dot{y}(t) = ay(t) \quad \text{at}$$

La solución de esta ecuación es:

$$y(t) = y_0 \text{ EXP. } (\int at dt); \quad y_0 = y \text{ cuando } t = 0$$

Se puede obtener una función continua en el tiempo si se escogen -- los valores adecuados de "y₀" y "at".

Un ciclo como este se define como generador de series de tiempo, ya que permite formar dichas series de tiempo de los parámetros del modelo a través de sus tasas de crecimiento, las cuales se pueden obtener a partir de información histórica o determinarla por la interconexión de los elementos del sistema. Al utilizar éste método se pueden resolver proble

mas de relaciones no-lineales.

Un ejemplo de un ciclo, en lenguaje DYNAMO, podria estar dado - por las siguientes ecuaciones:

$$\text{CONSENERG.K} = \text{CONSENERG.J} + (\text{DT}) (\text{TASA.JK})$$

$$\text{CONSENERG} = \text{Valor inicial}$$

$$\text{TASA.KL} = (\text{CONSTANT}) (\text{CONSENERG.K})$$

$$\text{CONSTANT} = \text{Constante.}$$

El modelo está elaborado con base en una serie de ecuaciones diferenciales del tipo.

$$\text{NIVEL.K} = \text{NIVEL.J} + (\text{DT}) (\text{TASA.JK} - \text{TASA 2.JK})$$

en donde DT es un intervalo de tiempo constante.

Si se definen las ecuaciones y los ciclos de manera adecuada y les damos valores iniciales, es posible que se calcule de manera sucesiva los valores de éstos al final de la corrida, en tablas y/o gráficas de los valores sucesivos de los parámetros de interés.

Para realizar reproducciones de series de tiempo históricas, se utilizaron tasas de crecimiento constante (ya que se ha visto que, por ejemplo, el consumo es aproximadamente una función exponencial), es decir -- "at" se substituye por el valor promedio de "a" en el intervalo de tiempo-DT o por varias "a" en diferentes intervalos de tiempo. Analíticamente, - esto es

$$a \approx \frac{1}{\Delta t} \ln (y_1/y_2)$$

donde y1, y2 son los valores de los niveles en los tiempos t1 y t2, "a" es la tasa de crecimiento promedio en el intervalo de tiempo Δt.

3.4.2. ESTRUCTURA DEL MODELO

La Figura 3.4 muestra la estructura básica del modelo con tres subsistemas, los insumos y productos relacionados y las variables que relacionan a los subsistemas entre sí.

Este subsistema se desarrolló con dos variables: población y producto interno bruto desagregado sectorialmente.

Se supone que la demanda sectorial está ligada al subsistema económico a través de las tasas de crecimiento del PIB sectorial con precios fijos (1960) y de las del PIB per cápita.

El subsistema de demanda tiene 5 sectores: Agricultura, Comercio, Doméstico, Industria y Transporte; además incluye el consumo de energía del Sector Energético.

Para cada uno de estos sectores, la demanda total se divide en combustibles fósiles y electricidad.

El subsistema de Conversión considera de acuerdo con datos históricos y con planes de desarrollo, la demanda de energéticos para la generación de electricidad, y ésta, a su vez aunada a la demanda sectorial, permite estimar la demanda de energía primaria. (No se considera pérdidas).

3.4.3. DINAMICA DEL SISTEMA

En la Fig. 3.5 se explican las interrelaciones de las variables principales que determinan el comportamiento dinámico del sistema.

El PIB está afectado positivamente por su tasa de crecimiento; es-

ESTRUCTURA DEL SISTEMA

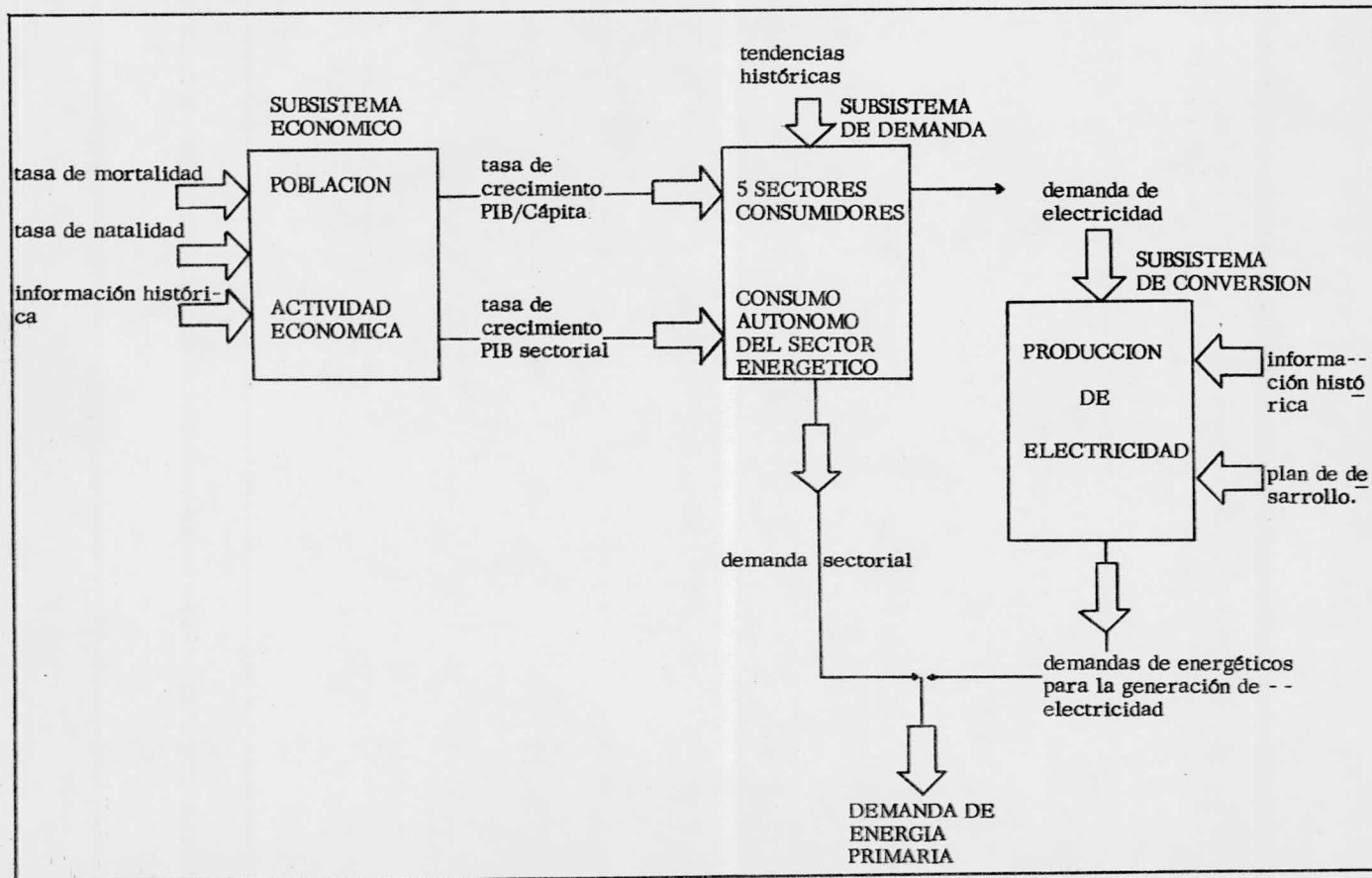
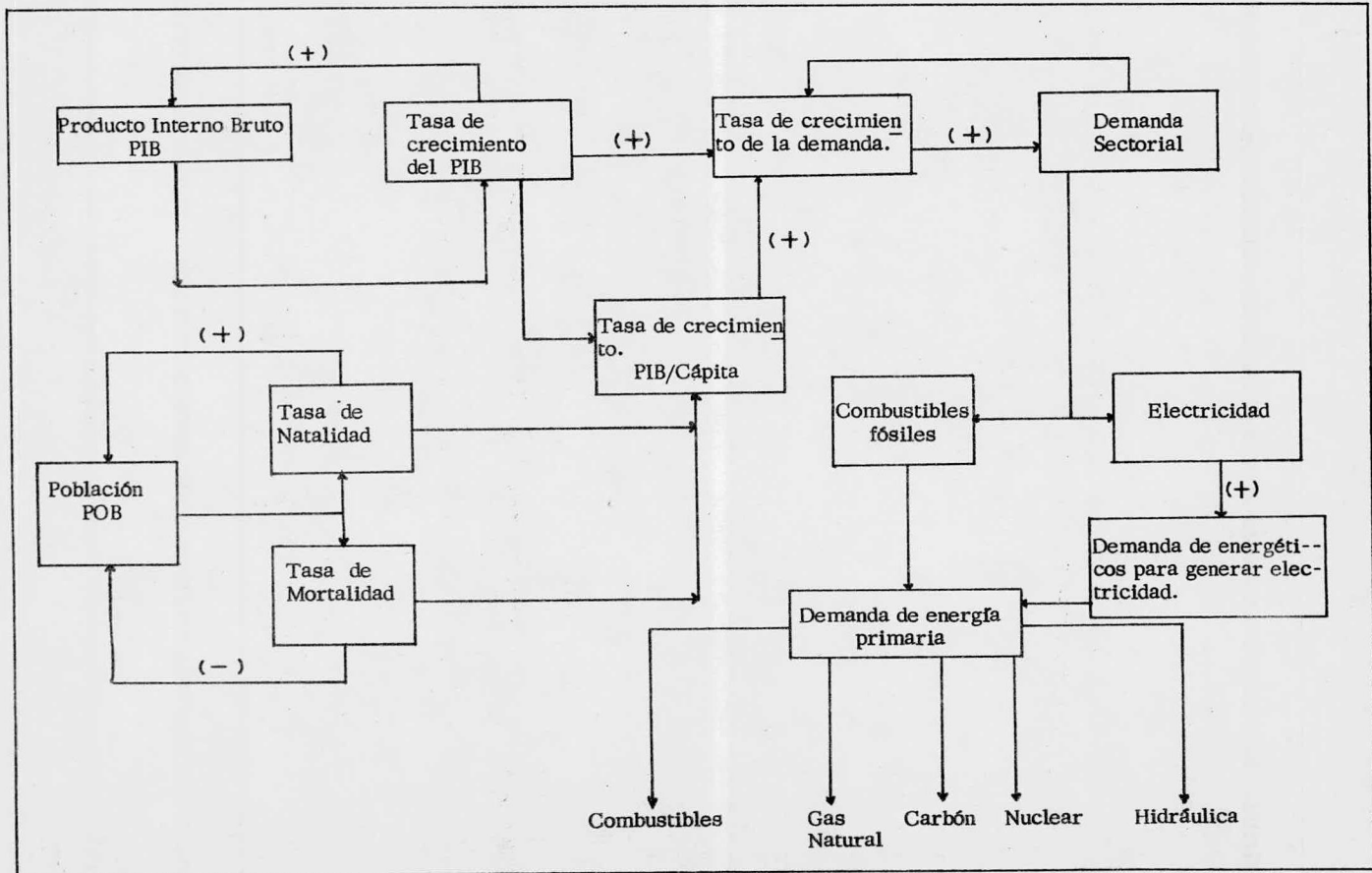


FIGURA 3.5
DINAMICA DEL SISTEMA



ta tasa crece de acuerdo con los valores que es posible que tome en los diferentes períodos. También la población POB está afectada positiva y negativamente por sus tasas de natalidad y de mortalidad. Las tasas de crecimiento del PIB y de una relación entre el PIB y la POB (PIB per cápita), afectan positivamente a la tasa de crecimiento de la demanda sectorial, la cual a su vez también afecta al nivel de la Demanda de Energía Sectorial.

La demanda sectorial se divide en demanda de energía eléctrica y demanda de combustibles fósiles.

La demanda de electricidad afecta positivamente a la demanda de energéticos para la generación de electricidad y ésta sumada a la demanda sectorial de combustibles fósiles nos proporciona la demanda de Energía Primaria (desagregada en carbón mineral, gas natural, combustibles, hidroelectricidad y energía nuclear).

Las preguntas que resuelve el modelo son:

a). Bajo diferentes condiciones internas y externas, ¿Que posibles alternativas serán descritas por el comportamiento futuro del sistema?

b). Dadas ciertas tasas de crecimiento del PIB y del POB, una propuesta de desarrollo en el largo plazo de los sistemas eléctricos, con base en el desarrollo de programas nucleares e hidroeléctricos, ¿Cuál será el comportamiento futuro del sistema bajo éstas condiciones económicas?.

3.4.4. CARACTERISTICAS DEL MODELO

El modelo presentado es un modelo de demanda de Energía llamado

"Modelo Mexicano de Simulación de la Demanda Futura de Energía".

Sus características principales son:

- Es un modelo dinámico continuo, en el sentido de que las variaciones de los principales parámetros son generados, a través - del tiempo por la estructura misma del modelo.
- Cubre el período 1960-2000 y describe cuantitativamente los --- cambios de los parámetros del sistema.
- Está formado por tres subsistemas: económico, demanda y conversión, algunos de los cuales están interconectados entre sí.

CAPITULO IV

MODELOS DEL SISTEMA ENERGETICO

- 4.1. Introducción
- 4.2. Modelo de Optimización del Sistema Energético de Brookhaven.
 - 4.2.1. Descripción del Modelo.
 - 4.2.2. Sistema Energético de Referencia de México 1970.
 - 4.2.3. Sistemas Energéticos de Referencia. 1980 y 1985
 - 4.2.4. Aplicación del Modelo para la Planeación Energética.

4.1. INTRODUCCION.

El análisis y el modelaje del sistema energético total, incluyendo los sectores de oferta y demanda, así como todos los combustibles y las formas de energía, se ven estimulados por la necesidad de desarrollar -- pronósticos de la demanda de energía total. Este análisis se ve reforzado por los pronósticos para combustibles individuales, los cuales pueden ser ensamblados para formar un balance de energía total.

De los primeros intentos, hechos en otros países, para tomar en cuenta todos los flujos de energía de una manera consistente, involucra -- ban la obtención de un balance energético nacional de las ofertas y demandas de energía por clase.

Se hacía un especial énfasis sobre los flujos cuantitativos expresados en unidades físicas y comunes (BTUs). Desde el punto de vista contable, el sistema del balance energético se enfocaba sobre la contabilidad completa de los flujos energéticos de las fuentes de oferta originales a -- través de los procesos de conversión hacia las demandas de uso final. -- En el cálculo se tomaban en cuenta los consumos intermedios durante los procesos de conversión, así como las eficiencias a diferentes puntos del sistema de oferta de energía.

La metodología del balance de energía hace estimaciones independientes de la demanda para cada uno de los sectores mas grandes de uso final y para cada uno de los tipos de energía detallados, relacionando la -- demanda con la actividad económica agregada y con las tendencias en el -- consumo de energía. Las estimaciones independientes de oferta de todas --

las formas de energía se desarrollan y se comparan con las de demanda.

De lo anterior se puede desprender que el modelo del sistema de energía engloba todos los combustibles alternativos y fuentes de energía y frecuentemente emplea el análisis reticular para representar el detalle técnico y comparar las posibilidades de sustitución entre combustibles. La red es usada para representar los flujos interregionales o espaciales de energía, así como los procesos alternativos y combustibles que pueden ser usados en sectores de demanda específicos. Esta representación del sistema de energía puede ser aumentada con técnicas de optimización o simulación o simplemente para exhibir información y alternativas.

Un número de modelos de programación lineal (LP) que son similares a aquellos empleados para optimización de la mezcla generadora en el sector eléctrico (Capítulo II), fueron desarrollados (en E. U. A.), para el análisis del sistema energético completo, incluyendo ambos sectores eléctricos y no-eléctrico. El Brookhaven Energy System Optimization Model (BESOM) desarrollado por Hoffman & Cherniavsky fue diseñado para determinar la colocación óptima de recursos y tecnologías de conversión hacia los usos finales en el formato del sistema energético de referencia.

4.2 MODELO DE OPTIMIZACION DEL SISTEMA ENERGETICO DE BROOKHAVEN *

El modelo BESOM fué desarrollado por Hoffman & Cherniavsky** para la evaluación de políticas energéticas, así como de nuevas tecnologías para la producción o transformación de energéticos. Modelos analíticos de éste tipo son útiles para tal evaluación, cuando los resultados están integrados a un método racional que incorpora factores que son difíciles o casi imposibles de cuantificar.

El modelo fué diseñado para que incorporara internamente aquellas características del sistema energético que pueden ser cuantificadas: eficiencias técnicas, emisiones, costos y estructura de la carga eléctrica. Otros parámetros que están relacionados a políticas específicas o que no son fácilmente estimables por procedimientos analíticos tales como demandas futuras de energéticos y recursos disponibles, son considerados como factores exógenos que deben ser especificados antes de llevar a cabo el análisis.

Posibles aplicaciones del modelo son:

1. Evaluación tecnológica.
2. Análisis de estrategias de sustitución que se requieran evaluar para atacar la escasez de combustibles específicos.
3. Análisis del efecto de cambios, en el costo y disponibilidad de

* Trabajo realizado en México por José Luis Andreu para la Comisión Nacional de Energéticos, SEPAFIN. 1975. "Estudio de Planeación Energética en México utilizando el Modelo BESOM".

** Hoffman, K.C. 1974. "A unified framework for energy system planning." Cherniavsky, E.A. 1974. "Brookhaven Energy System Optimization Model". Brookhaven Nat. Lab. Topical Rep. No. BNL 19579. Associated Universities Inc. Upton, N. Y.

combustibles y sistemas de conversión, en la configuración --
óptima del sistema energético.

4. Análisis de políticas para crear impuestos o subsidiar la producción de energéticos o el consumo de determinados combustibles.
5. Evaluación de las consecuencias económicas, sobre el medio ambiente o sobre los recursos disponibles considerando diferentes escenarios.

El modelo emplea técnicas de programación lineal. Los objetivos y restricciones que existen en el mundo real pueden ser incorporados en el procedimiento de optimización. Los resultados del modelo indican los costos o beneficios que se producirían al implementar una nueva política o desarrollar una nueva tecnología. En el resultado también se analiza la -- alternativa de tecnologías, indicando el costo al cual, por ejemplo, un dispositivo de almacenamiento de energía se vuelve atractivo o la electricidad producida con energía solar resulta beneficioso económicamente.

El modelo permite la evaluación de diversas opciones en el contexto de un sistema integral de energéticos. Existe numerosas interrelaciones entre los diferentes sectores del sistema energético que no son capturados en estudios de sectores aislados. Cambios tecnológicos, cambios de políticas de precio en el sector eléctrico podrán por ejemplo, afectar el consumo del petróleo y gas para usos industriales, o por ejemplo, el efecto de incrementar la disponibilidad de gas natural puede ser analizada en términos de la mezcla de combustibles resultante en el sistema, -

los costos y las emisiones al medio ambiente; por lo tanto, proporciona una base cuantitativa para relacionar opciones ligadas al escenario que se está estudiando. El modelo además es suficientemente flexible para acomodar necesidades de estudios especiales. Si una representación más detallada de la demanda eléctrica de pico se necesita, o si se requieren representaciones de nuevas tecnologías, éstas se pueden incluir. Además, representaciones de elasticidades de oferta y demanda son uso opcional del modelo.

Incorporando la gama completa de sustituibilidad entre combustibles, incluyendo substituciones entre formas energéticas eléctricas y no eléctricas, el modelo de programación lineal contempla el sistema energético total incluyendo todos los sectores de oferta y de demanda. Puesto que el rango de sustituibilidad, que es factible dependa de los abastecimientos y las tecnologías de utilización de energéticos que existen disponibles, el modelo es construido basado en éstas tecnologías. Los parámetros tecnológicos que aparecen explícitamente en el modelo son eficiencias de conversión y de utilización, las emisiones o efectos ambientales producidos y el costo. El resultado del modelo incluye el análisis de coeficientes como eficiencias y costos.

4.2.1. DESCRIPCION DEL MODELO.

El sistema energético puede ser representado como una red, como se muestra en la Figura 4.1. Cada rama en la red representa una mezcla de procesos usados en una actividad dada, tal como lo es la refinación del petróleo crudo. Observando los sectores de demanda en el lado derecho del diagrama, se ve el grado de desagregación que se requiere en los sectores

SISTEMA ENERGETICO DE REFERENCIA

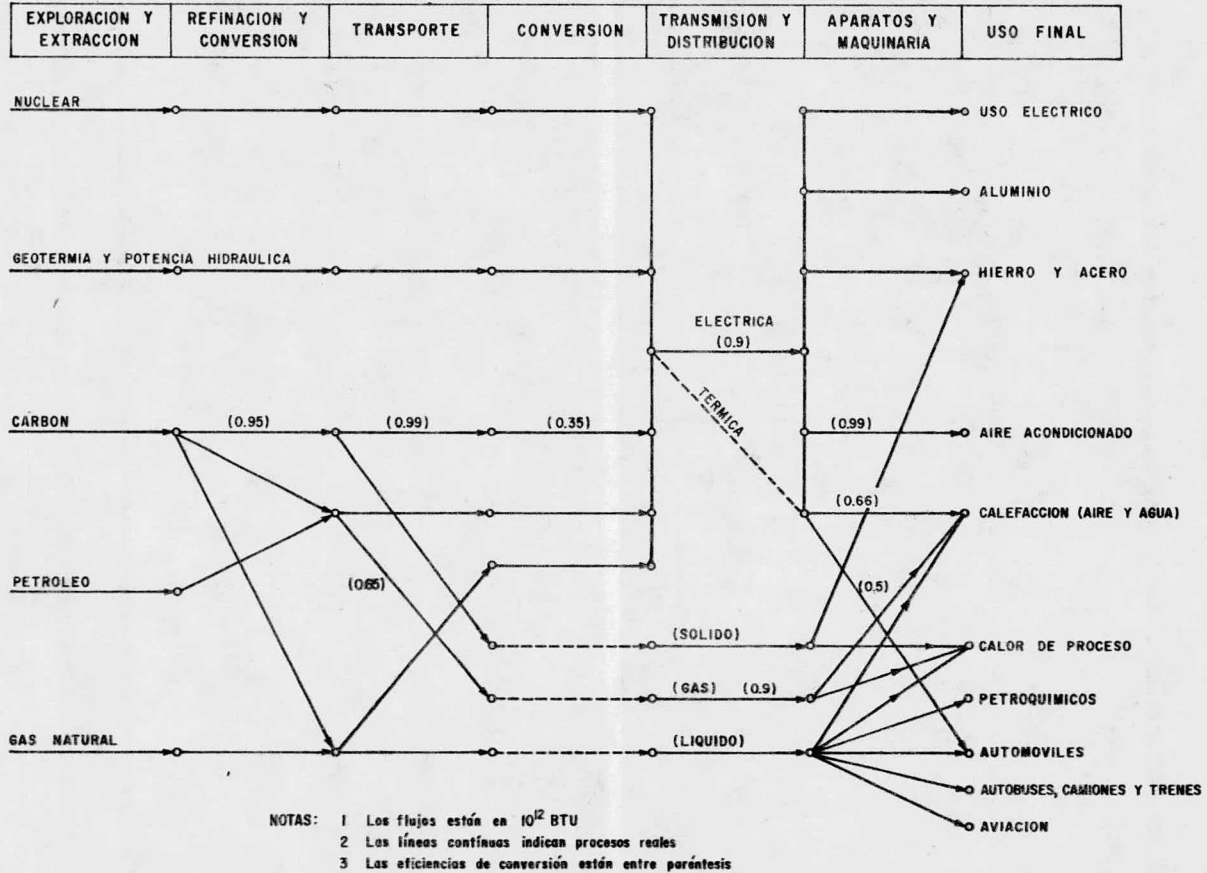


Figura 4.1

de demanda.

Es posible desarrollar diagramas de sistemas energéticos especificando la combinación de combustibles y la combinación de tecnologías -- para cualquier período en el futuro, basándose en pronósticos y análisis de tendencias. En vista de los cambios de precios, niveles de demanda y disponibilidad de combustibles, se aconseja tener un modelo analítico que indique la óptima configuración de mezcla de combustibles sujeto a restricciones de recursos y de demanda que operan en el sistema energético. El modelo de programación lineal proporciona ésta función. En vez de utilizar un algoritmo de redes, para el análisis y optimización continua, el diagrama del sistema energético puede ser transformado en una estructura mas simple. La Figura 4.1 indica que un recurso dado puede ser transformado a electricidad y a algún, o en algunos casos, combustible de múltiples -- usos . En vez de reflejar éstos en una estructura de red, es conveniente -- considerarlos en la programación lineal como categorías de ofertas alternas, sujetas, cuando sea apropiado, a la restricción de un sólo recurso.

Las características mas importantes del modelo pueden resumirse como sigue:

1. - El modelo contempla el sistema energético total, incluyendo -- todos los recursos alternos disponibles y las demandas eléctricas y no eléctricas.
2. - Se consideran las características técnicas, económicas y ambientales de los equipos de transformación de energéticos.
3. - Se incluyen las características de duración de carga de las de-

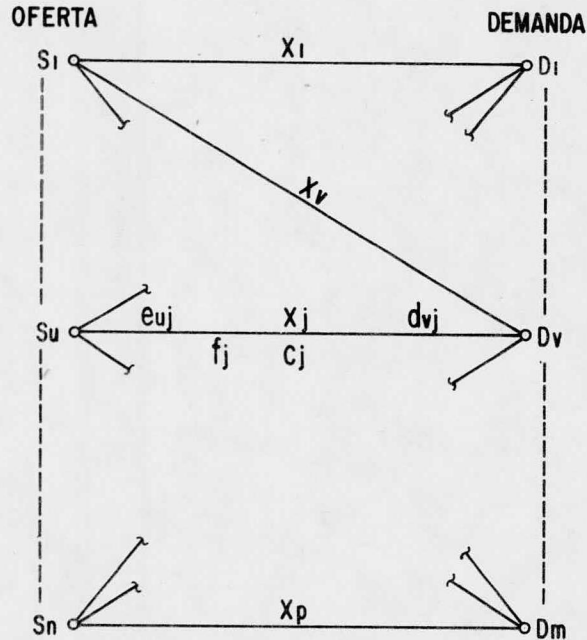
mandas eléctricas.

4. - Las restricciones en la oferta y la demanda, así como restricciones ambientales son especificadas exógenamente.
5. - Óptimas configuraciones oferta-demanda son indicadas por el modelo. La optimización puede ser efectuada con respecto al costo, uso de recursos o efectos ambientales en el año para el que se esté planeando, o con respecto a alguna combinación arbitraria de estos factores.
6. - El modelo se puede aplicar para planeación nacional o regional.
7. - Se pueden analizar horizontes de planeación a corto y largo plazos.

El modelo se formula como un problema clásico de transporte, determinando la venta óptima de un producto, en éste caso una forma intermedia de energía, desde un conjunto de "n" nudos de abastecimiento hacia "m" nudos de demanda. El costo, la eficiencia en el proceso y el conjunto de impactos ambientales son identificados para cada unidad de energía que pasa sobre cada una de las "n" x "m" posibles trayectorias. La representación típica de programación lineal del problema de transporte, es modificada por la inclusión de coeficientes de eficiencia en las ecuaciones restrictivas adicionales que reflejan factores ambientales, así como ciertas características técnicas del sistema energético. Una representación gráfica del modelo básico y definición de términos se muestra en la Figura 4.2

Los "n" nudos de oferta y los "m" nudos de demanda pueden incluir todas las categorías de oferta y de demanda. Para proporcionar una ruta -

MODELO DE PROGRAMACION LINEAL



S_u : RESTRICCIONES DE OFERTA. ($u=1, \dots, n$)

D_v : RESTRICCIONES DE DEMANDA ($v=1, \dots, m$)

X_j : CANTIDAD DE FORMA ENERGETICA INTERMEDIA "J"
ENTREGADA DE " S_u " A " D_v " ($j=1, \dots, P$) $P=m \cdot n$

e_{uj} : EFICIENCIA DE REFINACION Y CONVERSION PARA EL
ENERGETICO " X_j "

d_{vj} : EFICIENCIA DE UTILIZACION PARA EL ENERGETICO " X_j "

f_j : OTROS COEFICIENTES O ECUACIONES RESTRICTIVAS
PARA LAS VARIABLES " X_j " RESTRINGIDAS POR "B"

C_j : COSTO UNITARIO DE ENERGETICO

Figura 4.2

factible entre una categoría de oferta y otra de demanda, se debe identificar la forma de la oferta y la tecnología que se utiliza. Para una trayectoria dada "j", un recurso S_u se convierte a una forma energética intermedia " X_j " con una eficiencia " e_{uj} ". A su vez, la forma energética intermedia es usada para satisfacer la demanda " D_v " con una eficiencia " d_{vj} ". El costo " C_{ij} " y el conjunto de efectos ambientales incluidos en " f_j ", son también definidos por unidad de forma energética intermedia.

La formulación matemática del modelo es la siguiente:

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^p C_j X_j \\ \text{Sujetos a } & \sum_{j=1}^m \frac{1}{e_{uj}} X_j \leq S_u \quad u = 1, \dots, n \\ & \sum_{j=1}^m d_{vj} X_j = D_v \quad v = 1, \dots, m \\ & \sum f_{wj} X_j \leq B_w \quad w = 1, \dots, l \\ & X_j \geq 0 \end{aligned}$$

La suma de cada ecuación restrictiva es únicamente sobre aquellos índices "j" que representan formas energéticas intermedias admisibles para las categorías de oferta, de demanda o de otras restricciones. El arreglo de programación lineal completo tiene entonces $K = n + m + l$ restricciones y éstas pueden ser representadas como sigue:

$$\sum_{j=1}^p a_{ij} X_j \leq b_i \quad i = 1, \dots, K$$

donde las a_{ij} incluyen e_{uj} , d_{vj} , y f_{wj} de la formulación previa y los b_i corresponden a S_u , D_v y B_w .

La Figura 4.3 muestra las categorías de oferta y de demanda definidas para el modelo completo.

MATRIZ ENERGETICA

CATEGORIAS DE OFERTA	CATEGORIAS DE DEMANDA	CARGA BASE ELECTRICA	CARGA INTERMEDIA ELECTRICA	CARGA PICO	ALMACENAMIENTO ELECTRNICO	CARGA PICO D2	CARGA PICO D1	RECURSOS CONVERTIDOS	USO TERMICO BAJA TEMP.	USO TERMICO TEMP. MEDIA	USO TERMICO ALTA TEMP.	HIERRO	PETROQUIMICOS	CALENTAMIENTO AIRE Y AGUA	AVIACION	AUTOBUSES Y CAMIONES	TRENES	AUTOMOVILES	FALTA DE OFERTA	RESTRICCIONES DE OFERTA	VALOR MARGINAL	
VALOR DEL CARBON PARA GEN. ELECTRICA																						
VAP. CARBON GEN. ELECTRICA CICLO COMBINADO																						
VAPOR CON ACEITE PARA GEN. ELEC.																						
VAP. ACEITE PARA GEN. ELECTRICA CICLO COMBINADO																						
TURBINA DE GAS A PARTIR DEL ACEITE																						
ENERGIA HIDROELECTRICA																						
GEOTERMICA																						
ELECTRICA SOLAR																						
ALMACENAMIENTO POR BOMBEO																						
CRUDO NACIONAL																						
CRUDO IMPORTADO																						
LUTITA BITUMINOSA																						
GAS NATURAL																						
RESTRICCIONES DE DEMANDA																						
VALOR MARGINAL																						

Figura 4.3

4.2.2. SISTEMA ENERGETICO DE REFERENCIA DE MEXICO 1970.

El sistema energético de México para el año de 1970 se muestra en la Figura 4.4. La Tabla 4.1 resume las demandas energéticas y las relaciones de mezclas de combustibles ilustradas en el Sistema Energético de Referencia.

Los valores del lado izquierdo localizados bajo el título de "Extracción", representan los recursos que son necesarios para satisfacer las demandas básicas de energéticos. Los valores del lado derecho bajo el título "Categoría de Demanda", representan demandas básicas de energéticos o energía neta requerida para producir un bien o servicio. Cuando más de una forma energética es utilizada para abastecer un proceso particular, entonces la demanda básica E se considera como:

$$E = \sum_i e_i D_i$$

donde

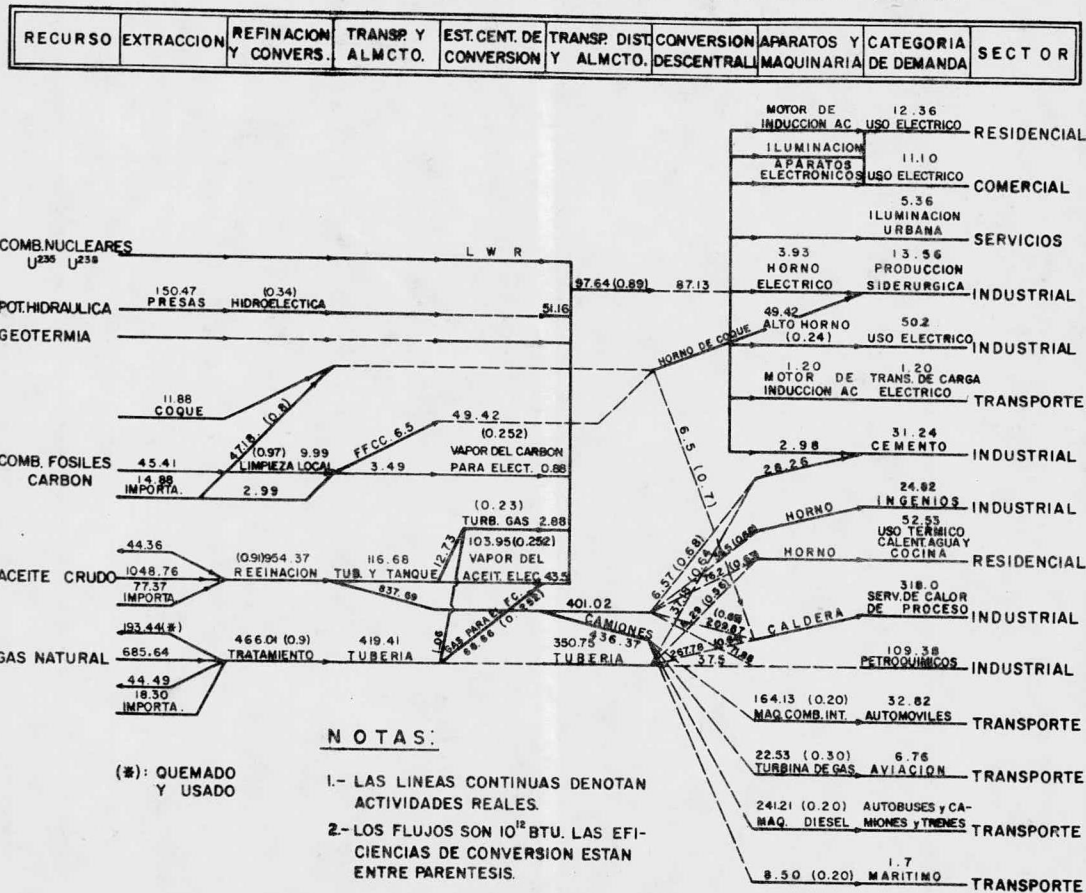
e_i : eficiencia en la conversión del combustible i a energía básica para la demanda particular

D_i : demanda de combustible i para la demanda particular.

En 1970, el total de recursos en energéticos necesarios ascendieron a 2335×10^{12} BTU. Si descontamos el gas natural no utilizado y exportaciones, el total de recursos se reduce a 2053×10^{12} BTU o el equivalente de 369 millones de barriles de petróleo. De este total, 55% era petróleo, 34% gas natural, 6% hidroelectricidad y 5% carbón.

Las pérdidas fueron calculadas en cada tramo donde las eficiencias están indicadas (por ejemplo, la eficiencia de conversión promedio

SISTEMA ENERGETICO DE REFERENCIA (1970)



NOTAS:

- 1.- LAS LINEAS CONTINUAS DENOTAN ACTIVIDADES REALES.
- 2.- LOS FLUJOS SON 10^{12} BTU. LAS EFICIENCIAS DE CONVERSION ESTAN ENTRE PARENTESIS.

Figura 4.4

TABLA 4.1
 CONSUMO DE ENERGIA. 1970. (10¹² BTU)

	Gas Natural	Aceite	Carbón	Electricidad	Otro	Total
<u>Residencial</u>						
Calentamiento agua y cocina	8.39	76.2				84.49
Uso eléctrico				12.36		12.36
<u>Comercial e Industrial.</u>						
Uso eléctrico (comercial).				11.10		11.10
Siderurgia	53.27	9.92	49.42	3.93		116.54
Ingenios		36.5				36.5
Servicios Eléctrico				5.36		5.36
Cemento	37.18	6.57		2.98		46.73
Uso eléctrico (Industrial)				50.2		50.2
Gen. de vapor para el proceso	214.5	199.95	6.5			420.95
Petroquímicos (Feeds tocks).	37.52	71.88				109.4
<u>Transporte</u>						
Automóvil		164.13				
Autobuses		42.45				
Camiones		180.33				
Aviación		22.53				
Marítimo		8.50				
Trenes y Metro		18.63				
Plantas eléctricas	69.72	116.68	3.49	- 87.13	150.47	253.23
Consumo Total.	420.48	954.27	59.41		150.47	1584.63

166

de las plantas eléctricas que utilizan gas como combustible durante el año de 1970 fué de 0.252, por lo tanto 68.66×10^{12} BTU de gas natural fueron utilizados para producir 17.3×10^{12} BTU de electricidad.) Una vez que se ha obtenido el sistema de referencia para un cierto año (1970), se procede a escenificar alternativas para el horizonte fijado a mediano y largo plazo.

4.2.3. SISTEMAS ENERGETICOS DE REFERENCIA. 1980 y 1985.

Para los pronósticos de la demanda de energéticos se asumió que no había grandes cambios de políticas energéticas durante el período considerado. Un ejemplo de como se llevaron a cabo estos pronósticos está indicado en la Tabla 4.2. Entre los factores mas importantes que se consideraron se puede mencionar: pronósticos de población, pronósticos de crecimiento habitacional, producción industrial, etc.

Los sistemas energéticos de referencia que se elaboraron para los años 1980 y 1985 están indicados en las Figuras 4.5 y 4.6. En las Tablas 4.3 y 4.4 están resumidas la demanda de energéticos que aparecen en las anteriores figuras.

Basados en los pronósticos elaborados, los requerimientos de energéticos tendrán una tasa anual de crecimiento promedio del 8% durante el período 1970-1985. El consumo de energéticos crecerá de 2053×10^{12} BTU en 1970 a 3922×10^{12} BTU y 5799×10^{12} BTU en 1980 y 1985 respectivamente.

Se supone que la composición del total de energéticos consumidos no variará considerablemente. Puesto que este trabajo se desarrolló en 1975 se supone de acuerdo a las tendencias históricas que la importancia-

TABLA 4.2
PROYECCIONES DE USO DE COMBUSTIBLES

Categoría: CEMENTO.

	1970			1980			1985		
	f_i	e_i	D_i	f_i	e_i	D_i	f_i	e_i	D_i
Uso directo de los combustibles									
Metano	0.76	0.64	37.18	0.76	0.64	85.78	0.76	0.64	130.79
Gasolina									
Turbosina									
Destilado									
Combustóleo	0.14	0.68	6.57	0.14	0.68	15.16	0.14	0.68	23.1
Carbón									
Otro									
Electricidad	0.10	1.0	2.98	0.10	1.0	6.88	0.10	1.0	10.49
Demanda Total, D. (10^{15} BTU).			46.73			107.92			164.38
Producción (10^3 ton.)			7180			16565			25255

SISTEMA ENERGETICO DE REFERENCIA (1980)

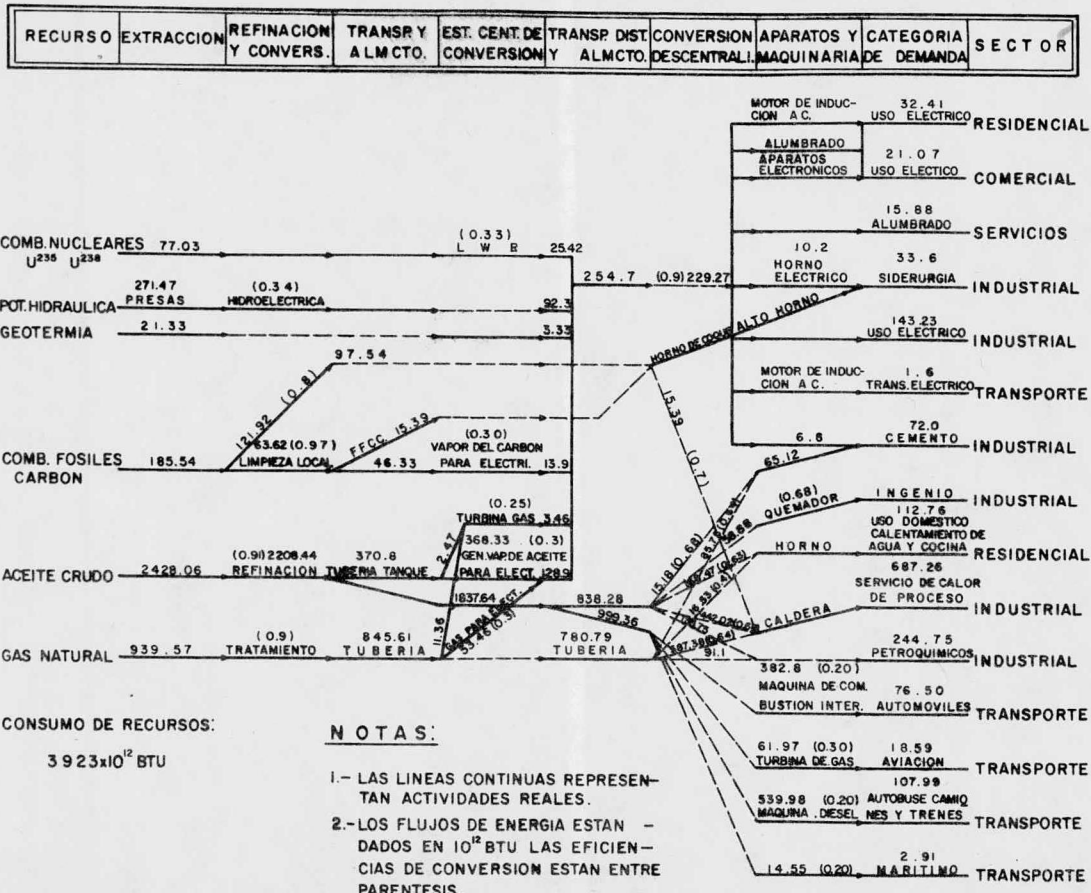


Figura 4.5

SISTEMA ENERGETICO DE REFERENCIA (1985)

RECURSO	EXTRACCION	REFINACION Y CONVERSION	TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO	ESTACION CENTRAL DE CONVERSION	TRANS. DISTRIBUCION Y ALMAC. DESCENTRALIZADA	CONVERSION	APARATOS Y MAQUINARIA	CATEGORIA DE DEMANDA	SECTOR
---------	------------	-------------------------	-----------------------------	--------------------------------	--	------------	-----------------------	----------------------	--------

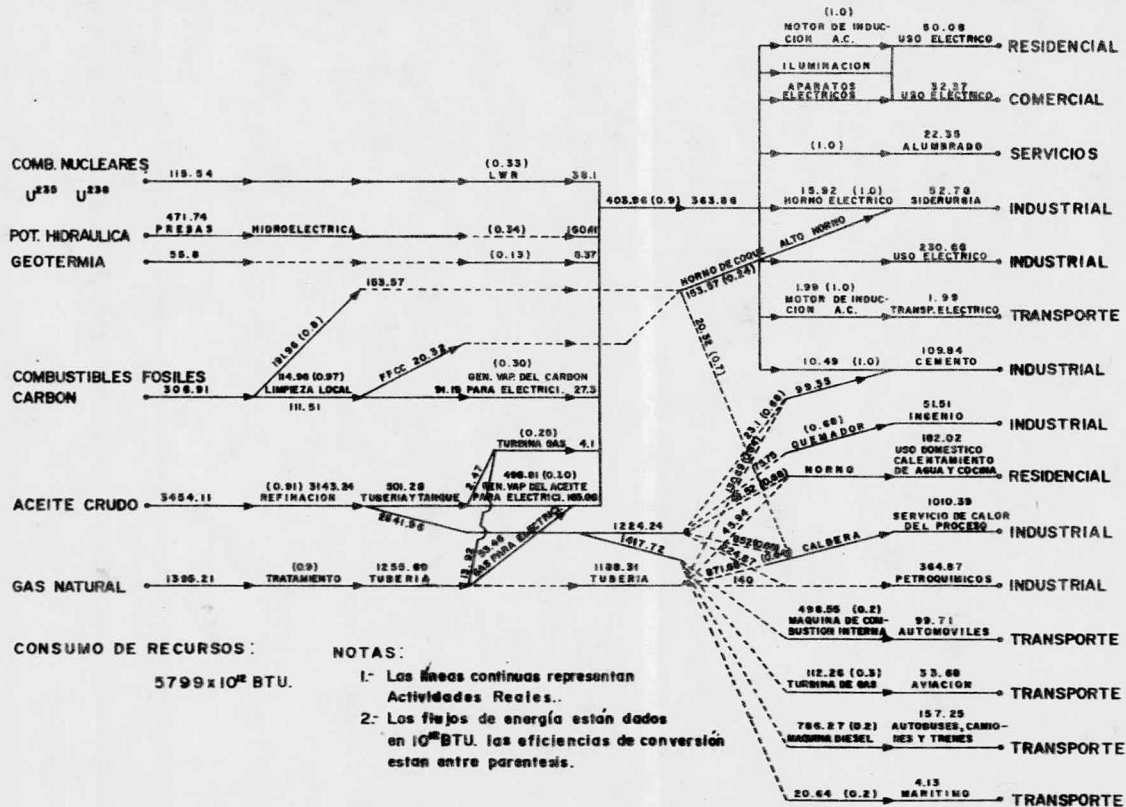


Figura 4.6

TABLA 4.3
CONSUMO DE ENERGIA 1980

	Gas Natural	Aceite	Carbón	Electricidad	Otro	Total
Residencial						
Calentamiento agua y cocina	16.63	168.47				185.1
Uso eléctrico				32.41		32.41
Comercial e Industrial						
Uso eléctrico (Comercial)				21.07		21.07
Servicios Eléctrico				13.88		13.88
Siderurgia	128.57	19.90	117.09	10.20		275.76
Cemento	85.78	15.16		6.88		107.82
Uso eléctrico (Industrial)				143.23		143.23
Gen. de vapor para el proceso	458.81	424.12	13.90			896.8
Petroquímicos (Feedstocks)	91.0	153.75				244.75
Ingenios		58.88		58.88		
Transporte						
Automóvil		382.88				382.88
Autobuses		83.03				83.03
Comiones		426.65				426.65
Aviación		61.97				61.97
Marítimo		14.55				14.55
Trenes y Metro		30.28		1.6		31.88
Plantas eléctricas	64.82	368.33	46.33		370.83	621.04
Consumo Total	845.61	2207.97	177.32	-229.27	370.83	3601.73

171

TABLA 4.4
CONSUMO DE ENERGIA 1985

	Gas Natural	Aceite	Carbón	Electricidad	Otros	Total
Residencial						
Calentamiento de agua y cocina	45.94	248.52				294.46
Uso eléctrico				50.08		50.08
Comercial e Industrial						
Uso Eléctrico (Comercial)				32.07		32.07
Servicios Eléctrico				22.35		22.35
Siderurgia	200.55	31.71	179.34	15.92		427.52
Ingenios		75.75				75.75
Cemento	130.79	23.1		10.49		164.38
Uso eléctrico (Industrial)				230.66		230.66
Gen. de vapor para el proceso	671.03	620.29	20.32			1311.64
Petroquímicos (Feedstocks)	140.0	224.87				364.87
Transporte						
Automóvil		498.55				498.55
Autobuses		130.53				130.53
Camiones		617.09				617.09
Aviación		112.26				112.26
Marítimo		20.64				20.64
Trenes y Metro		38.65		1.99		40.64
Plantas eléctricas	67.38	501.28	91.19		642.91	939.2
Consumo Total	1255.72	3143.24	190.85	-363.56	642.91	5332.72

relativa del gas natural decrecerá ligeramente ya que no habrá un crecimiento considerable previsto en la industria eléctrica, cosa que hoy sabemos es todo lo contrario. Se tiene que en 1970 la participación del gas natural fué del 25% del total de los energéticos consumidos, por lo que suponen se reduzca a un 21% para 1985. También en este escenario, la importancia del petróleo decrece de 62% a un 59.5% en 1985.

La participación del carbón será de 4% en 1970 a 5.3% en 1985, -- esto debido al mayor uso en la industria eléctrica. La tasa anual de crecimiento promedio del 10% del uso de energía hidroeléctrica, nuclear y geotérmica, incrementará la importancia relativa de estas de un 8% a un 11%.

4.2.4. APLICACION DEL MODELO PARA LA PLANEACION ENERGETICA.

Para el presente estudio se vieron tres casos, utilizando como escenario de referencia los pronósticos presentados anteriormente.

Los costos utilizados para la producción de electricidad estuvieron basados en información proporcionada por la Comisión Federal de Electricidad y en un costo de capital de un 15% anual. Después de haber aplicado la programación lineal para los tres casos, se llegó a resultados.

CASO 1 . Base. Escenario de Referencia.

CASO 2 . Mayor Electrificación.

CASO 3 . Incremento de la Capacidad Nuclear.

TABLA 4.5
RECURSOS CONSUMIDOS Y COSTO (1985)

	Caso 1	Caso 2	Caso 3.
Costo (\$10 ⁹)	145.61	142.60	140.92
Sector Eléctrico 10 ¹² BTU			
Carbón	91	228	82
Petróleo y Gas	608	608	408
LWR	116	150	300
Hidroelectricidad	470	500	470
Geotermia	56	56	56
Turbinas de Gas			
	1341	1542	1316
Sector no Eléctrico 10 ¹² BTU			
Petróleo y Gas	4171	4092	4225
Carbón	224	210	175
	4395	4302	4400
TOTAL	5736	5844	5716

CAPITULO V
MODELOS ENERGETICO/ECONOMICOS

- 5.1. Conceptos Generales
- 5.2. Modelo Energético/Económico para las Areas Urbanas
 - 5.2.1. Metodología General.
 - 5.2.2. Transporte
 - 5.2.3. Residencial
 - 5.2.4. Alimentación
 - 5.2.5. Servicios Públicos
 - 5.2.6. Habitación
 - 5.2.7. Proyección de Demanda de Energía para 1990
- 5.3. Modelo de Planeación Multinivel.

5.1. CONCEPTOS GENERALES.

Existe una gran actividad de investigación en el acoplamiento de los modelos del sistema energético con los modelos de la economía total, tales como los modelos macro económicos y de insumo-producto (I/O). Muchos de los modelos sectoriales y del sistema energético necesitan que las demandas de energía sean especificadas exógenamente como parámetros de entrada. Desde luego, que tales demandas deben ser asociadas con las tendencias de la sociedad (casas habitación, patrón del transporte, etc.) y la economía (población, Producto Interno Bruto, producción industrial, etc.) Esta necesidad ha conducido al uso extensivo del análisis de regresión y otras técnicas del modelaje macroeconómico, como ya se ha visto en el trabajo del CIDE, para generar los niveles de demanda y otros insumos a los modelos orientados hacia el proceso. Tal acoplamiento es relativamente directo, sin embargo existe la necesidad de una mejor investigación sobre los modelos combinados.

Puesto que aquí en México no se ha desarrollado ningún modelo energético/económico, consideramos pertinente hacer mención a los trabajos publicados en los E. U. A. , para que sirva de guía a aquellos modeladores interesados sobre el tema.

La mayoría de estos modelos son usados para el análisis del papel de la energía como una fuerza directriz y de restricción sobre el desarrollo económico. Ellos involucran una relación mas integral entre el sector energético y la economía. El reconocimiento de que el costo y la disponibilidad de los recursos naturales presentan implicaciones significativas -

a corto y largo plazos para la economía, ha estimulado la actividad de este tipo de modelado.

El modelado de la energía y la economía ha enfatizado el uso de técnicas de insumo-producto (I/O.) Herendeen^{1/} desarrolló los coeficientes de energía en unidades físicas para el carbón, aceite crudo y extracción de gas, aceite refinado, electricidad y ventas de gas en la matriz I/O de 367 sectores del Bureau of Economic Analysis. Los coeficientes de energía directos representan los insumos de BTU's por cada unidad monetaria de salida total de cada sector de la economía.

Just^{2/} desarrolló un modelo I/O de dos períodos, dinámico, de 104 sectores. En este modelo, los coeficientes técnicos se hicieron para nuevas tecnologías de energía para analizar la expansión requerida en las industrias específicas tales como las plantas de gasificación del carbón y reciclados de las turbinas de gas.

Los análisis I/O proporcionan la base para contabilizar la energía. Se han hecho muchos cálculos de los insumos de energía a los proyectos de capital, incluyendo la construcción de plantas de potencia nuclear, plantas de lutitabituminosa y sistemas solares para determinar el tiempo que deben operar para retornar la energía invertida en su construcción. También se ha tomado en cuenta la energía requerida para producir insumos -

^{1/} Herendeen, R. A. 1973. The Energy Cost of Goods and Services. ORNL-NSF-EP-58. Oak Ridge Nat. Lab., Oak Ridge, Tenn.

^{2/} Just, J.E. 1973. Impacts of New Energy Technology Using Generalized Input-Output Analysis. Rep. No. 73-1. MIT Energy Analysis and Planning Group, Cambridge, Mass.

ffsicos, tales como el acero y concreto, al igual que la energía requerida para fabricar materiales de construcción e instalarlos.

Desde que se comenzaron a usar estas técnicas de I/O, los coeficientes técnicos han representado un problema por su naturaleza fija o estática para los estudios proyectados hacia el futuro. Las necesidades de combustible correspondientes a un PIB, proyectado no necesariamente corresponden a las cantidades que pueden estar disponibles para ese tiempo futuro. Lógicamente existirá cierta sustitución entre combustibles -- como respuesta a tales limitaciones de combustibles específicos, por lo que se debe hacer una acertada revisión de los coeficientes técnicos.

Un modelo del sistema energético/Entrada-Salida integrado se desarrolló en el Brookhaven National Laboratory y la Universidad de Illinois para resolver este tipo de problema.^{3/} Este modelo combina el modelo I/O con el BESOM. Las restricciones se hacen sobre la disponibilidad de los combustibles y recursos en el BESOM y las sustituciones de combustible requeridas se determinan. Los coeficientes en el modelo I/O se revisan para que reflejen la nueva mezcla de combustible y el modelo I/O se resuelve de nuevo con la mezcla ya revisada. Se necesitan hacer varias iteraciones entre los dos modelos para obtener una solución en la que las demandas de energía y la mezcla de los combustibles sea consistente en los dos modelos.

3/ Behling, D.J.; Marcuse, W.; Swift, M.; Tessmer, R.Jr. 1975. A Two-Level Iterative Model for Estimating Inter-Fuel Substitution Effects.
- Debanne, J.G. 1975. A Techno-Economic and Environmental Energy Model for North America. Presentado en la conferencia de Simulación por Computadora, San Francisco, Calif. Julio 21-23, 1975.

Hudson & Jorgenson^{4/} desarrollaron un modelo energético macroeconómico produciendo una nueva e inédita integración de las técnicas tradicionales de econometría y análisis I/O. Se trata de un modelo de crecimiento macroeconómico de la economía de E. U. A. integrado con un modelo de energía interindustrial. El modelo de crecimiento consiste de submodelos de los sectores domésticos y productores, tomando a los sectores extranjero y gobierno como exógenos y los resultados del modelo son los niveles y distribución de la salida valuada en dólares constantes y corrientes. También determina la demanda para los bienes de consumo y de inversión, los abastecimientos de capital y trabajo necesarios para producir dicho nivel de salida y los precios relativos de equilibrio de los bienes y de los factores. El modelo es dinámico y tiene uniones entre la inversión y los cambios en la reserva de capital y entre los precios del servicio del capital y los cambios en los precios de los bienes de inversión.

El modelo de crecimiento macroeconómico está unido a un modelo de energía interindustrial por estimaciones de la demanda para bienes de consumo y de inversión y los precios relativos del capital y el trabajo. El modelo interindustrial de Hudson & Jorgenson está basado en una clasificación de 9 sectores de la actividad industrial de E. U. A. Los sectores son:

^{4/} Hudson, E. A.; Jorgenson, D. W.; 1974. U. S. energy policy and economic growth, 1975-2000. Bell J. Econ. Manage. Sci 5(2): 461-514.

ENERGETICOS

1. Minería del Carbón
2. Petróleo Crudo y Gas Natural
3. Refinación del Petróleo
4. Plantas Eléctricas
5. Plantas de Gas

NO-ENERGETICOS

6. Agricultura
7. Manufactura (excluyendo la refinación del petróleo).
8. Transporte
9. Comunicaciones, comercio y servicios.

Se desarrollan submodelos de producción para cada sector. Estos tratan como exógenos los precios de los servicios del capital y del trabajo determinados en el modelo de crecimiento y los precios de importaciones competitivas; y para cada sector, determina simultáneamente los precios de salida del sector y los coeficientes de I/O. En este modelo se hacen los coeficientes de I/O endógenos, lo cual representa un avance importante en el análisis de insumo-producto.

Los precios de salida del sector y la demanda para bienes de consumo del modelo de crecimiento, se usan como insumos a un modelo del comportamiento del consumidor que determina la distribución de la demanda total del consumidor a los nueve sectores productores. La distribución de la inversión privada, del gobierno y extranjera se determina exógenamente y completa la porción de demanda final del modelo. Dadas las demandas finales, los coeficientes I/O pueden usarse para determinar los niveles de producción industrial requeridos para mantener un nivel dado y distribución de la demanda real.

La FEA (Federal Energy Administration) ha desarrollado un modelo econométrico/proceso integrado para ayudar a analizar las estrategias alternativas para alcanzar la independencia energética:^{5/} llamado Proyec-

^{5/} Federal Energy Administration. 1974. Project Independence Report. -- Washington DC: GPO.

to para la Evaluación del Sistema de Independencia (PIES). Existen cuatro submodelos de entrada básicos al PIES, incluyendo un modelo macroeconómico, un modelo de producción industrial, un modelo de demanda anual y un modelo de oferta para la producción de gas y aceite. Los modelos de producción industrial y macroeconómicos generan cálculos del nivel y distribución de la salida real en la economía como insumos a un modelo de demanda energética econométrico. El modelo de demanda es un modelo econométrico dinámico que pronostica las demandas para 47 productos primarios y derivados energéticos que están condicionados por los precios de energía supuestos, los niveles de actividad industrial, el nivel y distribución de la salida neta y de ciertos datos para la tecnología de consumo de energía.

El modelo distingue la demanda de combustibles fósiles entre los usos del combustible y de la potencia en cada uno de los tres sectores de mayor consumo (residencial, industrial y transporte) y los usos industriales de las materias primas. El modelo de oferta de gas y aceite es una adaptación de un modelo del proceso de ingeniería desarrollado por el NPC (National Petroleum Council). El modelo calcula las adiciones a los niveles de producción y de reserva para 12 regiones de oferta, dadas las suposiciones sobre los precios del aceite crudo, los programas de perforación regional, la tasa de retorno requerida sobre la inversión, la relación de éxito esperada por pie perforado y la tasa de reserva/producción-proyectada.

El corazón del PIES es el modelo integrador, un modelo PL de programación lineal que usa los cálculos dados de demandas regionales, ---

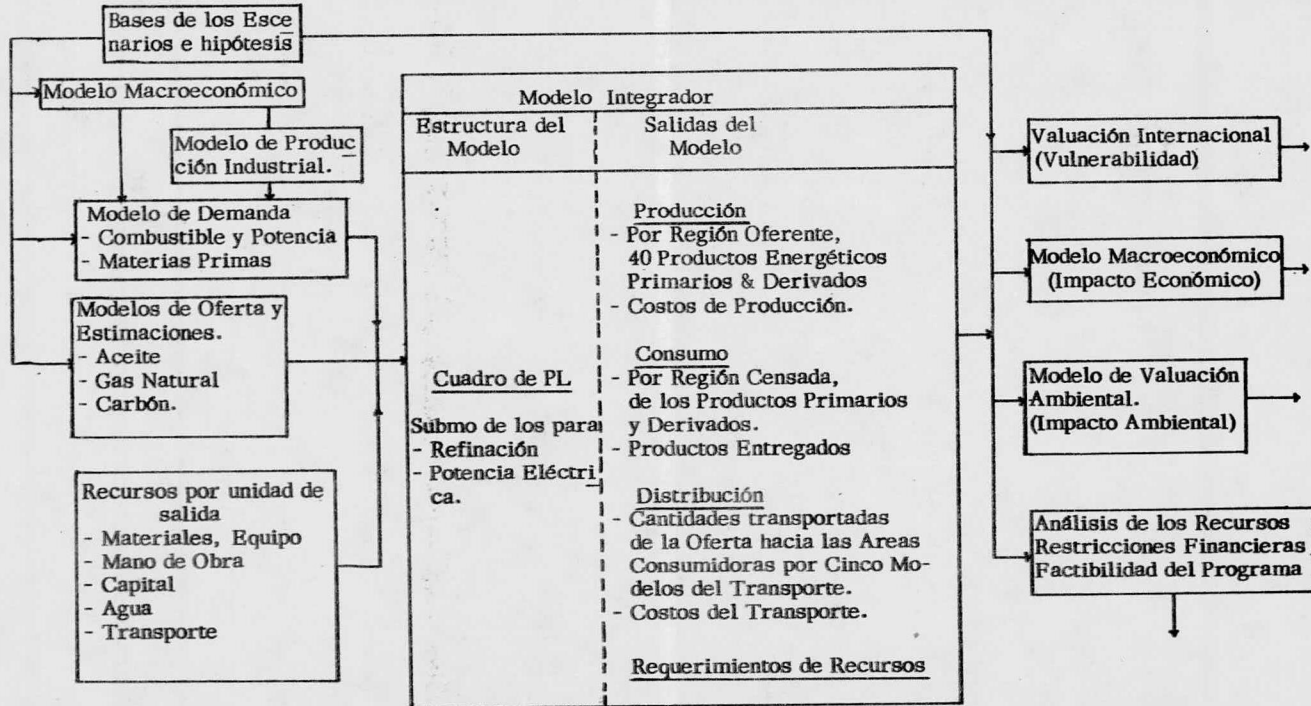
precios y elasticidades, programas de oferta regionales y requerimientos de insumos de recursos para calcular un equilibrio en el mercado de energía. La relación entre el modelo de demanda y el submodelo PL, que incorpora los programas de abastecimiento y procesos de conversión, se pueden resumir como sigue: El modelo de demanda se usa para calcular una coordinación precio/cantidad sobre la curva de demanda para cada uno de los productos energéticos primarios y derivados del sistema. Asociado con cada uno de estos coordinados, están las mediciones de las sensibilidades de las cantidades demandadas a pequeños cambios en cada uno de los precios en el modelo de demanda (elasticidades propias y cruzadas del precio). En la primera iteración del modelo integrador, se calcula un problema PL para determinar el costo mínimo de producción, distribución y transportación necesario para satisfacer los niveles de demanda dados.

Asociadas con las cantidades de oferta calculadas están implícitos los precios. Si estos precios de oferta difieren de los precios de demanda originales, entonces la solución es inestable y un nuevo problema debe ser estructurado y resuelto. El procedimiento consiste en calcular los nuevos precios de demanda que igualan la mitad de la diferencia del precio de oferta y demanda de la última iteración, para usar las elasticidades propias y de precio cruzado para calcular las nuevas cantidades demandadas y finalmente resolver un nuevo problema de PL para los nuevos programas de producción, distribución y transporte y los precios de oferta. Este proceso se continúa hasta que los precios de oferta y demanda se igualan, en cuyo punto el mercado de energía es considerado que está en equilibrio.

Los resultados del modelo integrador se usan posteriormente como entradas a ciertos modelos interpretativos incluyendo un modelo macro -- económico, un modelo de valoración ambiental y un modelo de valoración internacional. En la Figura 5.1 se muestra un diagrama de la secuencia - que se sigue en este trabajo del PIES.

FIGURA 5.1

DIAGRAMA DEL PROYECTO PARA LA EVALUACION DEL SISTEMA DE INDEPENDENCIA (PIES).



5.2. MODELO ENERGETICO /ECONOMICO PARA LAS AREAS URBANAS*

Se consideró pertinente mencionar el trabajo en éste capítulo ya que se puede considerar que de hecho la unidad básica en toda sociedad es la familia y por ende es el lugar en donde realmente se dirige toda la demanda de bienes y servicios de una manera directa o indirecta, considerando que tales agrupaciones humanas forman una sociedad de consumo de acuerdo a su nivel de ingreso.

Además se ha visto que el desarrollo económico ha sido históricamente asociado con la urbanización; en el caso de México la proporción de la población que vive en las áreas urbanas ha cambiado de un 20% en 1940 hasta 45% en 1970 y se proyecta que crezca hasta 60% para 1990, por lo que éste rápido crecimiento y el desarrollo de las áreas urbanas afecta rotundamente la demanda de energía nacional.

El trabajo pretende examinar la estructura de la demanda de energía URBANA, su dependencia de las actividades cotidianas, las eficiencias y la mezcla de combustibles de uso energético y su relación con la distribución del ingreso. En otras palabras trata de determinar los efectos de la urbanización y las interdependencias entre las actividades humanas en centros urbanos y la demanda de energía nacional.

La pregunta no se refiere a cuanta energía se usa en las áreas urbanas, sino cómo se usa en general como un resultado de las actividades en dichas zonas. En vista de lo anterior la metodología que se propone se-

* Trabajo realizado bajo el título: "Patterns of Urban Household Energy Use in Developing Countries: The Case of México City". by Manuel Taylor & Gordon Mc Granahan. Dic. 1977. Institute for Energy Research. State University of New York at Stony Brook. Stony Brook, N. Y. 11794.

centra alrededor de las de las actividades domésticas en grupos de diferente ingreso y la manera como están relacionadas con los procesos de consumo de energía y el uso de energía primaria.

Para la aplicación de tal metodología se escogió el Area Metropolitana de la Ciudad de México (MAMC).

5.2.1. METODOLOGIA GENERAL.

El enfoque que presenta éste programa resulta inédito en su clase ya que no se tiene una metodología anterior que pudiese servir de orientación para determinar los patrones de uso de energía en las áreas urbanas, por lo que se hace la aclaración de que hasta cierto punto el método que se da es un tanto cuanto exploratorio.

Uno de los principales objetivos de este proyecto es desarrollar -- una metodología apropiada para analizar la conexión entre los requerimientos de energía y el proceso de urbanización, también trata de señalar aquellas áreas que son de mayor importancia y necesitan de una investigación posterior.

Tal metodología que se propone pretende enfocarse en:

- Ilustrar los efectos de la urbanización sobre el uso de combustibles primarios.
- Proyectar las demandas de energía futuras asociadas con actividades domésticas en grupos de diferente ingreso.
- Valorar las políticas alternativas del gobierno en su efecto sobre el consumo de energía primaria.
- Ver el impacto potencial de la escasez energética en las activi--

dades de la gente con diferentes niveles de ingreso.

El programa básico para obtener los patrones de consumo es construir perfiles de uso de energía para diferentes niveles de ingreso.

El modelo usado para estructurar la relación del ingreso y la energía es una combinación de análisis del proceso y análisis de actividades, donde los usos finales se asocian con las actividades y las conversiones energéticas con los procesos. El primer paso que se da es el examen de cada una de las actividades para un cierto nivel de ingreso, para determinar sus demandas de uso final. Los perfiles se hacen sobre una base por familia. Los sectores de uso final que se consideraron son:

- Transporte
- Comida
- Habitación (construcción)
- Usos Residenciales
- Servicios Públicos.

Cada una de estas actividades se trata por separado. Para que exista una mayor exactitud en el trabajo se sugiere que se tome en cuenta además de los sectores antes mencionados, el de vestido, de mobiliario y otras categorías menores.

El siguiente paso en la metodología es la determinación de los requerimientos de insumos energéticos primarios para estas actividades.

Se tomaron en cuenta tres formas de combustible; los basados en el petróleo; eléctrico y los no comerciales (estos incluyen la madera, así como la energía animal y la humana o metabólica).

El problema que se tiene para determinar el consumo indirecto de las actividades de uso final de insumos energéticos es la energía incorporada al bien o servicio. La energía incorporada se define como la suma de toda la energía primaria usada para producirlo y distribuirlo, por ejemplo para los alimentos, la energía incorporada se refiere a la energía usada - en la zona de desarrollo, en el transporte y en el procesamiento y empacado del alimento antes de que sea abastecida a los hogares.

5.2.2. TRANSPORTE.

Este sector se define de manera que incluye todo transporte de pasajeros para trabajo, negocios personales y recreación. Se tiene que este sector constituye el de mayor consumo energético, llegando a ser un 42% del consumo total doméstico. Por otro lado el 95% se basa en combustibles derivados del petróleo.

Los modos de transporte son automóvil, taxi, autobús, metro, tranvía, trolebús y aviones.

El procedimiento que se usa para poder construir un perfil consiste de dos pasos principales. El primero es la distribución de los viajes-pasajero diarios para cada tipo de transporte entre los grupos de acuerdo a su ingreso.

Para determinar el uso de combustible se asumió que su consumo - para cada tipo de transporte es proporcional al número de viajes-pasajero, es decir:

$$F_{ij} = (F_j / P_j)(P_{ij})$$

donde

F_{ij} : Es el uso de combustible anual por familia para el tipo de transporte j en el grupo de ingreso i .

P_{ij} : Viajes-pasajero diarios por familia usando el tipo de transporte j en el grupo de ingreso i .

F_j : Uso de combustible anual total para el transporte j .

P_j : Número total de viajes-pasajero diarios para el tipo de transporte j .

Este tipo de análisis de actividades tan sencillo conduce a resultados bastante representativos como que entre los grupos de menor y el de mayor ingreso existe un factor de 38 respecto al consumo de energía para el sector transporte, desde 5.9×10^6 BTU/año hasta 223×10^6 BTU/año para las familias de mas altos ingresos económicos. Otro resultado también importante es que solo el 5% del consumo energético es de tipo eléctrico y el resto se basa en productos derivados del petróleo.

5.2.3. RESIDENCIAL.

Los usos de energía directos en el hogar forman un 20% del uso de energía primaria asociada con las actividades domésticas. En el trabajo se dividió este sector en cinco subsectores; cocina, calentamiento de agua, alumbrado, aire acondicionado y aparatos en general.

El procedimiento usado para estimar la demanda de energía por familia para el sector residencial se explica de una manera mejor al ver la tabla 5.1.

Eficiencia (e_i) : Se refiere a la efectividad relativa con la que un aparato de consumo final (por ejemplo, una estufa de gas) satisface una demanda de uso final (por ejemplo, cierta agua que necesita ser calentada hasta cierta temperatura.) Para el caso de la electricidad, la eficiencia se refiere a la efectividad relativa del aparato que la usa y al proceso de conversión de la energía primaria en electricidad, ambas eficiencias combinadas.

Proporción de Usuarios (p_i) : Fracción de las familias dentro de un nivel de ingreso utilizando la tecnología i para satisfacer una demanda final.

Demanda de Energía Básica (B_i) : Cantidad de energía promedio requerida por una familia utilizando energía comercial para satisfacer una demanda final, exclusiva de la efectividad del aparato consumidor o del tipo de combustible.

Demanda de Energía Específica (F_i) : Cantidad de energía promedio requerida por familia usando la tecnología i para satisfacer la demanda, expresada en términos del contenido energético del combustible específico usado.

De acuerdo a la siguiente relación se puede saber la demanda de energía primaria una vez que se conozca la demanda básica:

$$F_i = B_i/e_i$$

La demanda de energía básica (B_i) se estima de diferentes maneras dependiendo el uso final y del aparato.

5.2.4. ALIMENTACION.

El procedimiento usado para estimar el uso de energía primaria relacionada con el consumo de alimentos está basado en el cálculo de la energía incorporada. Existen tres actividades durante las cuales la energía es incorporada al sistema alimenticio antes de que sea consumida;

- Producción Agrícola: energía usada en el campo y en la maquinaria.

TABLA 5.1

PERFIL DEL USO DE ENERGIA RESIDENCIAL (1976)

Ingreso Familiar: 0-1000.
Número de Familias: 375 400.

Uso Final	Tecnología	Combustible	P_i	e_i	B_i	F_i	(P_i)	(F_i)
Cocina	Estufa	Eléctrica						
		Gas						
		Kerosina	.82	.38	47	124		102
		Madera-Carbón.	.18	.1	47	470		84
							Total	186
Calentamiento de Agua	Hervidor	Gas						
		Combustóleo						
		Madera-Carbón						
Alumbrado	Bulbo	Eléctrico	.9	.3	6.6	22		19
							Total	19
Aparatos grandes	Refrigerador	Eléctrico						
	Lavadora	Eléctrico						
	Lav. Trastes	Eléctrico						
							Total	
Aparatos menores	Radio	Eléctrico	.8	.28	3	10.7		8.5
	Televisión	Eléctrico	.7	.28	5	18		12.6
	Estereo	Eléctrico						
							Total	21.0
Aire Acondicionado	Para un Cuarto	Eléctrico						Total
Calefacción	Resistencia Calentador	Eléctrico						
		Gas-Aceite						
							Total	

Gran Total 227

- Transporte: energía usada para mover los productos agrícolas desde las áreas de cultivo hasta los centros de consumo.
- Procesamiento: energía asociada con los insumos industriales para el procesamiento y empaqueo de alimentos, así como la relacionada con las actividades comerciales del mercado de alimentos.

Se consideraron varios pasos para calcular el contenido de energía incorporada en los alimentos consumidos por las familias de diferente nivel de ingreso:

Actividad Agrícola.

1). - Se suman los víveres para cada nivel de ingreso. Los víveres se refieren a la cantidad promedio de cada tipo de alimento (en kilogramos) que una familia en ese nivel consume.

2). - La energía incorporada en la agricultura por cada unidad de peso (BTU's por kilogramo) para los diferentes tipos de alimento se estima de acuerdo a patrones ya calculados.

3). - La energía incorporada en el consumo de alimentos por familia se calcula para cada nivel de ingreso sobre la base de los kilogramos por familia de (1) y los BTU's por kilogramo de (2).

Procesamiento.

4). - Puesto que se considera insignificante el procesamiento de alimentos en la población rural, la proporción del uso de energía total de México en el procesamiento de alimentos que se asigna a la Ciudad de México es igual a la proporción de toda la población del área metropolitana

na. En otros términos:

$$FP_{mc} = P_{mc} \cdot FPM_{ex}$$

donde

FP_{mc} : es la energía del procesamiento de alimentos asignada a la Ciudad de México.

FPM_{ex} : es la energía total para México.

P_{mc} : es la proporción de la población urbana de México que vive en la Ciudad de México.

5). - La energía incorporada en el procesamiento se distribuye entre los niveles de ingreso de acuerdo a una ecuación dada.

5.2.5. SERVICIOS PUBLICOS.

Los servicios que se tomaron en cuenta fueron el alumbrado municipal, bombeo de agua y alcantarillado, colección de basura, y escuelas - hospitales y oficinas públicas.

La mayoría de estos servicios están disponibles generalmente para todos, de aquí que sea difícil determinar quien los usa y en que medida un grupo de ingreso mas que otro. A excepción de la recolección de basura y el bombeo de agua, la energía consumida al proporcionar estos servicios se distribuye entre aquellas familias que están en áreas marginadas de la Ciudad de México.

El uso de energía para el bombeo de agua y alcantarillado se distribuye con la ayuda de funciones del uso de agua relacionado con el ingreso. Para la recolección de basura se hace sobre la base de una escala de pesos similar a la estimada por los conocimientos generales de los patro-

nes de consumo.

5.2.6. HABITACION (CONSTRUCCION).

Este sector resulta ser el más difícil de manejar. La energía a la que se refiere es la energía primaria usada para la construcción de las casas-habitación. Esta incluye la energía incorporada en el material de construcción, así como la energía directamente vinculada con la actividad de la edificación. Por otro lado, se tiene que en toda la vida de la construcción la llegan a habitar familias de diferentes niveles de ingreso. Se puede considerar que el monto de energía usada en la construcción depende de la tasa de crecimiento de la población así como su tamaño actual. Las dos metodologías más obvias que se conocen son:

1). - Distribución del uso energético asociado con la nueva construcción entre los nuevos propietarios. Esta suposición podría equivocarse ya que los primeros poseedores de un cierto nivel no necesariamente son los principales usuarios.

2). - Asignando la energía incorporada a la construcción dividido entre los años de vida de la habitación para cada familia que la usa. Esta técnica sería poco exacta ya que implícitamente supone que los inmigrantes demandan alojamientos con la misma rapidez que los residentes que ya están viviendo en casas-habitación y mayor aun que el tipo de habitaciones demandadas en el presente y futuro son las mismas que en el pasado. Ambos factores generalmente conducen a subestimaciones de la demanda de construcciones.

Por estas razones, en el trabajo se propone una combinación de ambas:

1). - Se tomó un patrón estimado en E. U. A. de los BTU's por cada dólar gastado en la construcción privada. Posteriormente se ajustó a México.

2). - Estimación del uso de energía primaria total asociada con la construcción en la zona metropolitana. Esto se hizo sobre la base de los BTU's por dólar estimados en (1) y los costos de construcción por año para la Area Metropolitana de la Ciudad de México.

3). - Estimación del uso de alojamientos por nivel de ingreso. Este paso consiste en determinar el número promedio de cuartos por familia y el tipo de material de construcción usado.

4). - Distribución entre los grupos de ingreso del uso de energía primaria total asociada con la construcción de casas.

Una vez que se ha hecho el análisis tanto del proceso como de las actividades para cada sector, se combinan los resultados de cada uno y se llega a la representación de la relación existente entre el crecimiento urbano con respecto a la demanda del uso de energía primaria.

Como último punto de este estudio se tiene una proyección de la demanda de energía hasta 1990 una vez que se obtuvo el análisis de las actividades urbanas.

5.2.7. PROYECCION DE DEMANDA DE ENERGIA PARA 1990.

La proyección que se hace es de la demanda de energía primaria agregada asociada con las actividades cotidianas en la Ciudad de México. Resulta fácil ver como ésta aproximación podría ser extendida para incluir variaciones específicas en los niveles de actividad en particular o en las -

eficiencias de las tecnologías de diferentes aparatos de uso final y el modo relativo de uso.

Las proyecciones de ésta naturaleza tienen una variedad de aplicaciones. Ayudan a localizar los desequilibrios de la oferta y demanda de la energía potencial en el futuro y para valorar la importancia de la situación energética. Además las variaciones en las hipótesis hechas a un nivel desagregado pueden ilustrar la relativa importancia de los diferentes factores sobre la demanda de energía total asociada con las actividades cotidianas urbanas. Las proyecciones pueden mostrar los ahorros potenciales que se derivan del crecimiento de la eficiencia del uso de combustibles en promedio de los automóviles o el crecido consumo de energía que acompañará el abastecimiento de todas las familias con los "adecuados" niveles del servicio público. Por último pueden ilustrar la importancia de las familias de tipo urbano sobre las demandas de energía futuras de la nación.

Para un año dado la demanda de energía primaria asociada con las actividades cotidianas depende de la población, la distribución del ingreso y del perfil de energía por familia. Dicho perfil especifica el consumo de energía primaria promedio asociada con las actividades domésticas en cada grupo de ingreso mientras que la población y la distribución del ingreso determinan el número de familias en cada uno de estos grupos de ingresos. El consumo de energía de un cierto grupo para un cierto año se encuentra al multiplicar el número de familias en ese grupo por el consumo de energía por familia a ese nivel de ingreso tomado del perfil energético de-

ese año. Ya que sí existen metodologías y datos para proyectar la población y la distribución del ingreso, el problema consiste en determinar los cambios de los perfiles de energía familiares.

Perfil de Energía Familiar Futuro:

Los factores que determinan el cambio en el perfil energético agregado (sin considerar la mezcla de combustibles) son:

- Los niveles de actividad. - Existen niveles de actividad (viajes--pasajeros, cuartos no habitados, etc.) que determinan el perfil energético asociado con cada grupo de ingreso.

- Eficiencia en los niveles de las actividades de oferta. - Este concepto es análogo a la eficiencia definida en el sector residencial excepto - que se indique sobre la efectividad relativa con la que los niveles de actividad se calculen.

Los cambios en el primer factor reflejan cambios fundamentales - en el comportamiento tales como los aumentos en el número de cuartos -- usados, la cantidad de alimentos cocinados o el número de viajes hechos. - Dentro de un grupo de ingreso las causas de tales cambios son factores -- como las familias previamente a diferente nivel de ingreso moviéndose ha cia el grupo de ingreso y trayendo consigo los cambios a largo plazo en -- las normas sociales, los grandes cambios del precio relativo o el sistema de valor de sus grupos de ingreso originales.

El segundo factor es un reflejo de los cambios en los modos de dis tribución e innovaciones tecnológicas. Por ejemplo, la eficiencia podría - crecer por un giro de los autos particulares al transporte público o por -

el crecimiento de los kilómetros por litro promedio desarrollados por los automóviles que se usan.

De acuerdo a estos factores se examinaron dos escenarios. El primero no supone cambios en el perfil energético familiar, mientras que en el segundo la eficiencia global asociada con cada grupo de ingreso se supone que aumenta.

Escenario 1. - No se estipula ningún cambio en el perfil energético a través del tiempo.

Escenario 2. - El diagrama 5.2 muestra las hipótesis que se hacen referidas al crecimiento de la eficiencia. El eje de la eficiencia mide el aumento en por ciento de la eficiencia al abastecer los niveles de actividad relativos a 1976. La tasa mas baja del capital en los grupos de menor ingreso retarda la tasa de crecimiento en la eficiencia. Aun cuando se sabe que al invertir en una estufa eficiente podría ser provechoso para cualquiera, es evidente que una familia de bajo ingreso no tendrá el capital -- para hacer tal inversión. Por otro lado estas familias están restringidas por la carencia de tipos de transporte menos intensivos energéticamente ya que ellos ya usan el transporte colectivo. Los niveles de actividad se mantienen constantes.

Los perfiles familiares para 1980 y 1990 se obtienen con la siguiente ecuación:

$$E_{ik} = \frac{E_{ij}}{1 + T_{jk}} \quad (k > j)$$

donde

E_{ij} = Consumo de Energía Primaria Promedio asociada con las ac-

tividades de una familia del grupo i en el año j .

E_{ik} = Consumo de Energía Primaria Promedio asociada con las actividades de una familia del grupo i en el año k .

T_{jk} = Cambio en por ciento de la eficiencia entre el año j y el año k .

Los grupos de Ingreso Futuros son los mismos bajo iguales escenarios. La población se deriva de fuentes exógenas. La distribución de las familias entre los grupos de ingreso se toman de una proyección de la distribución del ingreso que consiste de dos pasos:

1. Una proyección lineal del producto interno neto per cápita en la Ciudad de México. Las estimaciones que resultan son menores que las supuestas por un crecimiento exponencial continuo y que debería ser interpretada como tal.

2. Una distribución del valor de la producción incrementada sobre la suposición de que todos los ingresos familiares crecen en la misma proporción que la producción per cápita y que las familias están distribuidas alrededor de los puntos medios del ingreso.

CAMBIOS DE LAS TECNOLOGIAS DOMESTICAS 1980-1990

1970 PESOS MES	A		B		C		D		E	
	INGRESOS	0-1000	1000-2500	2500-5000	5000-10,000	10,000 - MAS				
1980	3	5	9	15	20					
1990	29	37	50	60	70					

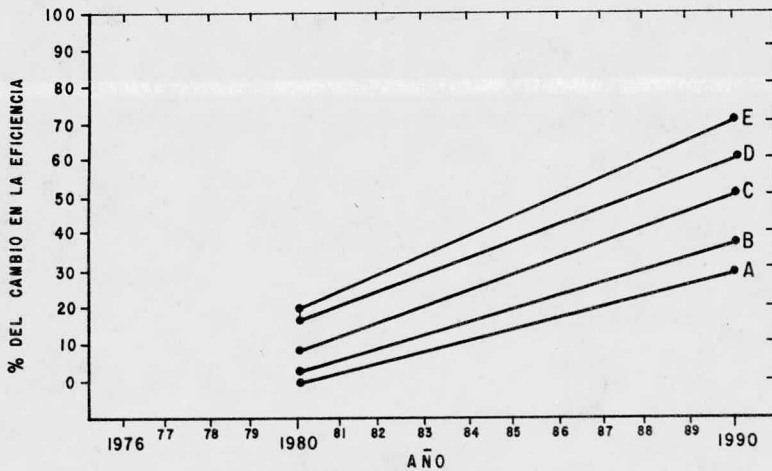


Figura 5.2

5.3. MODELO DE PLANEACION MULTINIVEL.

Los modelos ENERGETICOS e INTERCON como ya se habfa mencionado en el capítulo II, forman parte de una serie de modelos de planeación a diferentes niveles de agregación dentro del sistema macroeconómico de México.

Este conjunto de modelos se desarrollo en el país, en el año de 1970 bajo los auspicios del Centro de Investigación del Desarrollo del Banco Mundial y forma parte de un programa de tal organismo para abrir una fuente de información de estudios orientados hacia la política de un país o de un grupo de ellos.

México se seleccionó como su primer objetivo para analizarlo y en especial el problema de las interdependencias que se verifican dentro de un país. Por otro lado trata de señalar la manera de como manejar y entender la teoría y la práctica de la planeación multinivel.

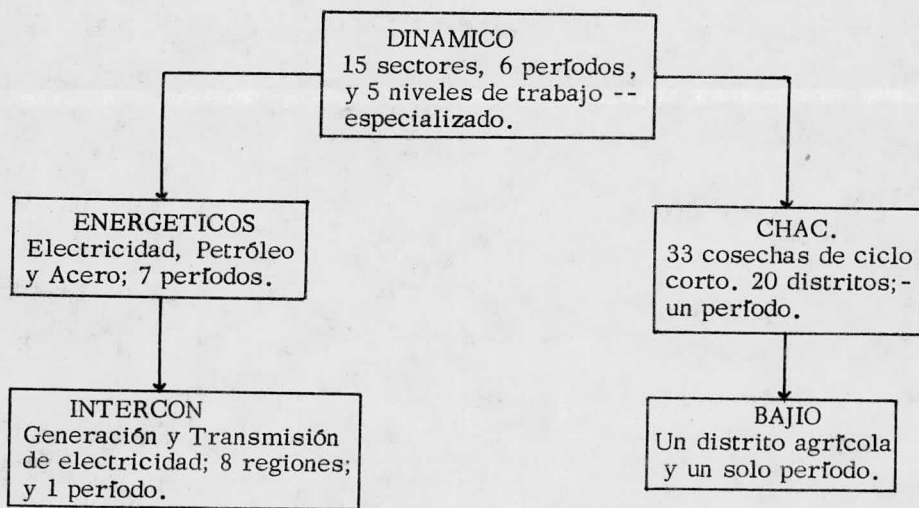
El problema de las interdependencias se analiza a través de un sistema de modelos de optimización correspondiendo a tres diferentes niveles de agregación.

Como se observa en la Figura 5.3, en el nivel mayor de agregación, existe un modelo multisectorial de la Economía Mexicana. En un nivel intermedio, existen dos modelos sectoriales, uno para la agricultura y otro para la energía. En el nivel mas bajo de agregación, existe un modelo para un distrito agrícola y otro para las plantas de potencia eléctrica y líneas de transmisión.

Este sistema se puede usar para analizar decisiones de política en

tres distintos niveles. En el nivel mayor, las decisiones a tomar se pueden referir a la tasa de los ahorros domésticos y el grado de deudas al exterior. En el nivel sectorial se pueden relacionar a los subsidios sobre el uso de fertilizantes o la política de precios para los combustibles industriales. Para el nivel regional, se pueden referir a proyectos de inversión específicos, tales como un programa de irrigación o una línea de transmisión de potencia eléctrica.

FIGURA 5.3
SISTEMA DE RELACION ENTRE LOS MODELOS.



Para aplicar el criterio de equilibrio general, el sistema completo de los modelos deberían resolverse simultáneamente. Una decisión basada sobre esta solución sería "óptima" en el sentido que tomaría en cuenta todas las posibles interacciones dentro del sistema. Esta óptima deci--

sión podría interpretarse como el resultado que predominaría en un mercado completamente competitivo.

Aplicando el criterio de equilibrio parcial, se podría resolver solamente un componente del sistema. Por ejemplo, si una decisión de alguna inversión se va a hacer en un distrito agrícola, solo tiene que resolverse el modelo de ese distrito en particular. Sin embargo, para continuar con este tipo de cálculo, se necesita cierta información del resto del sistema. Cuando se tiene una competencia perfecta, el mercado proporciona la información. Cuando se desea obtener una planeación que indique la situación económica, la información debe ser expresada en la forma de precios sombra. Estos últimos reflejan los costos de oportunidad para el resto de la economía de los factores usados por el distrito y las comodidades producidas por el mismo. Si las decisiones hechas en una sola parte del sistema (para este caso el distrito agrícola) no puede afectar la escasez económica en el resto del sistema, tomar decisiones descentralizadas resulta fácil. Pero, si estas decisiones sí pueden afectar los precios de algunos bienes o factores usados por el resto del sistema, es preciso hacer un proceso iterativo para obtener la optimización.

El hacer decisiones descentralizadas sin iteraciones es un procedimiento simple, pero resulta menos adecuado para el bienestar social. A pesar de ello en este estudio solo se hace este tipo de "suboptimización" para llegar a una solución "pseudo-óptima" del sistema global.

Para los otros subsistemas (los agrícolas), se toman en cuenta otros factores para ser analizados, distintos de la orientación hacia el sistema energético que pretende esta tesis, por lo que solo se hará men-

ción a la conexión que se dá entre el modelo ENERGETICOS y el DINAMICO.

A continuación se dará una somera introducción acerca de este modelo macroeconómico para que posteriormente haya una mejor comprensión de la unión que se hace .

Se dice que un modelo macroeconómico para generar criterios que tengan cierto significado para llegar a tomar decisiones sobre proyectos, no es suficiente que la mano de obra tenga un precio sombra positivo, sino que también es necesario que haya cierta separación de acuerdo a ciertas categorías de mano de obra especializada. La disponibilidad de la mano de obra en cada categoría se proyectó exógenamente, como si la oferta del -- trabajo especializado fuese completamente inelástico. La versión común y corriente de DINAMICO incluye actividades en fase temporal endógenas -- para mejorar la mano de obra no especializada en especializada. También se incluyen actividades para la substitución del trabajo por el capital en la agricultura y para la substitución entre aptitudes a corto plazo.

Este es un modelo de planeación indicativa y no imperativa. La estructura es de tipo determinístico - la programación lineal. Con excepción del trabajo, este modelo multisectorial dinámico sigue la trayectoria normal de la PL. Entre los ingredientes estándar están: una matriz interindustrial de contabilidad corriente, una matriz de aptitud del trabajo, coeficientes de capital enlazando las demandas de la inversión con la expansión de - la capacidad en periodos futuros, y actividades alternativas para el mejoramiento de la balanza comercial. El comercio exterior se visualiza como un

recurso primario dado exógenamente y en parte como un artículo para el cual existen posibilidades de substitución. Además las ganancias del comercio exterior a través de las exportaciones y del turismo, el modelo permite la posibilidad de exportar manufacturas de las crecientes industrias. Se supone que el comercio exterior también se dispone a través de los flujos de capital - una parte sobre términos de concesión y otra por la inversión extranjera privada directa.

Entre los resultados que se pueden examinar por medio de DINAMICO son: comparación de los incrementos en el consumo agregado entre un corto plazo y un largo plazo; soluciones alternativas de dependencia sobre los flujos de capital extranjero; y los efectos de la distribución del ingreso de la creciente productividad de la mano de obra dentro del sector agrícola.

Puesto que son muy amplios los aspectos que analiza éste modelo macroeconómico y no precisamente del todo enfocado al sistema energético, sólo se resaltaré la unión que se hace de este con el modelo ENERGETICOS.

Cuando se desea tomar una decisión de inversión para un simple proyecto, resulta problemático el darse cuenta que el proyecto no puede ser evaluado a menos que uno haya primero construído un modelo del sistema total dentro del cual el proyecto debe colocarse. Sin embargo se ve que tal sistema resultaría de tamaño y complejidad infinitas. Lo que se puede intentar hacer es: (a) definir las fronteras dentro del cual se va a colocar el proyecto; (b) construir un modelo del proyecto dentro de los -

límites de ese pequeño mundo; y (c) checar si una extensión de las fronteras puede producir una diferencia significativa en las recomendaciones políticas que surgieran del modelo.

En este estudio se trata de hacer un análisis de sensibilidad referente al punto anterior (c) y se llega a la conclusión de que aunque la substitución del proceso dentro del sector energético produciría efectos indirectos sobre el resto de la Economía Mexicana, estos efectos de retroalimentación no conducirán a cambios significativos en las demandas para -- los factores de salida del sector energía o los precios de eficiencia de sus entradas.

Como ya se dijo este análisis se motivó por los dos modelos de planeación numérica - ENERGETICOS (modelo de análisis del proceso del -- sector energético) y DINAMICO (modelo multisectorial dinámico, de la -- Economía Mexicana). Este último se desarrolló para propósitos macroe-- conómicos - calculando balances de oferta y demanda y precios de eficiencia para el comercio exterior, inversión de capital y especialización humana. El otro se construyó para analizar alternativas del proceso - balances de oferta-demanda y precios de eficiencia dentro del sector de energía.

Ambos modelos han sido formulados de manera que sean resueltos vía el mismo algoritmo - Programación Lineal. Sin embargo se presenta el problema de combinar la base de datos, pues se han hecho independientemente. Por ejemplo, en ENERGETICOS la electricidad está desagregada en "potencia pico" y "energía eléctrica". Cada uno de estos productos se midió en términos de unidades físicas. En DINAMICO, existe una sola in-

dustria de entrada-salida etiquetada como "electricidad" y esta se mide en términos de pesos de 1960. La desagregación de la mezcla del producto de las otras dos industrias resulta todavía mas problemático, pues su forma agregada viene siendo "producción y refinación del petróleo y productos carboníferos" y "metales básicos".

En ENERGETICOS, las entradas del trabajo son medidas en términos de pesos y combinadas con todos los costos contables corrientes. Dentro de DINAMICO, las entradas de trabajo a los sectores están desagregadas en términos de categorías de aptitudes y están medidas en términos de años-hombre.

La desagregación de la mezcla de factores de potencia eléctrica -- es un paso que mejora la exactitud de las decisiones del proceso y del proyecto dentro del sector de energía. Igualmente sucede con las proyecciones macroeconómicas, que son mejoradas por la desagregación de las aptitudes humanas. De lo anterior se desprende la pregunta de si habría una mayor exactitud posterior al construir un solo modelo en el que la mezcla del sector energético sea desagregada como se hace en ENERGETICOS y que la mezcla del insumo de trabajo está de la misma forma que en DINAMICO. La experiencia ha mostrado que resulta costoso acumular los datos necesarios para desagregar las hileras con objeto de alcanzar consistencia entre los niveles de agregación adoptados en los modelos construídos independientemente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Después de haber hecho el análisis de los trabajos seleccionados, se concluyó que la metodología que llegan a emplear puede ser de tres tipos: dinámica, estática o parcialmente dinámica.
- La dinámica utiliza herramientas de tipo estadístico como los análisis de correlación y de regresión, pues su objetivo es emitir -- pronósticos del consumo de algún producto energético para un periodo futuro.
- La metodología estática viene a ser un análisis de las actividades, la cual utiliza la Programación Lineal y el objetivo es determinar las interrelaciones energéticas que existen entre los distintos entes u organismos de un sistema, dependiendo del nivel de agregación que pretenda el estudio. También se usa para hacer la optimización del sistema.
- La parcialmente dinámica trata de hacer uso de las dos anteriores siguiendo cierta secuencia: primero investigar la operación del sistema, después emitir pronósticos de los parámetros que interesan y por último volver a analizar al sistema pero para una fecha posterior. Esto se continúa para algunos periodos que se fijan de antemano.
- La deficiencia principal que presenta cualquier metodología de pronóstico es el hacer la suposición de que el comportamiento

futuro del sistema de consumo seguirá los mismos patrones que en el pasado y que estarán bajo la influencia de los mismos factores.

- El cambio que lleva a cabo cualquier sistema de consumo, enfocado a los productos energéticos, no es de tipo diferencial en esencia, por lo que los patrones de éste consumo no se les puede considerar totalmente dinámicos.
- La metodología de análisis de actividades resulta ser más real que la de pronóstico, sin embargo solo da una radiografía estática del sistema de consumo, lo cual se puede utilizar para optimizar dicho sistema, al determinar una función objetivo y tratando de minimizarla o la alternativa de maximizarla.
- La mayoría de los trabajos señalan la dificultad que se tiene al tratar de alimentar a los modelos con los datos suficientes, pues en la mayoría de los casos se carece de ellos o en su defecto existe la falta de autenticidad. En México sólo se dispone como fuente de amplia información los volúmenes titulados ENERGETICOS editados por el Instituto Mexicano del Petróleo, (IMP), sin embargo se ve que el nivel mínimo de agregación sólo es hasta un nivel industrial o sectorial, lo cual muchas veces representa una limitante para poder obtener datos de mayor detalle.
- El tener el conocimiento de que el flujo de los energéticos está controlado por el sistema de consumo de los mismos productos

energéticos o de bienes y servicios que llevan implícitamente la participación de tales recursos; que tal sistema de consumo no -- cambia de manera diferencial en el tiempo y que existe una gran -- dificultad para conseguir los datos adecuados para formular un mo delo energético, conduce a que cualquier modelo que proyecte en - el tiempo el uso de la energía, debe abarcar sólo un intervalo - corto de tiempo.

- Los modelos que se formulen en el futuro deben de ser integrados en la oferta y la demanda. La oferta enfocándose hacia el aspecto técnico del mejor funcionamiento del uso de la energía y la deman da hacia las interrelaciones que surgen del mercadeo que se hace de la energía primaria o de la energía intrínseca de bienes y ser vicios.

BIBLIOGRAFIA.

- Meadows, D.H. ; Meadows, D.L. ; Randers, J. ; Behrens III, W.W. Los Límites del Crecimiento. Fondo de Cultura Económica. México, 1972.
- Grenon, M. La Crisis Mundial de la Energía. Alianza Editorial Madrid, Madrid, 1974.
- Heller, W. Diccionario de Economía Política. Editorial Labor, S.A. España, 1969.
- Comisión de Energéticos, SEPAFIN. Boletín Informativo del Sector Energético. Febrero de 1978. México.
- Hoffman, K.C. ; Wood, D.O. Energy System Modeling and Forecasting. - Annual Review of Energy. Vol. 1 Annual Reviews Inc. - 1976.
- Chapman, P.F. Energy Costs: a review of methods. Artículo publicado en Energy Policy. Vol. 2 No. 2, junio de 1974. p. 91 - - 103.
- Chenery, H.B. ; Clark, P.G. Economía Interindustrial, insumo producto y programación lineal. Fondo de Cultura Económica. - México, 1963.
- Goreux, L.M. & Manne, A.S. Multilevel Planning: Case Studies in México. - North Holland/American Elsevier. Amsterdam 1973
- Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos. Energía. Revista. Noviembre de 1974.
- Hitch, Ch. J. Modeling Energy-Economy Interactions: Five Approaches. Trabajos presentados en la Joint National Meeting of The Intitute of Management Sciences and The Operations - - Research Society, San Francisco, mayo 11 de 1977. RFF (Resources for the Future). Washington, D.C.
- Behling, D.J. Jr. ; Cherniavsky, E.A. ; Hoffman, K.C. ; Jorgenson, D.W. - Overview of Technological-Economic Models for Energy-Policy Analysis. Paper presentado en Workshop on Energy Strategies International Intitute for Applied Systems - Analysis. Luxemburgo, Austria. Mayo 18 de 1977.

- Hoffman, K.C. (Brookhaven National Laboratory) & Jorgenson, D.W. (Harvard University). Economic and Technological Model for Evaluation of Energy Policy. Papel presentado en la Conferencia sobre Modelos Matemáticos. Moscú, U.R.S.S. Junio 16-18 de 1976.
- Crupo de Economía de Energéticos del Centro de Investigaciones y Docencia Económicas, A.C. (CIDE). Evaluación de Proyectos y Metodologías de Demanda en el Sector Energético Nacional. Octubre de 1976. Dos Volúmenes.
- Instituto Mexicano del Petróleo, IMP. Energéticos, Panorama Actual y Perspectivas. Vol 1. 1973.
- Instituto Mexicano del Petróleo, IMP. Energéticos, Demanda Sectorial Análisis y Perspectivas. Vol 2. 1975.
- Instituto Mexicano del Petróleo, IMP. Energéticos, Demanda del Sector Industrial, Industrias Seleccionadas. Vol. 3
- Instituto Mexicano del Petróleo, IMP. Energéticos, Demanda Regional Análisis y Perspectivas. Vol. 4. 1977.
- Gerencia General de Planeación y Programas, Comisión Federal de Electricidad, (CFE). Método de Planeación Integrada para Sistemas Eléctricos de Potencia. México 1975.
- Andreu, J.L. Estudios de Planeación Energética en México utilizando el Modelo BESOM (Brookhaven Energy Systema Optimization Model). Trabajo realizado para la Comisión de Energéticos, SEPAFIN. México 1975.
- Taylor, M. & McGranahan, G. Patterns of Urban Household Energy Use in Developing Countries: The Case of Mexico City. Institute for Energy Research. State University of New York at Stony Brook. Stony Brook, Dic. 1977.
- Comisión de Energéticos, SEPAFIN. Propuesta de Lineamientos de Política Energética. México 1976.
- Morales, A.A.; Ponce, M.A. y Vázquez, R. M. Cuestiones en Torno a la Situación Energética Nacional. México. Dic. 1977.