

NACIONES UNIDAS

CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL



LIMITADO

ST/ECLA/CONF.7/L.1.10
19 de junio de 1961

ORIGINAL: ESPAÑOL

02

BIBLIOTECA NACIONES UNIDAS MEXICO

SEMINARIO LATINOAMERICANO SOBRE ENERGIA ELECTRICA

Auspiciado por la Comisión Económica para América Latina, la Dirección de Operaciones de Asistencia Técnica y la Subdirección de Recursos y Economía de los Transportes de las Naciones Unidas, conjuntamente con el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos

México, 31 de julio a 12 de agosto de 1961

PROPIEDAD DE
LA BIBLIOTECA

CATALOGADO

METODOLOGIA PARA LA PROYECCION
DE LA DEMANDA ELECTRICA

Documento presentado por la
Comisión Económica para América Latina
Programa de Energía y Recursos Hidráulicos

NOTA: Este texto será revisado editorialmente.

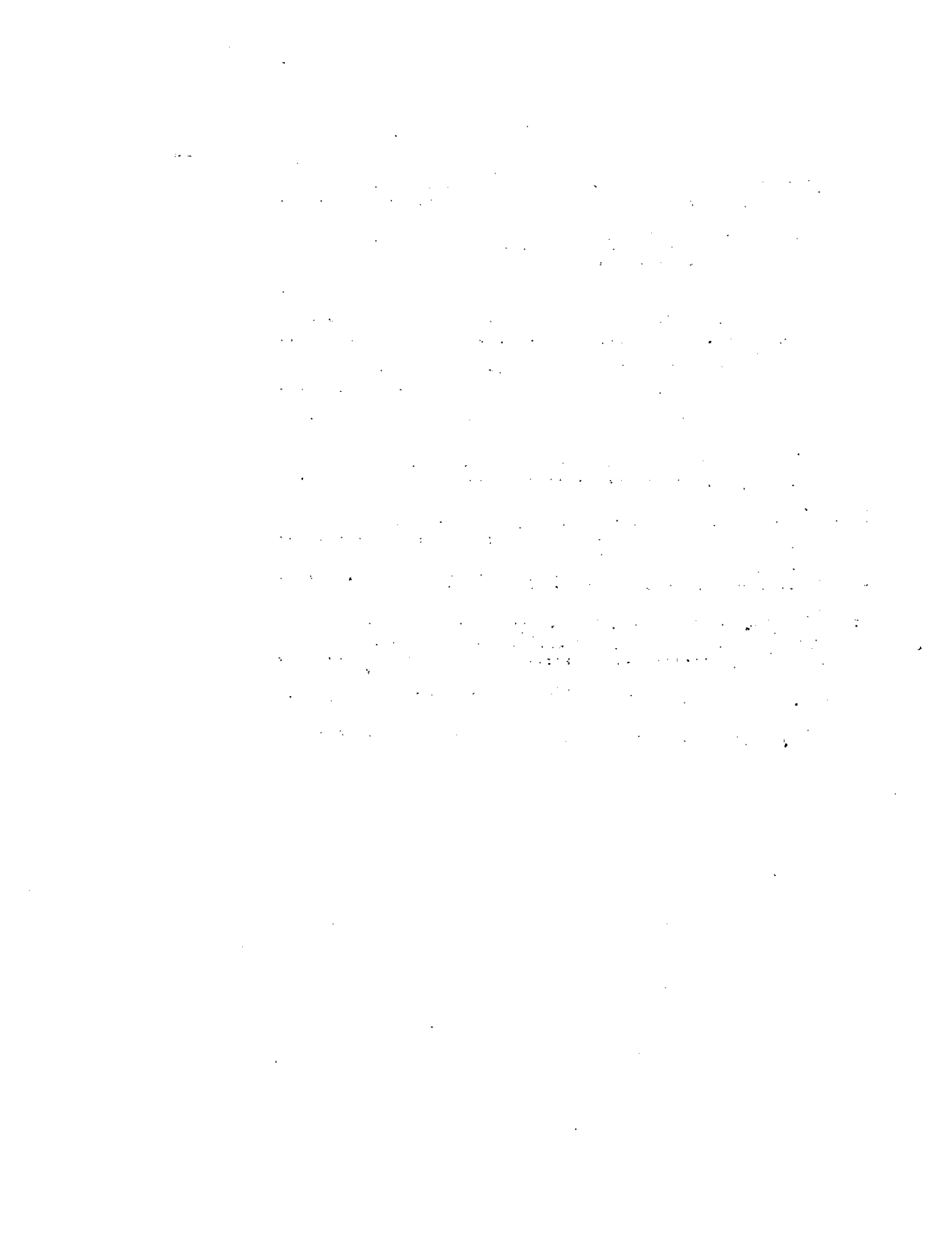
1000

1000

1

Indice

	<u>Páginas</u>
Introducción. <u>La necesidad de formular proyecciones de la demanda</u>	1
I. <u>Clasificación de los métodos de previsión de la demanda</u>	8
1. Métodos de extrapolación en el tiempo	8
2. Métodos de proyección condicional o de segundo orden	13
a) Sector industrial	23
b) Sector doméstico	25
3. Métodos directos y de encuesta	28
II. <u>Interdependencia entre oferta y demanda de energía eléctrica</u>	30
III. <u>Métodos de proyección de la demanda utilizados en América Latina</u>	32
IV. <u>Análisis de la variación del factor de carga</u>	36
V. <u>Proyección y programación en el sector eléctrico dentro de la programación general del desarrollo económico</u>	40
Anexo I. Funciones de proyección de la demanda eléctrica ..	57
Anexo II. Correlación de rangos e inferencia no paramétrica	61



Introducción

LA NECESIDAD DE FORMULAR PROYECCIONES DE LA DEMANDA

La exigencia de que la oferta de energía eléctrica se adelante a la demanda, lo mismo en su forma de bien de consumo final que en su utilización como factor de producción, así como el lapso de tiempo que transcurre entre la decisión de construir una instalación de generación eléctrica y el momento en que entra en operación, hacen que sea necesario prever dicha demanda con anticipación suficiente para considerarla en debida forma.

Desde luego que este problema quedaría solucionado mediante el simple expediente de construir nueva capacidad a un ritmo tan elevado que el avance de la demanda siempre quedase sobrepasado. Pero resulta obvio que este método significaría en la práctica un margen excesivo de reserva y dilapidar los recursos de inversión, ya que las instalaciones estarían funcionando permanentemente con un grado de utilización inferior al óptimo posible. Por consiguiente, no debe recomendarse ese método.

De ahí que la previsión de la demanda futura sea un requisito indispensable para la programación de las inversiones, tanto en el sector eléctrico como en los restantes sectores de la economía. El hecho de que sea más importante en este sector que en otros proviene, no sólo de los elevados insumos de tiempo y de capital que son necesarios para agregar nueva capacidad de producción, sino de la característica peculiar de la generación eléctrica que es la imposibilidad de almacenar el producto. Esta circunstancia le quita la flexibilidad que se da en casi todas las industrias y que les permite absorber las variaciones estacionales o cíclicas al mismo tiempo que se planifica la nueva inversión a base de las tendencias a largo plazo de la demanda.

El hecho de que la proyección de la demanda constituya un requisito de información para poder formular los programas de inversión, tiene como lógica consecuencia que los riesgos y los costos que involucran estos programas ejerzan una influencia directa e importante sobre la metodología a adoptar en la proyección.

/Este aspecto

Este aspecto debe destacarse tanto más cuanto que a menudo se ignora en el análisis y la elección de las técnicas de proyección. Se trata en esencia de un problema integral que tiene todas las características de lo que se ha dado en llamar el problema general de formular decisiones en condiciones de incertidumbre y/o de información incompleta (decision-making theory). En el caso de la programación de inversiones en el sector eléctrico el problema es principalmente de incertidumbre porque se está tratando con condiciones futuras de un mercado.

Como es sabido, la tarea de formular decisiones óptimas en problemas de esta naturaleza se basa fundamentalmente sobre el análisis de los siguientes factores: a) la distribución de probabilidad de los errores posibles; b) el costo de dichos errores. El primero de esos factores tiene que ver esencialmente con un análisis de la metodología de proyección; en cambio, el segundo se deriva directamente del examen de los programas de inversión.

No es el objeto de este trabajo analizar el problema de conjunto, sumamente complejo y cuya solución rigurosa escapa posiblemente a las posibilidades de realización práctica. Lo que se desea es destacar la estrecha interdependencia de la fase de proyección de demanda y de la etapa de programación dentro de un plan eléctrico.

Un programa de expansión o de inversiones en el sector eléctrico implica, en esencia, una triple elección: a) entre un número relativamente elevado de obras posibles contenidas en el "portafolio" disponible de proyectos; b) el dimensionado óptimo de dichos proyectos, y c) la secuencia de su construcción a través del tiempo. En los tres aspectos influye decisivamente el análisis de las proyecciones de la demanda. Supóngase, por ejemplo, que como resultado de este último análisis resultase que existe una gran incertidumbre en lo que respecta a la evolución futura del consumo eléctrico; en tal caso tendrán una mayor atracción aquellos programas de expansión que posean un mayor grado de flexibilidad, verbigracia mediante un escalonamiento en tramos más pequeños de las adiciones de nueva capacidad.

/En términos

En términos generales puede decirse que el valor económico de la flexibilidad de un programa de expansión será directamente proporcional al margen de incertidumbre que rodee la previsión de la demanda futura. Si dicha previsión no incluyese elemento aleatorio alguno es obvio que carecería de objeto incluir un mecanismo de flexibilidad en el programa, o sea prever desde ya la posibilidad de cambios en el mismo.

Como ejemplo adicional de esta interdependencia de la metodología de proyección y del mecanismo de programación, cabe mencionar el aspecto referente al tamaño relativo de los errores de previsión, aspecto éste de suma importancia y que se analizará detalladamente más adelante. El costo de una subestimación de la demanda eléctrica estará dado por la pérdida de bienestar del consumidor doméstico insatisfecho más la disminución de producción (o la pérdida causada por una modificación obligada en la estructura productiva) en el sector industrial. En cambio, el costo de una sobreestimación de dicha demanda estará dado por la dilapidación de recursos de inversión en planta con un grado reducido de utilización. Si la distribución de estos costos fuese simétrica, parecería razonable adoptar como meta para la expansión eléctrica el valor medio o más probable que resultase del análisis de proyecciones, particularmente si se supone la distribución de errores como una curva normal o gaussiana.

Pero, como se argumentará más adelante, existen razones para creer que el costo promedio de la subestimación es mayor que el de la sobreestimación. Si tal fuese el caso, la metodología óptima ya no sería aquella de fijar como meta el valor medio, sino un valor mayor que éste como meta del programa de expansión.

La interdependencia ya señalada se extiende no solamente a la metodología sino al propio tema de la proyección. En efecto, un programa de expansión eléctrica tiene como fin primordial satisfacer en forma adecuada la demanda del consumo expresada por el diagrama de cargas, o sea la curva de potencia demandada en función del tiempo y cuya integral es la energía total consumida en un determinado intervalo.

Para obtener esto es necesario asegurar la consistencia entre ciertos parámetros o características críticas del diagrama de cargas y del sistema productor de energía eléctrica. De ahí que - y esto es lo que importa

/subrayar ahora -

subrayar ahora - la proyección o previsión de algunos elementos del diagrama sea mucho más importante que la de otros, según sean las características del parque de generación. El ejemplo más evidente es la distinción entre un sistema predominantemente hidráulico y otro predominantemente térmico.

En el primer caso el parámetro crítico del diagrama de cargas futuro será su área; en el segundo, su ordenada máxima. Y es en la previsión adecuada del parámetro respectivo donde deberá poner el mayor cuidado el programador ya que en general los errores que cometa en los demás serán de una entidad y de un costo mucho menores.

Finalmente, no debe olvidarse que la demanda de energía eléctrica - como la de cualquier otro bien - no es un valor fijo, sino una función de diversas variables entre las cuales está precisamente el volumen y las condiciones de la oferta.

En otras palabras, esa demanda no está totalmente fuera del control de quien programa la expansión de la capacidad de producción de energía. Por el contrario, la política que se adopte en materia de extensión y promoción del uso de la misma y de sus precios de venta, tendrá una influencia directa en la cantidad demandada. Claro está que habrá además otras variables que determinan la demanda y sobre las cuales el programador no tiene control alguno, por lo menos si actúa simplemente al nivel de la empresa eléctrica.

La relación entre ambos parámetros está dada por el factor de carga, los valores del cual tienen gran influencia sobre la rentabilidad del vendedor de energía eléctrica ya que todo incremento de aquél equivale a una mejor utilización de la inversión fija realizada y, por consiguiente, a un aumento en los ingresos netos. Ello ocurre porque los precios de venta, aun en aquellos casos en que no cubren los costos totales de producción - comprendidos la amortización y los intereses sobre el capital invertido -, son casi siempre superiores a los costos marginales que en el caso de la generación hidroeléctrica son prácticamente nulos y en el caso de la térmica son apenas superiores al gasto equivalente de combustible por unidad de energía.

En la mayoría de los sistemas eléctricos no se encontrará un predominio total de la planta térmica o hidráulica, sino que ambas estarán combinadas en proporciones variables según sean los recursos energéticos disponibles, las características de la demanda y los resultados de los cálculos económicos enderezados a obtener un aprovechamiento óptimo de esos recursos dentro de las limitaciones que circunscriben el problema. En estas condiciones tienen importancia tanto el área como la ordenada máxima del diagrama de cargas. Por ejemplo, en un sistema predominantemente hidráulico los periodos de estiaje introducirán una limitación desde el punto de vista de la oferta de energía, pero también la demanda máxima del diagrama - y, más generalmente, la forma de la curva - será de suma importancia a los efectos de decidir la instalación de unidades destinadas a trabajar en la punta y en la zona superior del diagrama, o sean las llamadas "unidades de punta" (peaking units). Porque no se trata sólo de que la oferta responda adecuadamente a las necesidades de la demanda, sino de que lo haga en la forma más económica posible. Supóngase, a título de ejemplo, que se trata de escoger entre una turbina de gas y una instalación a vapor para llenar las necesidades de la demanda por encima de cierto valor de la potencia.

La turbina de gas tiene un menor costo unitario inicial pero un mayor costo de funcionamiento que la unidad a vapor, o sea la misma posición relativa que, en general, tiene esta última con respecto a la usina hidroeléctrica. En tales condiciones, la economicidad relativa de una y otra depende esencialmente de las horas de funcionamiento. Por consiguiente, un error de cierta entidad en la previsión de la forma y altura del diagrama en el entorno de la punta puede hacer que una decisión en uno u otro sentido resulte antieconómica a posteriori.

Importa destacar la importancia de introducir elementos de probabilidad en el análisis del comportamiento de estas variables, pues si bien se puede llegar, con mayor o menor seguridad, a establecer una línea futura de tendencia para la demanda máxima, ésta en realidad - tal como sucede con los puntos reales respecto a la línea de regresión - oscilará por encima y por debajo de dicha línea de tendencia. En esencia, estas

/desviaciones son

desviaciones son una componente aleatoria cuyo comportamiento es necesario estudiar. Lo mismo sucede con respecto a las puestas fuera de servicio de las unidades de generación, cuya estimación exacta es imposible por lo cual debe acudir también al cálculo de probabilidades. Combinando un gran número de posibilidades con respecto a cada una de estas variables aleatorias - mediante los llamados procesos Monte Carlo - es posible generar un histograma o curva de frecuencia con respecto a los márgenes de reserva disponibles para esquemas alternativos de expansión de la potencia instalada y utilizar esta información para formular decisiones al respecto.

Debido al gran número de posibilidades que es necesario analizar y al cúmulo de operaciones aritméticas requeridas por cada una, se necesita para este tipo de análisis la utilización de computadores electrónicos. En ellos un modelo matemático que "simula" el sistema real genera automáticamente, de acuerdo con las instrucciones pertinentes que reciba del operador, los resultados de las diversas alternativas entre las cuales debe elegirse.

Por otra parte, y volviendo a los aspectos generales del problema, es un hecho conocido que un proceso de desarrollo económico impone cambios en la estructura económica y social de un país, que son inherentes a la esencia del proceso. De tal suerte, para acelerar el desarrollo, la política económica trata de crear condiciones propicias para que se produzcan aquéllos.

Conviene concretar sintéticamente la influencia que sobre la demanda y producción de energía eléctrica tienen dichos cambios de la estructura económica y social de un país. Los principales cambios son: a) el aumento de la productividad general de la mano de obra; b) el cambio en la distribución de la población (proceso de urbanización); c) el cambio en la generación del producto bruto, y d) el cambio en la distribución del ingreso.

Corresponde aclarar desde un principio que las modificaciones estructurales lejos de ser independientes entre sí, están íntimamente relacionadas. De manera que pueden considerarse como efectos finales comunes a

/todos los

todos los cambios, un aumento del bienestar y una estructura de producción con preponderancia de los sectores secundarios y terciarios sobre las actividades primarias.

El aumento de la productividad de la mano de obra se logra mediante una mejor organización del trabajo y un incremento del equipo de capital por persona ocupada. Este fenómeno se hace más evidente en la industria en que las unidades productivas altamente capitalizadas reemplazan a la producción artesanal.

Este aumento de productividad está ligado lógicamente a un cambio en la composición del capital instalado. Se observa que en todos los países en rápido proceso de industrialización los equipos productivos adquieren mayor importancia que los otros componentes del capital renovable, llegando a constituir, en economías muy desarrolladas, una cuarta parte y más del total.

Además, la importancia relativa de los sectores económicos en la formación del producto bruto, sufre variaciones a medida que un país se desarrolla. En los primeros peldaños del proceso se acrecienta la importancia de las industrias, en especial las livianas, en detrimento de la agricultura, y en etapas posteriores el sector de las industrias pesadas y de los servicios pasan a ser los más importantes.

El proceso de desarrollo va acompañado de una concentración de la población en las zonas urbanas. Este fenómeno parece ser parcialmente independiente del proceso mismo, aunque puede ser acelerado en la medida en que se creen nuevos empleos industriales y en el sector de servicios y se aumente la productividad del sector agrícola. Asimismo el incremento del nivel de ingreso por habitante generalmente es concomitante con una redistribución hacia abajo del ingreso, lo que amplía la demanda de alimentos y bienes esenciales en primer término, y luego de servicios y bienes que se relacionan con el bienestar.

I. CLASIFICACION DE LOS METODOS DE PREVISION DE LA DEMANDA

Para simplificar el análisis general del problema y sin perjuicio de examinar en particular algunos de los métodos empleados, se ha considerado conveniente clasificar dichos métodos en tres grupos diferentes, a saber:

- a) métodos de extrapolación en el tiempo;
- b) métodos en los cuales la variación del consumo eléctrico se asocia a una o más variables macroeconómicas, además del tiempo, mediante procedimientos de correlación simple o múltiple, y
- c) métodos directos y de encuesta.

El primer grupo constituye un caso típico de predicción simple o de primer orden, en el cual, de acuerdo con los datos de la experiencia pasada, se determina una relación funcional entre la variable cuyo comportamiento futuro se desea predecir y el tiempo.

En cambio, en los métodos del grupo b) se trata de una predicción de segundo orden, en la cual con posterioridad a la determinación de una relación funcional entre la variable a predecir y otras variables macroeconómicas que se podrían denominar "de primer orden", se hace necesario predecir el comportamiento futuro de estas últimas. De ahí el nombre de predicciones condicionales o de segundo orden que se da a este tipo de proyecciones.

1. Métodos de extrapolación en el tiempo

Se incluyen en este grupo todos aquellos procedimientos en los cuales se ajusta a los datos de la experiencia pasada una determinada curva que se elige entre las integrantes de una familia de funciones. En general, este ajuste se efectúa mediante las ecuaciones normales derivadas de la hipótesis de minimizar la suma de los cuadrados de las desviaciones con respecto a la función que se quiere hallar; dichas ecuaciones permiten calcular los valores de los parámetros que individualizan dicha función dentro de la familia elegida a priori.

Limitándose pues, a la hipótesis gaussiana de los mínimos cuadrados, la discrecionalidad de estos métodos de extrapolación simple en el tiempo comprende fundamentalmente:

/a) la

a) la elección de la forma funcional, o sea de la familia de funciones, con uno o más parámetros, entre las cuales se elegirá una de acuerdo con los cálculos que resuelvan el sistema de ecuaciones normales;

b) el intervalo de tiempo y, en particular, el momento inicial a partir del cual se utilizarán los datos de la experiencia pasada; en otras palabras, el intervalo de variación de la variable independiente del problema.

Con respecto al primer punto, es bien sabido que la forma funcional más usada en la práctica es la exponencial simple con un solo parámetro, o sea con una tasa constante de crecimiento anual.

Se ha observado por parte de algunos autores que el crecimiento anual relativo del consumo en un sistema eléctrico es relativamente grande al principio de la vida del sistema y decrece cuando el sistema envejece. La función del tipo exponencial simple no es adecuada para describir esta evolución y, por tal motivo, Robinson y Daniel han sugerido para el caso del Reino Unido una fórmula en que la tasa de crecimiento anual es decreciente con el tiempo. (Véase el anexo I.)

Debe señalarse a este respecto que la observación comentada sólo sería cierta respecto a sistemas "cerrados", o sea aquéllos a los cuales no se incorporan nuevos consumidores. Pero aun para estos sistemas - que son relativamente excepcionales en la práctica - la fórmula de Robinson y Daniel tiene el grave inconveniente de que el crecimiento relativo anual tiende asintóticamente a uno, lo que es teóricamente inaceptable, pues significaría un estancamiento total en el consumo eléctrico de un sistema, que no se observa ni siquiera en las economías más maduras del hemisferio norte.

Con el objeto de salvar esta objeción se ha elaborado (véase de nuevo el anexo I) una forma funcional del tipo potencial-exponencial en el tiempo y que depende de cuatro parámetros. Esta familia de funciones tiene la particularidad, deseable desde nuestro punto de vista, de que el crecimiento anual relativo de la variable dependiente es decreciente con el tiempo, pero en lugar de tender asintóticamente a uno como en el caso de las funciones de Robinson-Daniel tiende a un valor "normal" mayor que uno, representando así la etapa madura en la vida del sistema eléctrico.

/Lo anterior

Lo anterior tiene más bien un interés conceptual y no debe interpretarse en manera alguna que se recomiende la utilización de este método de proyección en América Latina. Por el contrario, el análisis de la experiencia de los países más desarrollados conduce a suponer que no existe - por lo menos hasta el momento - la tendencia hacia una disminución en la tasa de crecimiento del consumo eléctrico, pese a que la misma se ha anunciado o supuesto en diversas oportunidades. Así por ejemplo, tanto la Comisión Federal de Electricidad de los Estados Unidos como la revista Electrical World asumen implícitamente dicha hipótesis en sus previsiones de demanda eléctrica en ese país hasta 1980. La Comisión estima que dicha tasa sería del orden de 7 por ciento en el quinquenio 1960-65, descendiendo gradualmente hasta 4 por ciento en 1975-80. Los valores correspondientes del pronóstico de la revista mencionada son de 8.5 y 5.75 por ciento. Nótese además que ambas suponen también que no se podrá mantener el ritmo de crecimiento del período 1946-59, que fue algo superior a 9 por ciento anual.

Y sin embargo la adopción de hipótesis de esta naturaleza en el pasado condujo a una subestimación sistemática de la demanda futura; las previsiones oportunamente indicadas por la Comisión Federal de Electricidad en 1954, 1956, 1958 y 1959 fueron en todos los casos inferiores a los resultados reales obtenidos posteriormente en la práctica.

Parece lógico suponer que la razón de esta subestimación sistemática, característica también de otras previsiones norteamericanas, radica en la resistencia a aceptar que la demanda eléctrica pueda crecer sobre períodos bastante largos a un ritmo varias veces superior al de la economía en su conjunto. Se volverá a analizar este punto en detalle en la sección correspondiente a los métodos de proyección indirecta o de segundo orden, donde se tratará el aspecto relativo a la relación entre el sector eléctrico y el ingreso nacional.

Se obtiene una utilización más efectiva de estos procedimientos de extrapolación mediante la introducción de proyecciones del tipo "intervalo" en lugar de tipo "puntual". La modificación en la hipótesis teórica consiste en introducir un término aleatorio en la forma funcional que

/se asume

se asume para la extrapolación. En otras palabras, se supone que para cada valor de la variable tiempo existe una distribución de valores de la demanda eléctrica de acuerdo con una determinada ley probabilística; el valor medio de esta distribución será en general el dado por la función misma, o sea, por ejemplo, por la curva exponencial. Así pues, dicha curva pasa a ser en este planteamiento una curva de valores medios y si se supone además una cierta ley para el término aleatorio - por ejemplo, la distribución normal o gaussiana - se está en condiciones de determinar no sólo la curva de valores medios, sino las curvas de valores extremos correspondientes a un determinado grado de seguridad, verbigracia de 95 por ciento.

Además de la "tendencia" dada por la función de valores medios, estas curvas permiten visualizar los niveles máximos y mínimos probables de los consumos y compararlos así con los planes de expansión de las capacidades de generación, y con los costos por exceso y por defecto de los errores posibles de previsión.

Debe notarse que la introducción de la terminología y los métodos del cálculo de probabilidades en las proyecciones de la demanda eléctrica obedece a un motivo real y no es meramente un refinamiento teórico. Dentro de las características del consumo existen variables - las condiciones meteorológicas por ejemplo - que son típicamente aleatorias y que afectan de manera sustancial los parámetros fundamentales del diagrama de cargas, esto es, la demanda máxima de potencia y el consumo anual de energía.

La elección del intervalo de tiempo y, por consiguiente, del punto de partida a tomar para la determinación de la forma funcional más ajustada a los datos de la experiencia pasada, constituye uno de los puntos de mayor importancia y que a la vez ofrece más dificultades en la aplicación de los métodos de extrapolación.

Se trata en esencia de un compromiso entre dos factores que influyen en sentidos opuestos. Por un lado, parecería más correcto tomar la totalidad del período para el cual se dispone de datos en forma continua en virtud del elemental principio estadístico de incrementar el tamaño de /la muestra.

la muestra a los efectos de obtener resultados que merezcan una mayor confianza. Pero debe notarse que este principio se basa sobre la hipótesis de una homogeneidad estadística en la población de la cual se extraen las muestras respectivas. Y es evidente que esta hipótesis de homogeneidad no se cumple; por el contrario, es precisamente el cambio en la estructura económica el que altera la evolución relativa entre la demanda eléctrica y el desarrollo de otros sectores del sistema.

Desde este último punto de vista resultaría más lógico disminuir el tamaño de la muestra tomando sólo periodos de tiempo recientes y relativamente cortos a fin de que la estructura económica de los mismos sea lo más representativa posible de las condiciones que van a regir en un futuro inmediato.

Esta consideración es tan importante que afecta no sólo la elección del intervalo de tiempo para la determinación de la relación funcional que da el consumo eléctrico, sino la elección o el valor relativo que tendrá el método de extrapolación en la proyección de la demanda. Si existen razones poderosas para pensar que las condiciones futuras distarán bastante de las que caracterizaron el período pasado, la extrapolación tendrá escaso valor. Tal es el caso, por ejemplo, en que se contemplan modificaciones sustanciales en la estructura productiva del sector industrial que, en cambio, no han tenido lugar en los últimos años. Cabe subrayar esta última condición, pues existe a menudo la impresión equivocada de que la extrapolación implica necesariamente asumir una hipótesis estática con respecto a la marcha del mecanismo económico y, en particular, en lo que se refiere a la electrificación de los sectores de la demanda. Es obvio que no es así; la objeción se presenta únicamente cuando hay razones para creer que el ritmo de electrificación en los años siguientes va a ser muy diferente del que prevaleció en el pasado reciente. En otras palabras, el método de extrapolación en el tiempo permite incorporar los factores dinámicos propios del desarrollo eléctrico; en cambio, como es lógico, no permite prever la influencia de cambios en dicha dinámica.

Otro caso en que las condiciones futuras pueden diferir mucho de las pasadas es cuando han existido restricciones en el uso de la energía

/eléctrica, fenómeno

eléctrica, fenómeno muy común en los países de América Latina durante el periodo de postguerra. Es evidente que si se contempla el levantamiento de dichas restricciones, la extrapolación de la demanda pasada servirá a lo sumo para fijar un mínimo razonable para el consumo previsto en el futuro.

2. Métodos de proyección condicional o de segundo orden

Este grupo comprende aquellos métodos en los cuales la variación del consumo de electricidad se asocia a una o más variables macroeconómicas - y también al tiempo - mediante diversas formas funcionales. Como en el caso anterior, la selección de la función se hace en general dentro de una familia de funciones dependiendo de uno o más parámetros y el cálculo de estos últimos se efectúa por el procedimiento de los mínimos cuadrados.

Una primera y fundamental distinción a hacer dentro de este grupo es entre aquellos procedimientos que incorporan explícitamente la variable tiempo y aquéllos que no lo hacen. Del análisis que se realiza en este trabajo surge como conclusión inevitable que sólo aquellos métodos que introducen específicamente al tiempo como variable independiente que influye sobre la demanda eléctrica, merecen ser tenidos en cuenta. Este punto será analizado en detalle más adelante al discutir la interdependencia entre la demanda eléctrica y el proceso de innovaciones y progreso tecnológico tanto en la industria como en el sector doméstico.

La forma más conocida y utilizada de dependencia entre la demanda eléctrica y determinadas variables macroeconómicas es aquélla que vincula dicha demanda con el producto bruto o el ingreso real, según los casos. Para este fin se han utilizado dos tipos diferentes de correlaciones: la primera, entre las tasas anuales de crecimiento de ambas variables; la segunda, entre los niveles absolutos - totales o por habitante - de las mismas. En ambos casos se ha tomado un número determinado de países. Obsérvese en primer término que pese a una pronunciada similitud o complementariedad en los alcances de su empleo, existe una diferencia entre ambos tipos de correlación: mientras que el primero tiene en cuenta la evolución dinámica del consumo eléctrico a través del tiempo - aparte el crecimiento que se podría llamar "normal" o "vegetativo" paralelo al /producto -, el

producto -, el segundo equivale a un análisis estático, a una "fotografía" por así decir, de la relación entre consumo eléctrico e ingreso para un grupo de países en un determinado momento.

Esta distinción no debe hacer olvidar, sin embargo, el hecho de que el segundo tipo de correlación incorpora implícitamente elementos dinámicos por la vía de la evolución del ingreso en los países más desarrollados.

El primer tipo de correlación fue efectuado, por ejemplo, por técnicos del Banco Internacional en un estudio sobre la evolución del consumo eléctrico en que se utilizaron datos para 28 países y en que se llegó a la relación siguiente que corresponde a la línea de regresión obtenida: que la tasa promedio anual de crecimiento del consumo eléctrico era igual a 2.6 por ciento más 1.3 veces la tasa de crecimiento del ingreso real. Nótese que tomando esta relación lineal entre ambas tasas, el ritmo de aumento de demanda eléctrica que corresponde a la duplicación cada 10 años - o sea un 7.2 por ciento anual - sería consistente con una tasa de incremento de 3.5 por ciento anual del ingreso real.

En el cuadro 1 se observan las tasas de crecimiento de la demanda eléctrica y del producto bruto en los países de América Latina durante el período 1949/58. Se observa que el coeficiente de correlación convencional correspondiente al análisis de regresión simple es sumamente bajo, mientras que los coeficientes de rank correlation son ambos significativos. En otros términos: mientras existe una relación significativa entre el ordenamiento de ambas tablas, la línea de regresión simple no constituye un procedimiento muy adecuado para formular proyecciones de demanda eléctrica, aun en el caso de que se conozca con bastante exactitud el ritmo futuro de expansión del sistema económico.

El segundo tipo de correlación se ha empleado generalmente en los estudios de la CEPAL referentes a energía, conjuntamente con la proyección de consumos específicos por sectores y ramos de producción, y con el agregado de la experiencia histórica, donde ésta era asequible o significativa. Debe destacarse que en otro documento de la Secretaría para este Seminario ^{1/} se introducen elementos adicionales al comparar dos

^{1/} Véase "Estado actual y evolución reciente de la industria de la energía eléctrica en América Latina" (ST/ECLA/CONF.7/L.1.01).

Cuadro 1

PRODUCTO BRUTO Y GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA
 (Tasas promedio de crecimiento para el periodo 1949/58)

Pais	Producto bruto	Generación eléctrica
Bolivia	0.75	4.7
Argentina	1.6	6.3
Paraguay	2.5	11.4
Chile	2.8	8.0
Uruguay	2.8	9.1
Cuba	3.4	8.7
Honduras	3.6	5.6
Panamá	3.9	9.5
Guatemala	4.0	8.5
Colombia	4.2	11.4
Brasil	5.0	11.0
Ecuador	5.0	12.5
El Salvador	5.8	11.7
Costa Rica	5.8	12.5
México	7.1	8.5
Nicaragua	7.9	6.8
Venezuela	8.1	19.4

Coefficiente de correlación0.56

"Rank correlation" tanto según coeficientes de Spearman como de
 Kendall significativa

líneas de regresión correspondientes a un mismo grupo de países para dos periodos de tiempo diferentes. El resultado, sumamente significativo, fue que tanto el grado de correlación como el coeficiente de ambas rectas - coeficiente que es igual a la elasticidad consumo eléctrico-ingreso real - resultaron ser prácticamente iguales, pero en cambio la línea de regresión correspondiente al período más reciente se encuentra por encima de la anterior, con un desplazamiento vertical del orden de un 60 por ciento de las ordenadas de la anterior. El interés de esta comparación radica en que el desplazamiento vertical de dicha línea de regresión, en el período considerado, que fue de 7 años, puede tomarse como un índice del ritmo de electrificación de la economía, o sea del grado en que ha aumentado el consumo eléctrico promedio para un mismo nivel de ingreso. En otros términos, en el desplazamiento vertical de esta línea de regresión se muestra la dinámica propia del proceso de electrificación.

De acuerdo con este análisis y en términos del diagrama consumo eléctrico-ingreso real, el incremento de la demanda eléctrica de un país determinado puede ser descrito como el resultado de dos movimientos concurrentes a través del tiempo o, en términos geométricos, por la suma de dos vectores: en primer término, un movimiento a lo largo de la línea de regresión consumo-ingreso correspondiente al instante inicial del período considerado y que corresponde al aumento en el ingreso; en segundo término, un desplazamiento vertical de la línea de regresión misma, relacionado con el avance tecnológico y la sustitución que hace la electricidad de otras formas menos avanzadas de la energía.

Claro está que ello no significa que ambos movimientos sean independientes; por el contrario, las innovaciones y el avance tecnológico que explican en gran parte el ritmo creciente de electrificación por unidad de producto y de ingreso, son a su vez unas de las principales fuerzas dinámicas de la inversión y del proceso general de desarrollo económico.

Otro ejemplo de lo inadecuado que resulta utilizar una simple relación lineal entre el consumo eléctrico y el producto bruto para la proyección a corto plazo de la primera, está dado por la inercia de este

/consumo aun

consumo aun en procesos de recesión económica acentuada. Así en los Estados Unidos entre 1929 y 1933 el producto bruto disminuyó en un 40 por ciento mientras que el consumo eléctrico disminuyó solamente en 10 por ciento. En la recesión europea y norteamericana de 1958 el consumo de electricidad aumentó aun en países como Bélgica y los Estados Unidos en que en el punto más bajo de la fase descendente del ciclo la caída de la producción industrial llegó a ser de un 7 por ciento. En América Latina, entre 1955 y 1959 la generación de electricidad se incrementó en la Argentina y Chile a un ritmo anual de 9.1 y 4.6 respectivamente, pese a que el producto bruto por habitante se redujo durante dicho período.

En los párrafos anteriores se ha señalado que no debe excluirse al tiempo entre las variables a considerar en proyecciones indirectas o de segundo orden. Aparte esto existe desde luego el problema que plantea toda proyección condicional, o sea que, además de la determinación de la relación funcional entre las variables endógenas y exógenas del sistema, habrá que predecir el comportamiento de estas últimas. Y no es en manera alguna evidente que la predicción de las variables exógenas sea más sencilla o se pueda realizar con más confianza que la de las endógenas. En muchos casos los errores cometidos en las proyecciones del producto bruto son más serios que los cometidos en las del consumo eléctrico. Ello ha sucedido incluso en casos en que la segunda se basó sobre la primera lo que pone de manifiesto, desde luego, fallas serias en lo que se refiere a la validez de las hipótesis hechas sobre la relación funcional o estructural entre ambas.

El grado en que las proyecciones de demanda eléctrica pueden ser mejoradas con respecto a una simple extrapolación en el tiempo si no hay cambio de estructura, por ejemplo, mediante la incorporación al análisis de determinadas variables macroeconómicas, depende pues fundamentalmente de la confianza con que pueda predecirse el comportamiento futuro de dichas variables, tales como el ingreso real, la producción industrial y la urbanización.

Sin embargo, no se deben exagerar los requerimientos en este aspecto. Aun cuando el margen de incertidumbre con respecto a la evolución futura
/del producto

del producto bruto sea muy grande, la incorporación de esta variable al análisis de la demanda eléctrica asegura cierta consistencia entre las metas del plan de expansión eléctrica y el programa de desarrollo de otros sectores de la economía. En otras palabras, una búsqueda racional de la distribución óptima de los recursos de inversión requiere un análisis previo de la relación entre demanda eléctrica y crecimiento del producto y del ingreso, sobre todo en un periodo en que se prevén cambios de estructura.

En términos generales, se pueden proyectar los dos tipos de demanda eléctrica en función del crecimiento del producto bruto por sectores y en función del ingreso personal disponible de la población urbana. Sin embargo, es conveniente puntualizar algunos problemas respecto a estas formas de proyección.

En la medida en que la provisión de energía eléctrica resulte un requisito tecnológico indispensable y relativamente preciso para el funcionamiento de los equipos de capital, la proyección resulta de una operación casi matemática en tanto se conozca el crecimiento de la producción de los sectores industriales, y los coeficientes correspondientes de insumo eléctrico.

La demanda derivada de lo que se llama bienestar, y que en primera aproximación puede estimarse en función del crecimiento del ingreso personal disponible de la población urbana, presenta grados de flexibilidad mucho mayores que la anterior.

En los primeros pasos del proceso de desarrollo el ingreso personal disponible se destina a incrementar el nivel de alimentación y de vestuario y en sus etapas posteriores se incrementa la demanda de bienes duraderos para el hogar que requieren un consumo apreciable de energía eléctrica, por encima de la que se gasta en mera iluminación.

Sin embargo, este proceso puede acelerarse en forma notable por el efecto de demostración de los países más desarrollados y porque el crecimiento industrial se dedica en parte apreciable a la producción de dichos bienes duraderos, primero para sustituir importaciones y luego para atender la nueva demanda creada por el incremento del ingreso.

/En consecuencia,

En consecuencia, una parte apreciable de la demanda derivada del aumento del bienestar estará estrechamente vinculada a la producción de los bienes durables para el hogar y a la capacidad de compra de estos bienes.

El crecimiento de la población urbana constituye un factor autónomo de la demanda eléctrica cuya vinculación con el nivel de ingreso no es muy estrecha. Este aumento de la población implica un crecimiento del área que abarcan las ciudades y, por lo tanto, un aumento del suministro del servicio público, además de una mayor demanda de energía para las viviendas.

Los factores mencionados - crecimiento del ingreso personal disponible, aumento de la población urbana y lógicamente una distribución más equitativa del ingreso - son los que principalmente afectan a la demanda de energía eléctrica que se ha distinguido aquí como derivada del bienestar.

En términos generales, la proyección de las necesidades de energía eléctrica derivadas del aumento del bienestar no tienen una relación que las ligue en forma matemática con el crecimiento económico, por lo menos dentro de ciertos límites. El suministro de energía para este tipo de consumo depende en la práctica de decisiones de tipo político, tal como ocurre con otros servicios urbanos, provisión de agua potable, desagües urbanos, servicios de educación, etc.

El problema se presenta más bien como un estudio de compatibilidad entre inversiones "productivas" e inversiones "sociales" frente a una tasa de crecimiento, una política social, un estado más o menos deficitario del suministro de esos servicios y una cuantía dada de recursos.

Dentro del grupo de métodos que se están analizando se encuentran aquéllos que contienen variables macroeconómicas pero de un menor grado de agregación que el producto bruto o el ingreso nacional. Un ejemplo lo constituyen fórmulas del tipo mixto con un factor potencial con respecto al índice de producción manufacturera (el exponente está comprendido generalmente entre 0.3 y 0.5) y otro factor del tipo exponencial en el tiempo. En otros términos, se incorpora a las fórmulas de extrapolación simple en el tiempo una tendencia dinámica específica relacionada con la expansión del sector manufacturero de la economía.

Diversos estudios estadísticos - por ejemplo, los que ha llevado a cabo Electricité de France - han demostrado hasta qué punto las irregularidades de la curva de consumo eléctrico en función del tiempo, $C(t)$, se atenúan si se refiere al cociente $C/I^{0.4}$. Así, mientras la dispersión de los crecimientos relativos anuales de la primera es de 5 por ciento, la del cociente mencionado anteriormente se reduce a casi 2 por ciento. ^{2/}

En los Países Bajos se ha empleado la fórmula

$$E_i = P^3/L^2$$

donde:

E_i es el consumo industrial de electricidad

P es el índice de producción industrial

L es el índice de empleo

todos con base 1 en 1938. Esta fórmula se basa en el principio de que el consumo industrial de electricidad varía directamente con el nivel de la producción industrial y con el cuadrado de la productividad de la mano de obra.

Ese tipo de fórmula que introduce la productividad, se ha empleado también en los Estados Unidos al nivel de la empresa.

Una de las ventajas de introducir explícitamente el índice de producción industrial en la metodología de proyección de la demanda eléctrica para los países de América Latina la constituye el hecho de que este índice es menos imprevisible y errático que el de la producción bruta o del ingreso, debido a la influencia que sobre estas últimas variables ejercen las acentuadas fluctuaciones en el volumen y los precios de la producción primaria.

La participación del consumo del sector industrial y minero en el total del consumo eléctrico varía considerablemente, como se observa en el cuadro 2, siendo para el conjunto de América Latina del orden del 55 por ciento.

^{2/} Estos resultados corresponden a una muestra hecha en Francia. También se han utilizado, especialmente en el caso de economías centralmente planificadas, los consumos específicos de las diversas ramas manufactureras y mineras expresados en kWh por unidad física del producto.

Cuadro 2

AMERICA LATINA: PARTICIPACION DEL CONSUMO DEL SECTOR INDUSTRIAL Y MINERO
 SOBRE EL TOTAL DEL CONSUMO ELECTRICO

(Porcentajes)

	1938	1949	1955	1959
<u>Primer grupo</u>				
Argentina	53.1	56.3	54.5	(57.9)
Cuba	...	53.5	45.6	44.8
Chile	83.4 a/	80.3	75.3	74.5
Uruguay	...	(52.0)	48.7	(45.4)
Venezuela	(78.9)	(75.6)	(71.1)	(64.3)
<u>Segundo grupo</u>				
Brasil b/	42.1	46.8
Colombia	33.4	39.7	43.3	43.9
Costa Rica	...	24.6 c/	19.6	14.0
México	(62.4)	58.0	57.3	(56.5)
Panamá d/	...	26.2	32.7	30.6
Perú	76.8 a/	78.8 e/	80.6 f/	(79.9)
<u>Tercer grupo</u>				
Bolivia	(86.8)	77.9	74.5	(66.6)
Ecuador	...	21.4 e/	38.0	(41.1)
El Salvador	...	52.7 c/	37.5	37.1
Guatemala	...	49.0 c/	47.9	45.5
Honduras	...	83.0 c/	76.4	67.1
Nicaragua	...	83.3 c/	79.5	65.4
Paraguay	...	58.6	51.0	46.5
<u>América Latina</u>	<u>65.6 g/</u>	<u>62.0 h/</u>	<u>54.0</u>	<u>54.9</u>

a/ 1940.

b/ Véase nota p/ del Anexo Estadístico L.

c/ 1950.

d/ No incluye la Zona del Canal por carencia de informaciones.

e/ 1951.

f/ 1954.

g/ Incluye Argentina, Chile, Venezuela, Colombia, México, Perú y Bolivia.

h/ Excluye Brasil.

/Aparte la

Aparte la influencia directa que tiene la industrialización en el incremento de la demanda eléctrica, existe también una importante influencia indirecta a través de la urbanización debido a la estrecha relación que hay entre el proceso de desarrollo industrial y el crecimiento de las zonas urbanas.

En general, tanto en los países desarrollados como los menos avanzados, la importancia del sector industrial como consumidor de energía eléctrica supera la que tiene como generador de ingreso. Esto es particularmente cierto en los países de bajos niveles de ingreso debido a que la electrificación del sector doméstico está muy limitada por esa razón. Por consiguiente, la expansión de la demanda eléctrica en esos países es absorbida en gran parte por el desarrollo y la electrificación del sector industrial.

Debe señalarse que el uso de fórmulas binarias con dos factores, uno de los cuales es potencial con respecto al índice de producción industrial y el otro exponencial en el tiempo, no implica asumir un estancamiento en el consumo específico (kwh por unidad de producto) del sector manufacturero. La tendencia creciente de este cociente y el incremento del consumo específico por servicio doméstico conectado están comprendidos dentro del término de crecimiento que contiene a la variable de tiempo.

Para aquellos países en que existen estadísticas adecuadas es posible introducir una mayor desagregación en los métodos de proyección de la demanda eléctrica estudiando en particular el comportamiento de los dos grandes sectores del consumo: el industrial y el doméstico. Aparte dicha desagregación, esto tiene la ventaja de que permite analizar con atención la evolución del consumo eléctrico en sus dos formas o sea como bien de consumo final y como factor de producción.

La demanda eléctrica como bien de consumo final depende fundamentalmente del nivel de ingreso personal disponible, de su distribución y composición, y del grado de urbanización y precios relativos de artefactos eléctricos. La demanda como factor productivo depende del volumen de la producción industrial, de su grado de electrificación en cada sector y de la estructura del parque industrial.

/Ularo está

Claro está que existe una estrecha interdependencia entre las variables que condicionan ambas partes de la demanda eléctrica. Así, el nivel de insumo eléctrico es uno de los elementos determinantes de la productividad del proceso manufacturero que influye a su vez sobre el nivel de ingreso por habitante de la comunidad. Es interesante hacer notar que la experiencia de algunos países industrializados del continente europeo, así como el caso de los Estados Unidos parecen indicar que el incremento en la productividad del sector manufacturero - producción física por hombre-hora trabajado - se produce en una proporción similar al aumento en el consumo específico de energía eléctrica en el mismo sector. La importancia de esta observación radica en que el mayor porcentaje de crecimiento futuro del ingreso debe obtenerse - y así lo ha sido en la experiencia de la postguerra - no tanto por el aumento de la fuerza laboral, sino por el aumento en la productividad por persona ocupada.

a) Sector industrial

El aumento del consumo de electricidad como factor productivo, o sea la demanda del sector industrial, se produce por la acción superpuesta de tres causas diferentes, que conviene distinguir:

i) el aumento de la producción industrial que, aun para un valor constante en el coeficiente de intensidad de consumo eléctrico (kWh por dólar de valor agregado) del sector, conducirá a un incremento paralelo en el consumo de electricidad;

ii) el proceso de electrificación en cada uno de los sectores industriales que tiende a aumentar dicho coeficiente de intensidad, sea por un mayor grado de mecanización del proceso o por la utilización de hornos eléctricos que sustituyen a hornos convencionales (caso de la industria siderúrgica), etc.

iii) la modificación en la estructura industrial que conduce generalmente a un aumento en la participación relativa de industrias con altos coeficientes de intensidad de consumo eléctrico, como, por ejemplo, las industrias electro-metalúrgicas y electro-químicas, o la industria pesada en general.

/La importancia

La importancia de los cambios estructurales en lo que respecta al consumo específico o coeficiente promedio del sector industrial puede verse en las diferencias significativas que existen entre los coeficientes para diversas industrias. Así, el consumo eléctrico por unidad de valor agregado en algunas industrias electro-metalúrgicas es de 50 y hasta 100 veces superior al de industrias alimenticias o textiles. En general, son precisamente las industrias "dinámicas" - o sea aquellas que se introducen y crecen a un ritmo mayor durante el proceso de desarrollo económico - las que tienen coeficientes más altos de insumo eléctrico.

De ahí que en los países más avanzados el coeficiente promedio de intensidad de consumo eléctrico industrial sea bastante más alto que en los países menos desarrollados y que gran parte de ese consumo eléctrico corresponda a las industrias metalúrgicas y química.

La mayor parte de los procesos industriales más comunes en los países menos desarrollados o sea la industria liviana requieren menos de 1 kWh por dólar de valor agregado mientras que en la industria química, petroquímica, siderúrgica, este coeficiente es en general superior a uno llegando hasta 5 y a veces hasta 10 kWh por dólar en el caso de procesos que utilizan hornos eléctricos.

Las consideraciones precedentes revelan la importancia de las modificaciones estructurales del sector industrial en el consumo eléctrico total - especialmente cuando el consumo industrial es a su vez preponderante en el consumo total - y la necesidad de tener en cuenta en las proyecciones para cada país cuando se establecen industrias con alta intensidad de uso eléctrico.

Más aún, precisamente para estos consumidores masivos de electricidad son de importancia las tarifas de venta de la energía ya que su costo constituirá un porcentaje importante del valor agregado por manufactura. Por esta razón, la elasticidad-precio de la demanda será mucho mayor que para el resto de los consumidores, tanto industriales como domésticos, y quien programe el desarrollo eléctrico no podrá ignorar el problema de la política de tarifas en relación con la proyección de la demanda.

/Se volverá

Se volverá sobre este punto al analizar la interdependencia entre la oferta y la demanda eléctricas.

b) Sector doméstico

El análisis y las proyecciones de demanda en el sector doméstico presentan menos dificultades debido a la mayor homogeneidad estadística de este sector comparada con el industrial. Los dos parámetros fundamentales que determinan el consumo total - o sea el número de servicios conectados y el consumo promedio por servicio - están estrechamente vinculados al nivel de ingreso y a su distribución.

En ausencia de restricciones en la oferta, el aumento previsto en el número de servicios estará estrechamente vinculado con el número de permisos de construcción autorizados en el pasado reciente dentro del área que sirve la empresa eléctrica respectiva. La evolución del consumo promedio por servicio conectado ofrece quizás mayores dificultades; uno de sus índices determinantes será el ritmo de venta de aparatos eléctricos para el hogar, pues no debe olvidarse que la demanda de energía eléctrica es en este sentido una demanda "derivada", que exige una inversión previa del comprador.

A los efectos del análisis del consumo eléctrico del sector doméstico hay que distinguir entre su utilización para i) iluminación; ii) calor (cocina, agua, calefacción), y iii) uso mecánico (radio, televisión, refrigeración, limpieza).

Como es natural, estos tres componentes de la demanda eléctrica del sector doméstico tienen diferentes elasticidades-ingreso y elasticidades-precio. Con respecto a estas últimas nótese que mientras para i) y iii) no existen prácticamente sustitutivos de la electricidad, en lo que toca a los usos comprendidos en ii) la energía eléctrica debe competir con otras formas de energía como el gas y el fuel-oil y aun en muchos casos en América Latina con el kerosene y la leña o el carbón de leña.

En lo que respecta la elasticidad-precio de la demanda eléctrica ha sido muy difícil incluso para organizaciones estadísticas tan eficientes como la oficina Central de Planificación de los Países Bajos, la determinación de relaciones entre el consumo y el precio de venta de la electricidad. Como el consumo ha aumentado y el precio real de la
/energía eléctrica

energía eléctrica ha disminuído constantemente, existe una correlación inversa natural, pero ello no significa en forma alguna que esta relación pueda identificarse con la curva de demanda en un momento dado.

Sin embargo, existen razones para creer que dicha elasticidad-precio es relativamente alta, sobre todo para los consumos del grupo ii) donde existen fuentes competitivas de energía. Así, por ejemplo, el consumo promedio residencial en la zona servida por la TVA en los Estados Unidos fue durante el año fiscal de 1960 de 8 800 kWh, con un precio promedio de 0.99 centavos por kWh, mientras que los valores promedios correspondientes a todo el país fueron para el mismo período de 3 700 kWh y 2.5 centavos.

Esta diferencia tan notable entre los consumos promedios por servicio doméstico conectado aun en un país donde la utilización de aparatos eléctricos para el hogar está tan difundida como en los Estados Unidos revela el gran margen que existe para el incremento del consumo eléctrico por habitante y es una de las razones por las que no se prevé una saturación relativa en dichos valores.

No debe olvidarse que la intensificación en el ritmo de electrificación del sector doméstico depende no tanto de la tasa de incremento del ingreso como del nivel absoluto y el grado de distribución del mismo, principalmente porque esa electrificación significa gastos iniciales relativamente considerables con respecto al ingreso disponible de las clases de bajos y medianos ingresos. De ahí que no deban esperarse progresos muy espectaculares en el consumo eléctrico doméstico por habitante incluso en aquellos países menos avanzados que están creciendo a un ritmo muy rápido, por lo menos hasta tanto no se llegue a un nivel medio de ingreso relativamente satisfactorio.

Si se compara la evolución del consumo eléctrico total con el sector industrial se concluye que tanto en los Estados Unidos como en Europa el consumo eléctrico no-industrial - que comprende además del doméstico, los consumos comercial, agrícola, municipal y el transporte - ha aumentado a un ritmo mayor que el industrial. Lo mismo ha sucedido en América Latina, región en que la participación del consumo industrial ha disminuído desde 65 por ciento en 1938 hasta 55 por ciento en 1959. En los Estados

/Unidos se

Unidos se prevé que esta tendencia persistirá; así, mientras el consumo residencial de electricidad representa en la actualidad el 28 por ciento del total, se estima que este porcentaje llegue al 40 en 1980 debido a que el ritmo de electrificación doméstica está superando al del sector industrial. Parte de la explicación de este fenómeno debe encontrarse en el hecho de que un cierto número de progresos logrados en la productividad industrial - automatización mediante mecanismos de control automáticos, por ejemplo - se obtienen mediante un consumo adicional de electricidad relativamente pequeño respecto al ahorro de mano de obra, razón por la cual cabe esperar que en el futuro, a diferencia del pasado, la productividad del sector manufacturero aumente en mayor proporción que el consumo específico de energía eléctrica.

Otro tipo de proyección de segundo orden lo constituye el uso del modelo de insumo-producto para un sistema económico dado, tal como se hizo, por ejemplo, en el caso de Italia. Una vez obtenidos los coeficientes de requerimiento directos e indirectos mediante la inversión de la matriz $(I-A)$, se obtendrán valores individuales de producción - entre ellos el de electricidad - multiplicando las líneas respectivas de dicha matriz inversa por el vector de demanda final previsto para el año para el cual se proyecta. Así, en el caso italiano, se obtuvo un aumento previsto en 5 años del 63 por ciento en el consumo de electricidad, correspondiendo a un incremento en el mismo período de 25 por ciento en el producto bruto.

Es indudable que la aplicación del modelo de insumo-producto significa una utilización mucho más racional de los datos económicos que la simple correlación entre consumo eléctrico y producto bruto. Pero no deben olvidarse las muy serias dificultades que se plantean en este caso y que pueden distorsionar los resultados obtenidos. En primer término de nuevo se presenta aquí el problema de las proyecciones de segundo orden; aun conociendo con exactitud la matriz de coeficientes de requerimientos directos e indirectos, habrá que conocer o estimar también no sólo el volumen total de la demanda final, sino su distribución por sectores, o para decirlo en términos geométricos, debe conocerse el módulo y la dirección del vector de demanda final. Y una estimación de esta naturaleza es sumamente difícil.

/Pero se

Pero se da además el problema de los cambios en los coeficientes tecnológicos, tanto aquellos que son debidos a modificaciones o mejoras en los procesos de fabricación y que alteran en consecuencia el número de kWh consumidos por unidad de producto, como los que se originan en cambios en la relación de precios unitarios del sector eléctrico y los diversos sectores fabriles, ya que estos cambios afectan también a los coeficientes de la matriz de Leontief.

Estas dificultades, unidas al hecho de la escasez de estadísticas adecuadas en la mayor parte de América Latina obligan a prescindir del modelo de insumo-producto en este análisis de las proyecciones de la demanda eléctrica en sus países.

3. Métodos directos y de encuesta

Este grupo comprende en esencia aquellos procedimientos de consulta directa con las empresas industriales - al menos con todas las importantes y llevando a cabo además un muestreo de las otras - y un muestreo de las tendencias probables de los consumidores domésticos.

Sin perjuicio de complementar en muchos casos los métodos indirectos que emplean fórmulas matemáticas y que han sido analizados precedentemente, estos otros métodos constituyen en algunos países la base para las proyecciones de la demanda eléctrica. Tal es el caso de los Estados Unidos, país en que de aparte disponerse de una excelente base estadística, esta tarea se ve facilitada debido a que la mayor parte de la industria de generación eléctrica está en manos de empresas que abastecen zonas geográficas relativamente limitadas y homogéneas y están en condiciones de analizar y conocer con bastante exactitud la situación de su propio sector de influencia.

Normalmente, un grupo de compañías - incluyendo compañías privadas y estatales - que tiene sus centrales de generación dentro de una cierta región geográfica, interconecta las mismas y forma un pool dentro del cual distribuye la generación y distribución de electricidad en forma de beneficiar a todos sus integrantes. En estas condiciones, cada uno de los miembros del pool tiene la responsabilidad de proporcionar al grupo coordinador las características del diagrama de cargas actual y previsto para un futuro próximo de su propio sector consumidor. Estos datos son luego reunidos para determinar el diagrama total y la carga máxima prevista del sistema integrado, parámetro este último que es el de mayor importancia ya que la generación en los Estados Unidos es predominantemente de origen /térmico. A

térmico. A su vez las previsiones de los diversos pool son integradas para todo el país en las reuniones semestrales del Electric Power Survey Committee del Edison Electric Institute.^{3/}

Dentro del muestreo estadístico realizado por cada compañía en su sector consumidor deben destacarse las siguientes características como de especial importancia: a) el número de casas en construcción; b) los planes de los constructores en cuanto a la instalación de aparatos eléctricos, calefacción eléctrica y aire acondicionado. En lo que se refiere a los aparatos eléctricos para el hogar, se distingue cuidadosamente entre el crecimiento normal de su instalación y el crecimiento acelerado debido a programas especiales de ventas, incentivos varios, etc. aspecto éste de gran importancia dentro del sistema económico norteamericano. Muchas de las compañías eléctricas privadas y públicas ejecutan programas propios de promoción de determinados aparatos eléctricos con el propósito deliberado de rellenar los huecos del diagrama de cargas, mejorando así el factor respectivo y, consecuentemente, la rentabilidad de la empresa. Se estima, por ejemplo, que en algunos casos un incremento del uno por ciento en el factor de carga del sistema aumenta hasta en un 6 por ciento los beneficios netos de generación.

También dentro de este grupo, aunque de naturaleza totalmente diferente, pueden incluirse los procedimientos empleados en países de economía centralmente planificada y en particular en la URSS, donde la proyección del consumo de energía eléctrica es parte del "Plan" respectivo. A estos efectos se emplean lo que denominan "normas" de consumo, o sea los consumos específicos por industria en kWh por unidad de producto, no sólo en términos actuales, sino previstos para el futuro teniendo en cuenta las tendencias del desarrollo tecnológico.

Podría pensarse que esta tarea de proyección se complicaría enormemente, aun en un sistema económico totalmente planificado, si se tiene en cuenta el sector consumidor privado de carácter autónomo y al que es más difícil fijarle normas de consumo. Sin embargo, como en estos países aún no se ha alcanzado un nivel de satisfacción de la demanda potencial de la mayor parte de artículos de consumo, no se plantea habitualmente el problema creado por una posible saturación del nivel de la oferta. Será apenas en los próximos años y en aquellos países en que el nivel de vida ha aumentado sensiblemente, donde se complicará en grado sumo el problema de la determinación de los volúmenes de producción y la política de precios en los sectores de bienes de consumo.

^{3/} Véase "Problemas que ofrece la proyección de la demanda y de la capacidad generadora necesario" (ST/ECLA/CONF.7/L.1.15).

II. INTERDEPENDENCIA ENTRE OFERTA Y DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Existe una estrecha relación entre los dos términos de la ecuación de equilibrio de la energía eléctrica, que el acento puesto sobre los aspectos de proyección de la demanda tiende a oscurecer. Sucede así en algunos casos que las proyecciones resultan verificadas casi exactamente en la realidad aun cuando las bases sobre las cuales se construyeron hayan sido totalmente equivocadas. Y la razón de que así haya sucedido no es que la proyección fuese buena, sino que la empresa o empresas encargadas del suministro eléctrico adaptaron su política de expansión y de precios a esa proyección y la demanda se ajustó a su vez a la oferta.

Tal es claramente el caso de aquellos países - y son muchos en América Latina - en que rigen restricciones en el consumo de energía eléctrica, tanto en la conexión de nuevos servicios como en la utilización de conexiones existentes. La demanda está así artificialmente comprimida y se limita a ocupar de inmediato las expansiones de la capacidad instalada. Así pues, muy poco puede deducirse del comportamiento de la demanda en tal situación, salvo concluir que supera en todo momento lo que la generación puede ofrecerle. En estos casos, y hasta el momento en que la demanda potencial insatisfecha quede cubierta, el análisis de la proyección de la demanda total es de escasa utilidad a los efectos de determinar la política de expansión de la capacidad instalada de generación. Nótese que es incorrecto en estos casos, a los efectos de determinar la capacidad instalada del futuro, añadir a un monto estimado actual del déficit respectivo una extrapolación del crecimiento de la demanda en los últimos años, ya que esta última pudo haber sido anormalmente baja o alta con respecto al comportamiento futuro una vez liberada de su dependencia directa de la oferta.

Otro aspecto de esta interdependencia lo constituye la política de precios en el sector eléctrico, aspecto éste de suma importancia que se trata más a fondo y particularmente en otro documento presentado por la Secretaría al Seminario.^{4/} Ello es tanto más importante cuanto que en esta materia ha habido cambios fundamentales en algunos países latinoamericanos durante los últimos años, cambios que pueden afectar el comportamiento futuro de la demanda con relación a la experiencia más reciente.

Es un hecho notorio que las tarifas eléctricas en los países de América Latina han estado muy a la zaga del proceso inflacionario general, o sea que, en términos reales, el costo de la energía eléctrica ha descendido. En

^{4/} Véase ST/ECLA/CONF.7/L.1.30.

términos cualitativos esto no es en manera alguna excepcional, pues la industria eléctrica en general constituye un ejemplo típico de aquellos sectores industriales en que la productividad aumenta a un ritmo mayor que el del resto de la economía, y en particular que el del sector manufacturero, lo que permite un retraso relativo de las tarifas con respecto al índice general de precios sin que ello afecte sensiblemente los niveles de utilidad de las empresas respectivas.

Sin embargo, en algunos países latinoamericanos este retraso fue más considerable de lo que podía esperarse, sobre todo teniendo en cuenta que al mismo tiempo la productividad del sector - y en particular el consumo específico de combustible en las centrales térmicas de generación - permanecían estacionarios o mejoraban muy levemente.

Este fenómeno ha sido posible en general por la vía del subsidio a los combustibles, por ejemplo mediante la política de los cambios múltiples o mediante el subsidio directo o la descapitalización de las empresas productoras de energía eléctrica.

En lo que se refiere a este estudio interesa particularmente la relación entre el volumen de ventas de energía y la política de precios de la empresa proveedora del servicio público. La elasticidad-precio de la demanda tiene especial importancia en el caso de aquellos consumidores masivos para los cuales el alto nivel de demanda eléctrica por unidad de valor agregado hace que el precio de la misma constituya un rubro de importancia dentro de la estructura de costos globales. En consecuencia, el estudio de tarifas especiales resulta de gran interés en el caso de estos consumidores sobre todo cuando éstos aceptan la condición de limitación de demanda durante períodos críticos que permiten a la empresa abastecedora proceder al relleno de huecos en el diagrama de cargas. Este aspecto tiene especial valor cuando se está estudiando la sustitución de un proceso convencional manufacturero por uno de mayor intensidad de consumo eléctrico, como es el caso de los hornos eléctricos de arrabio o acero en la industria siderúrgica. La rentabilidad social de una sustitución de esta naturaleza puede muy bien estar condicionada a arreglos tarifarios y de consumos, pues de lo contrario la rentabilidad que el proceso de mayor intensidad eléctrica le ofrece a la empresa siderúrgica - para seguir con el ejemplo - puede verse compensado con creces por la inversión adicional que se le exige al sector eléctrico para cubrir el incremento en la demanda de punta del sector industrial.

III. METODOS DE PROYECCION DE LA DEMANDA UTILIZADOS EN AMERICA LATINA

En un documento separado de la Secretaría sobre proyecciones de la demanda eléctrica en América Latina ^{5/} se analizan en detalle las previsiones formuladas en los principales países consumidores del área. Cabe resumir aquí algunas de las conclusiones que pueden extraerse de dicho análisis.

En términos generales se observa el empleo de los tres tipos de métodos que se han señalado en los capítulos anteriores a veces en forma ecléctica y no siempre claramente distinguibles. La extrapolación de la experiencia reciente se emplea como elemento de información básico para las previsiones futuras, pero realizando los ajustes necesarios. Así, por ejemplo, debido a diversos factores - pero fundamentalmente teniendo en cuenta la necesidad de cubrir los déficit existentes de capacidad instalada en la mayoría de los países - es común encontrar en las proyecciones una doble hipótesis con respecto a la tasa de crecimiento de la capacidad y de la demanda eléctricas: Se supone que un primer valor, bastante más alto que el promedio del quinquenio o del decenio pasado - por ejemplo, del orden del 12 ó 13 por ciento anual - regiría durante los próximos años, o sea durante el período de recuperación del déficit; y un segundo valor, más bajo y generalmente del orden del 9 ó 10 por ciento, sería válido para la segunda mitad del decenio 1960-70 y se obtendría una vez satisfecha la demanda que no puede cubrirse actualmente por falta de equipos. Dicho de otro modo, se divide el futuro en dos etapas: una de crecimiento acelerado durante el período de transición y otra de crecimiento que se podría llamar normal o de equilibrio. Ejemplos de este tipo se encuentran en la Argentina, Chile y otros países. Además en muchos de ellos se hace intervenir las diferentes tasas de crecimiento regionales, de acuerdo con las condiciones diferenciales que prevalecen.

Las proyecciones que aquí se han llamado de segundo orden, en que se relaciona al consumo eléctrico con determinadas variables macroeconómicas,

^{5/} Véase ST/ECLA/CONF.7/L.1.11

han sido empleadas también con bastante frecuencia. Entre ellas, y como se observa en el estudio mencionado, las proyecciones contenidas en los planes elaborados alrededor de 1955, han resultado en general excesivamente optimistas en parte porque la tasa de crecimiento del producto que se suponía en ellos estuvo lejos de verse confirmada por la experiencia, y, como consecuencia de lo anterior, tampoco se destinaron al sector eléctrico los recursos que se habían previsto en los programas.

Cabe subrayar el diferente grado de adaptabilidad de los métodos analizados según la estructura económica del país de que se trate. Si el consumo industrial - como sucede en Chile y el Perú - comprende las tres cuartas partes del consumo eléctrico total, es evidente que corresponde realizar una estimación mucho más detallada de la relación entre la demanda de este sector, la expansión del sector manufacturero y su interdependencia con el crecimiento del producto. Estas observaciones adquieren importancia especial en aquellos casos en que - y así sucede en los de la Argentina y el Brasil por ejemplo - los países tienen la intención de emprender a corto o mediano plazo, considerables modificaciones de su estructura industrial, especialmente en las ramas básicas pesadas.

Es importante destacar también la necesidad de separar de las proyecciones del primero y segundo tipo los sectores de la demanda eléctrica cuyo crecimiento depende de factores externos, sumamente imprevisibles y ajenos al control del programador. Tal es el caso del cobre en Chile y de los ingenios azucareros en Cuba. Esto está impuesto no sólo por la racionalidad en la metodología, sino por las realidades económicas. A los efectos de la expansión de capacidad del servicio público, no interesa directamente - aunque sí indirectamente por su influencia en el ritmo de desarrollo general - el crecimiento de la demanda eléctrica por parte de los productores de estas ramas, pues esa demanda será cubierta en forma adecuada y con sus propios recursos por los mismos productores. Sólo cuando los centros de generación y/o de consumo de los mismos se interconectan con las redes de servicio público debe tener en cuenta el programador de este último el impacto directo de la expansión de dichos sectores de demanda.

/En este

En este caso, como en el de las grandes empresas industriales sin generación propia y que utilizan exclusiva o preponderantemente la energía de servicio público, debe recomendarse - y así se ha procedido en general en América Latina - la encuesta directa a dichos consumidores.

Finalmente, cabe destacar que en algunos países latinoamericanos los problemas metodológicos sobre proyecciones de la demanda tienen un interés meramente académico, pues el grado de avidez de la demanda es tal con respecto a una oferta totalmente deficitaria que sólo la limitación de los recursos disponibles para inversión (tanto en su totalidad como los asignados al sector eléctrico) constituirá un freno efectivo en lo que respecta a la expansión de aquélla.

Igualmente difícil y aleatorio resulta predecir con un adecuado grado de seguridad la demanda futura de áreas a las que se lleva por vez primera el servicio eléctrico o que hayan estado abastecidas en el pasado por precarias instalaciones de suministro de ese fluido.

El peso relativo que se debe dar a los diferentes resultados obtenidos para un mismo país aplicando los diversos métodos para proyectar la demanda de electricidad, depende obviamente de las características especiales del caso de que se trate. Si dicha demanda se vió comprimida en el pasado reciente por restricciones en la oferta o por un estancamiento en el proceso de desarrollo, o por ambas razones a la vez, la extrapolación de la tendencia histórica tiene poca importancia relativa. Tal sería el caso, por ejemplo, de la Argentina y Chile.

Los métodos de segundo orden, y particularmente aquellos que relacionan la demanda eléctrica con el proceso de desarrollo manufacturero y la expansión del nivel de ingreso disponible, deben tenerse tanto más en cuenta cuanto más profundo sea el cambio estructural que se prevé para el sistema económico y cuanto más intensa sea la tasa de industrialización estimada para el futuro. Tal sería el caso, verbigracia, de la Argentina, el Brasil y Venezuela.

Los métodos directos o de encuesta, a su vez, son tanto más necesarios cuanto mayor sea el grado de agregación del parque industrial, particularmente en industrias de alto insumo de electricidad por unidad /de producto.

de producto. En efecto, es bien sabido que los métodos estadísticos que utilizan el análisis de regresión son adecuados cuando se trata de grupos o universos numerosos y homogéneos. Tal no es el caso de Venezuela en lo que se refiere a la demanda eléctrica del complejo industrial del Caroní, y de ahí que se haga necesario en éste, como en casos similares, una estimación directa del consumo probable respectivo, mediante consulta a las empresas interesadas.

Por una razón similar, conviene excluir de las proyecciones que emplean el análisis de regresión - como es el caso de la mayoría de los métodos de tipo a) y b) - a sectores de la demanda que son de gran importancia, pero sobre los cuales hay razones para creer que diferirán en su ritmo de expansión y/o de electrificación del resto de la economía. Así se ha hecho, por ejemplo, en las proyecciones de demanda eléctrica contenidas en los planes gubernamentales de Cuba (azúcar), Chile (cobre) y Venezuela (petróleo). Ello se justifica tanto más cuanto que esas demandas no influyen en los programas de expansión del servicio público, pues la autogeneración cubre sus necesidades y su interconexión con servicio público es tenue o inexistente.

Cuando existe información estadística adecuada, es conveniente realizar el análisis de la demanda por regiones geográficas, entre otras razones, para tener un elemento de planificación del desarrollo regional, aparte la disminución de los errores probables que se logra mediante la reducción del grado de agregación de la base que se proyecta. Así se ha procedido en el estudio eléctrico de la Argentina y en el programa de expansión de la Endesa en Chile.

En algunos programas - particularmente los elaborados por Electricité de France - es común que se tome dos tasas de incremento de la demanda. La primera, más alta, se asume para los primeros años del programa en virtud de la necesidad de recuperar déficit existentes, y la segunda, más reducida, se asume para el período siguiente. Como orden de magnitud de estos valores se pueden indicar los de 13 y 10 por ciento respectivamente.

IV. ANALISIS DE LA VARIACION DEL FACTOR DE CARGA

El factor de carga es el parámetro de mayor importancia entre los que ayudan a caracterizar - aunque desde luego no lo determinan unívocamente - el diagrama de carga o función de demanda en el tiempo de un centro de cierto consumo. La energía consumida en un intervalo de tiempo determinado, variable ésta que es la que generalmente se utiliza en los diversos métodos de proyección, es la integral de dicha función de demanda en el intervalo considerado, y el factor de carga se define como el cociente entre dicha integral y el producto del valor máximo de la función por el intervalo de tiempo dado, en general de un año o sea 8 760 horas. Geométricamente mide la razón entre el área comprendida entre la curva de demanda y el eje temporal y el rectángulo determinado por el valor máximo de dicha curva de demanda y el intervalo de tiempo considerado. Si se prescinde en dicho cociente del intervalo de tiempo, se tiene en lugar de factor de carga lo que se denomina generalmente tiempo de operación o de utilización. Debe cuidarse que no exista ambigüedad con respecto a coeficientes similares, pero referidos no a demanda máxima, sino a capacidad instalada de generación.

Como se ha dicho ya, las proyecciones se refieren en general a valores de energía total consumidas en el año. Sin embargo, los planes de expansión deben formularse en términos de potencia a instalar. Así pues, es necesario asumir un factor de carga determinado y, posteriormente, un margen de reserva entre demanda máxima del sistema y potencia instalada para poder formular el plan respectivo de expansión en las instalaciones de generaciones y su distribución entre las diversas fuentes (térmica, hidráulica, nuclear, etc.).

Una hipótesis posible es tomar un factor de carga para el futuro próximo igual al que rige en el momento en que se efectúa la proyección. Este procedimiento parecería ser bastante razonable - salvo en casos excepcionales - pues los cambios en el factor de carga se producen con cierta lentitud en el tiempo, por lo cual no cabe esperar cambios de gran magnitud en el curso de plazos más o menos cortos como son aquellos

/que se

que se están considerando. Por otra parte, en el caso de los países latinoamericanos, suponer para los próximos cinco o diez años un factor de carga similar al actual o al promedio de los últimos años, tiene la ventaja de introducir un cierto grado de seguridad en las previsiones ya que la tendencia es hacia un aumento lento de dicho factor, principalmente debido a la creciente industrialización de sus economías.

En los cuadros 3 y 4 se han incluido algunos datos sobre valores promediales, desviaciones estandard y coeficientes de variación del factor de carga para algunos sistemas eléctricos latinoamericanos durante los últimos veinte años. Se notará allí que los cambios son relativamente lentos y reducidos los coeficientes de variación.

Al formular una hipótesis sobre el comportamiento del factor de carga durante un período de tiempo futuro debe tenerse cuidado de no cometer el error de extrapolar resultados que se basan en circunstancias anormales si lo que se intenta es hacer desaparecer las causas de dicha anomalía. Así, en el caso del Gran Buenos Aires sería erróneo asumir un factor de carga igual o levemente superior al actual, pues el valor relativamente alto del presente obedece a restricciones del servicio que tienen como consecuencia el relleno de huecos en el diagrama de cargas y por consiguiente un incremento en el valor de este factor. Si mediante una tasa elevada de inversiones en los próximos años se consiguiese eliminar el considerable déficit de potencia instalada, es sumamente probable que el factor de carga descendiese en forma apreciable.

Otro factor de suma importancia es el grado de interconexión del sistema y las perspectivas futuras de nuevas incorporaciones al mismo.

Ya se ha definido a un sistema eléctrico como un conjunto de centros de generación y de consumo tal que cada uno de ellos tiene por lo menos un vínculo (línea de transmisión) con el resto del conjunto.

Cuadro 3

VALORES MEDIOS Y COEFICIENTES DE VARIACION DEL FACTOR DE CARGA. 1937-58

Sistema	Valor medio	Dispersión	Coefficiente de variación (%)
Buenos Aires	0.528	0.0034	11.04
Córdoba	0.455	0.00186	9.48
Caracas	0.506	0.0019	8.6
La Paz-Oruro	0.555	0.0009	5.4
Guayaquil	0.533	0.0016	7.5
Santiago	0.530	0.0004	3.77

Cuadro 4

ENERGIA Y DEMANDA; VALORES MEDIOS Y DISPERSIONES DE
 SUS TASAS DE CRECIMIENTO 1937-58

(Valores en porcentos anuales)

	Valor medio		Desviación estandar	
	Energía a/	Demanda máx.	Energía	Demanda máx.
Montevideo	8.94	9.34	2.15	4.83
Buenos Aires	5.47	5.18	3.71	4.51
Santiago	4.58	4.23	2.70	4.91

a/ Los valores de "energía" corresponde a la generación anual.

/A su

A su vez cada centro de consumo se caracteriza por su propia función de demanda y tendrá, por lo tanto, su factor de carga específico. Es intuitivo y fácil de demostrar matemáticamente que la función de demanda resultante de la suma de un número finito de funciones individuales - o sea la que será en definitiva la curva y/o diagrama de cargas del sistema interconectado - tiene un factor de carga que es siempre mayor que el mínimo de los factores individuales y menor que el máximo y que está relativamente más cerca de los valores correspondientes a los centros de consumo de mayor peso o importancia dentro del sistema.

Una manera de medir las ventajas de la interconexión desde el punto de vista del consumo consiste en determinar el llamado coeficiente de diversidad entre varios diagramas de cargas. Este coeficiente se define como el cociente entre la suma de las demandas máximas de los diversos centros y el valor máximo de la función suma. Intuitivamente, mide la dispersión en el tiempo de las cargas máximas de los centros individualmente considerados.

Generalmente se supone que el crecimiento industrial tiende a aumentar el factor de carga debido a la mayor regularidad del consumo eléctrico en el sector manufacturero, que se produce, además, en horas de menor consumo residencial. Una opinión algo distinta fué dada por la Oficina de Planificación de los Países Bajos en su respuesta al cuestionario de la ECE en 1956. Según esa fuente, un análisis de los datos sobre 20 años permite concluir que el tiempo de operación - o sea, a menos de una constante de proporcionalidad, el factor de carga - es proporcional aproximadamente a la raíz cuarta del número de consumidores, que aparece así como la variable determinante principal. En cambio, no se pudo constatar ningún efecto preciso del volumen de producción industrial sobre dicho parámetro.

V. PROYECCION Y PROGRAMACION EN EL SECTOR ELECTRICO DENTRO DE LA PROGRAMACION GENERAL DEL DESARROLLO ECONOMICO

Tanto del presente estudio como de otros documentos presentados por la Secretaría a este Seminario se desprende claramente la estrecha relación que debe existir, en primer término, entre las proyecciones de demanda y la programación de la expansión de la oferta dentro del propio sector eléctrico, en virtud de su interdependencia y, en segundo término, entre ambos y la programación general del desarrollo.

Sin pretender, en manera alguna, realizar un análisis exhaustivo del problema, cabe destacar algunos aspectos de esta relación que son de interés para quienes deben formular decisiones en materia de expansión del sector eléctrico.

La asignación de recursos es el reflejo de las prioridades de un programa de desarrollo económico integral, dentro de cuyo contexto debe ubicarse el sector energía eléctrica.

Los estudios del diagnóstico general de la economía y las necesidades de crecimiento de los sectores, frente a una tasa de incremento del producto bruto, indican los montos de las necesidades de capital a destinar por sectores de acuerdo con relaciones tecnológicas de productividad del capital.

Este procedimiento permite obtener resultados que dan una idea aproximada de las cifras definitivas de capitalización sectorial, pues deben modificarse según las alternativas técnicas de producción, la posibilidad práctica de ejecución, el período de maduración de las inversiones, las necesidades de recursos para la conclusión de inversiones en ejecución, etc.

La proyección de la demanda es el primer paso para apreciar la cuantía de recursos necesarios para el desarrollo eléctrico, estimación preliminar ésta que debe contrastarse con los recursos totales de la economía y establecer la posibilidad de obtenerlos.

A este respecto cabe señalar que existen ciertas relaciones estructurales entre la formación de capital total de un país y el monto que se destina a la inversión en energía eléctrica. Estas relaciones tienen que revisarse cuidadosamente, pues deben adaptarse a las condiciones particulares de cada país, en función tanto del déficit eléctrico actual, de la magnitud y el

/plazo de

plazo de la proyección y los cambios en la localización de la producción, como de la constelación nacional de posibles fuentes eléctricas.

En su obra The Design of Development, Tinbergen menciona a la energía y los transportes como los dos casos más típicos del fenómeno de complementaridad en las inversiones, que fija límites relativamente estrechos al margen de arbitrariedad en las decisiones del planificador. Con respecto al transporte y comunicaciones destaca el hecho de que su coeficiente sectorial respectivo - o sea, la proporción entre la inversión en el sector y la inversión bruta total - ha sido relativamente constante, variando en el intervalo 20-25 por ciento tanto para países con diferente estructura de producción y consumo como para diversos niveles de desarrollo. A título indicativo, cabe mencionar que el orden de magnitud del coeficiente sectorial de la energía, de acuerdo con la experiencia de América Latina que aquí se analiza y que se encuentra ratificada en muchos países europeos y en los Estados Unidos, oscila entre 10 y 15 por ciento, con la energía eléctrica absorbiendo en general unos dos tercios del total, o sea entre 7 y 10 por ciento.

Sin negar la utilidad que el conocimiento de estos órdenes de magnitud pueda tener para el planificador, debe tenerse cuidado en no exagerar su rigidez olvidando la flexibilidad que en materia de decisiones queda en manos de quien elabora un programa. Así, en el caso concreto de la energía eléctrica, cabe recordar una vez más que su utilización como bien intermedio en forma de insumo del sector manufacturero y de la minería abarca no mucho más de la mitad del consumo total. El resto constituye un componente del vector de demanda final y su ritmo de crecimiento en gran parte obedecerá a decisiones deliberadas del proveedor de energía en materia de disponibilidad y precio de la misma. En otras palabras, sin olvidar el papel de la elasticidad-ingreso de la demanda de energía eléctrica, debe tenerse también muy en cuenta el que desempeñan las elasticidades-precio no sólo de la energía, sino de la demanda de bienes duraderos de consumo, con cuya existencia y nivel de ventas está estrechamente relacionado el consumo doméstico de electricidad.

Aun en lo que respecta al consumo industrial, la complementaridad ya referida tiene sus limitaciones porque, sobre todo en los procesos

/tecnológicos que

tecnológicos que son intensos consumidores de electricidad - intensidad que es medida generalmente por el número de kWh requeridos por unidad de peso o de valor agregado -, existen en general procesos alternativos que usan otras fuentes de energía. Las elasticidades-precio de estos consumidores son obviamente altas y ello subraya, además de la relativa ausencia de rigidez en el coeficiente sectorial de inversión, la necesidad de una política racional, o sea de diferenciación de tarifas y de análisis de las curvas de demanda en materia de venta de energía al sector industrial, en tal forma como para inducir en este último una política de aprovechamiento óptimo de los recursos nacionales.

Ya se ha señalado que la asignación de recursos para la producción de energía debe guardar no sólo una relación adecuada con la correspondiente a la producción industrial, sino también con las estimaciones de los gastos previsibles en aquellos bienes de consumo duradero o bienes de capital (viviendas) que se relacionan con el bienestar.

No son comunes en América Latina los estudios de este tipo y son sin embargo de urgente necesidad. Se da el caso, por ejemplo, de que se facilita una expansión de la producción de bienes duraderos para el hogar mediante medidas económicas diversas, en situaciones de agudo déficit energético, lo que agrava dicho déficit, provoca una mayor escasez de energía en otras actividades y compromete los ahorros de las personas en una actividad cuya prioridad puede ser discutible.

Otro aspecto de suma importancia a tener en cuenta es que, dada la entidad relativa de la inversión en el sector eléctrico, la selección del programa óptimo de proyectos y las prioridades temporales respectivas dentro del sector, no pueden ser independientes de las decisiones generales en lo que se refiere a la cuantía y la distribución de las inversiones necesarias para alcanzar un determinado ritmo de crecimiento del ingreso.

Con referencia a este punto hay dos problemas de especial interés en lo que respecta a la programación de la expansión del sector eléctrico: el primero es la elección de la relación entre la capacidad hidroeléctrica y térmica a instalar; el segundo, la distribución del gasto total entre instalaciones de generación, líneas de transmisión e interconexión y redes de distribución primaria y secundaria.

Las dos alternativas técnicas de producción de energía eléctrica que tienen importancia para el ajuste de una asignación de recursos son la generación térmica y la hidráulica. Se descartan de este análisis las usinas nucleares por no figurar en los programas de metas de los gobiernos latinoamericanos para la próxima década.

Las características principales de ambos tipos de generación a los efectos que aquí interesan pueden resumirse en forma general como sigue:

a) Generación térmica

- i) menor costo de capital por kilovatio instalado;
- ii) mayores gastos anuales por concepto de depreciación e insumos para la producción;
- iii) menor plazo para la ejecución;
- iv) flexibilidad mayor para la localización, lo que generalmente redundaría en un costo por transmisión mucho menor, y
- v) mayor componente en divisas extranjeras.

b) Generación hidráulica

- i) mayor costo de capital por kilovatio instalado;
- ii) menores costos anuales por concepto de depreciación e insumos para la producción;
- iii) plazo más largo para la ejecución;
- iv) relativa inflexibilidad de la localización;
- v) beneficios secundarios o indirectos de las obras hidráulicas como regularización de ríos, posibilidades de riego, etc., y
- vi) menor componente en divisas.

Estos elementos que caracterizan a los respectivos tipos de generación influyen de manera notable en la programación del sector frente a una asignación de recursos dada, aunque debe repetirse explícitamente que no es posible dar normas generales que indiquen qué tipo de generación es más conveniente, pues ello dependerá de las condiciones que presente cada país. Sin embargo, existen dos factores que merecen un comentario especial: el costo inicial de la potencia a instalar y el plazo de ejecución.

Este costo inicial es el que en forma inmediata está vinculado a una determinada asignación de recursos. Por ejemplo, si la asignación es escasa,

/pero las

pero las perspectivas futuras de financiamiento son favorables y el déficit de energía es muy agudo, será tal vez conveniente inclinarse por la generación térmica que permitirá proceder a una reducción más rápida del déficit, por su menor plazo de ejecución, aunque resulten superiores los costos anuales futuros por funcionamiento.

La forma de financiamiento también puede influir en la elección de los distintos tipos de generación. Si la obra puede financiarse con recursos externos en condiciones de tasa de interés y plazos de amortización favorables cabe tal vez elegir un costo inicial mayor, en el entendimiento de que las economías por los gastos anuales compensen los servicios de dicho préstamo, en especial si el combustible para el funcionamiento de las plantas térmicas debe importarse.

Como puede verse, es muy difícil tratar en abstracto las posibilidades de elección sin referencia a casos específicos. Pero no cabe duda que en materia de programación del desarrollo eléctrico es necesario plantear con claridad las variables que influyen sobre uno u otro sistema y adoptar aquella política para la generación de energía eléctrica que conjugue todos los factores y resulte en un menor costo social.

El plazo de ejecución suele ser a veces un factor de importancia decisiva en la elección de técnicas de producción. Desde el punto de vista económico, cuanto más largo es el plazo de ejecución, mayor es el lucro cesante del capital invertido en las sucesivas etapas de la obra, lo que encarece su costo si se computa como corresponde dentro del mismo el interés que ese capital no produjo durante el período de ejecución. Sin embargo, las economías de funcionamiento que presenta la generación hidroeléctrica puede compensar ese mayor lucro cesante y determinar su conveniencia.

Cabe destacar que cuando un programa de desarrollo eléctrico se encuentra en plena ejecución, la provisión de energía crecerá como una curva discontinua, pero con saltos atenuados, pues las obras se escalonan en su ejecución y habilitación de manera que desaparece en general la objeción relativa a los plazos de espera en el suministro eléctrico, aunque puede ser de importancia para regiones determinadas. Por supuesto que para que estos comentarios sean válidos se requiere que exista un programa en el que

/se concatenen

se concatenen clara y eficazmente los proyectos sucesivos y las etapas de estudios previos, de anteproyecto, proyecto y ejecución, dentro de los plazos previamente establecidos.

Existen naturalmente limitaciones técnicas con respecto a la determinación de los porcentajes hidráulico y térmico en un programa de expansión eléctrica. La más simple, desde luego, es la carencia lisa y llana de recursos hidráulicos. En el otro caso extremo, aun disponiendo de un abundante portafolio de anteproyectos de aprovechamiento hidroeléctrico de fácil acceso y bajo costo unitario, la necesidad de garantizar la potencia respectiva obliga en general a utilizar un cierto porcentaje complementario de generación térmica.

Pero incluso dentro de esas limitaciones queda un margen para elegir sobre la base de consideraciones puramente económicas. Esta elección afecta considerablemente el monto de la inversión total en el sector y, por consiguiente, el coeficiente sectorial, debido a la diferencia entre las intensidades de capital - y la duración de los períodos de construcción - de ambos tipos de planta. Aunque la relación entre ambas intensidades varía bastante de acuerdo con las situaciones concretas, su distribución es asimétrica, siendo excepcionales los casos en que el costo de capital de la instalación térmica supera al de la hidroeléctrica. En cambio, la instalación hidroeléctrica se caracteriza por un insumo prácticamente nulo de combustible y una productividad de la mano de obra ligeramente superior a la termoeléctrica. Se trata, pues, de un caso típico de elección entre dos tecnologías, una de las cuales exige un mayor insumo unitario de capital, pero menor insumo de los demás factores productivos.

Se ha argumentado repetidamente por parte de los teóricos del desarrollo económico que en el caso de los países subdesarrollados existe en este tipo de problemas una tendencia indebida a decidir en favor de los procesos que involucran una mayor capitalización. Ello se debe fundamentalmente a que los desequilibrios estructurales que afectan a los sistemas económicos de dichos países, hace que los precios de mercado se alejen de los valores intrínsecos o de equilibrio, o sea aquellos cuya consideración conduciría a decisiones racionales y a la distribución y uso óptimo de los recursos. Así, por ejemplo, se concluye del análisis de estas economías que, mientras

/la tasa

la tasa de interés que prevalece en el mercado de capitales destinados a inversiones reproductivas es inferior al presunto nivel de equilibrio, el nivel de salarios - en gran parte por la presión política y social de los sindicatos - es superior al valor de equilibrio.^{6/}

Ambos desequilibrios tienen un efecto coincidente o acumulativo sobre el problema de decisión a que se hace referencia antes, o sea que tienden a distorsionar dicha decisión en favor de la alternativa con más intensidad de capital y mayor ahorro de insumos corrientes. De ahí que muchos economistas aconsejen la utilización de precios ficticios o de cuenta que representen más adecuadamente los valores intrínsecos de los diversos factores productivos del sistema económico.

Debe subrayarse este punto porque es de suma importancia para América Latina, región en que el desequilibrio en el nivel y la estructura del espectro de tasas de interés en algunas economías afectadas por la inflación ha llegado al punto de que la tasa bancaria ha estado muchas veces por debajo del ritmo de incremento en el nivel de precios, lo que equivale a decir que la tasa de interés real tenía un valor negativo.

Por otra parte, en algunos cálculos sobre inversiones públicas el error se acentúa, pues en lugar de adoptarse la tasa de interés bancaria para el mercado de capitales reproductivos - que ya de por sí sería inferior al valor de equilibrio -, se toma la tasa a la cual prestan fondos los organismos financieros internacionales, tasa que es todavía inferior a la primera. Este error ha sido señalado en un estudio del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento.^{7/}

Sin embargo, hay una tercera distorsión en el cálculo que, en el caso de que se trata - el de la selección de centrales hidroeléctricas vs. térmicas -, tiende a veces a compensar, aunque sólo en forma parcial, los

6/ En lo que respecta a este último punto, cabe mencionar la posibilidad de que en algunos países latinoamericanos los estragos de la inflación hayan provocado un descenso en el nivel de salarios reales que haya acercado más a éstos al valor de equilibrio.

7/ Véase Cost of Capital in the choice between hydro and thermal power, 1957.

errores de los dos desequilibrios ya mencionados. Se hace referencia a la tasa de cambio adoptada para las divisas en esos cálculos que, por lo general, es la vigente en los mercados financieros. Ahora bien, esta tasa es inferior al valor de equilibrio que sería necesario tomar a los efectos de analizar el impacto de programas alternativos, y ello por varias razones. Desde un punto de vista macroeconómico, es notorio que la capacidad para importar constituye uno de los puntos de estrangulamiento que presentan los programas de desarrollo, en virtud de dos motivos fundamentales: en primer lugar, por la disparidad entre el ritmo de crecimiento del ingreso y el de la capacidad para importar; en segundo lugar, porque el caudal de inversiones requerido por la tasa de crecimiento que se desea alcanzar obliga a un incremento en el coeficiente de inversión con la consiguiente presión sobre la capacidad de pagos externos, ya que el contenido de importaciones en la inversión es más alto que el del consumo aun en aquellos países latinoamericanos que más han avanzado en el proceso de fabricación interna de bienes de capital.

En contraste con esta relativa escasez de las divisas como recurso para el desarrollo, se nota una tendencia por parte de los gobiernos y bancos centrales de América Latina de estabilizar en lo posible las tasas de cambio de las monedas extranjeras aun en períodos de inflación interna, y ello provoca el desequilibrio a que se ha hecho referencia.

En tales circunstancias, como el suministro hidroeléctrico con sus equipos de generación y transmisión suele tener un contenido de importaciones relativamente menor^{8/} que el de las térmicas debido a la preponderancia de

^{8/} Resulta difícil dar valores precisos al respecto aunque, en términos generales sea legítimo afirmar que mientras el componente importado en instalaciones térmicas es bastante superior al 50 por ciento, en las hidroeléctricas está por debajo de ese nivel. Sin embargo, téngase en cuenta que a menudo - dado el mayor costo unitario del kilovatio hidroeléctrico - los valores absolutos de las necesidades respectivas de divisas pueden ser semejantes para las dos alternativas consideradas. Más aún: esa tasa de cambio inferior al valor de equilibrio o intrínseco puede determinar una preferencia injustificada por bienes de capital extranjeros en aquellos casos en que la producción nacional podría competir con las importaciones, al colocar a ésa en posición de comparativa desventaja de precios. Esto a su vez contribuiría a hacer más crítica la posición del balance de divisas.

la obra civil en el gasto total, la tercera distorsión que se acaba de analizar contribuye a hacer más atractiva la obra térmica. De esta suerte, se da una compensación parcial del efecto de los otros dos desequilibrios en la tasa de interés y en el nivel de salarios.

Conviene ahora mencionar brevemente el segundo problema apuntado más arriba, o sea el que se refiere a la distribución de las inversiones entre las fases de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica de un sistema.

En primer término, cabe señalar que las alternativas térmica, hidráulica y nuclear - y dentro de la primera la extensa gama de posibilidades que ofrece el empleo de diferentes máquinas de acuerdo con la magnitud y las características del mercado, la oferta y el precio de los combustibles, la disponibilidad de agua, las condiciones locales, etc. - difieren entre sí sólo en lo que concierne a la generación del fluido. Una vez alimentada dentro de la red la transmisión y distribución de la electricidad no ofrece rasgos distintivos según cual hubiese sido su origen. Ello significa que el costo de las líneas de transmisión - para iguales distancias de los centros de consumo - y el de la distribución - para condiciones equivalentes en ellos - sería el mismo en todos los casos.

En realidad, resulta preferible incluir los costos de la transmisión de la electricidad junto con los de su generación, de tal modo que un segmento claramente diferenciado de las inversiones abarque todas las que se requieren para entregar esa energía en alta tensión en las proximidades de las zonas consumidoras y permita establecer sobre bases más comparables el cotejo entre varias soluciones.

Se ha tocado ese punto en las páginas que anteceden. En lo que concierne al sistema de distribución eléctrica, conviene recordar que las inversiones necesarias no son en manera alguna despreciables. Para centros urbanos densamente poblados pueden representar montos equivalentes a los que ha necesitado la entrega de la electricidad en alta tensión, mientras en las comarcas rurales - de baja densidad demográfica, industrial y de consumo - se ve encarecida por largas líneas de transmisión secundaria por kW.

A ese respecto tiene una gran importancia elegir los estándares técnicos que, sin afectar naturalmente la seguridad del servicio ni de los consumidores, permitan disminuir las inversiones mediante el uso juicioso de materiales, tensiones, etc.

Como habrá podido observarse, la asignación de recursos está ligada tanto a las alternativas de generación como a las posibilidades de financiamiento. Este es uno de los problemas que afectan con más intensidad el desarrollo eléctrico, en vista de que el rápido crecimiento de la actividad de este sector implica que en el conjunto de América Latina deba duplicarse en pocos años (5 a 8) la capacidad instalada, a la par que - dada su condición de insumo muy difundido - el precio de venta de la energía sea un componente del costo de casi todas las actividades económicas y, por lo tanto, incide en el nivel general de precios.

Estas y otras consideraciones han determinado que los gobiernos de casi todos los países establezcan regulaciones sobre las tarifas que, aun cuando puedan ser retributivas en cuanto a la explotación se refiere, no permiten una acumulación de beneficios suficiente para contribuir en forma apreciable al financiamiento requerido para duplicar la capacidad de generación en períodos relativamente cortos. En consecuencia, el incremento del capital del sector eléctrico se financia en gran parte con recursos que provienen de otros sectores o del ahorro nacional en su conjunto.

Esta transferencia de fondos de inversión hacia el sector eléctrico se realiza en general a través de los presupuestos públicos mediante la participación directa del estado en la prestación del servicio.

Sin embargo, la experiencia ha demostrado que el ahorro interno es insuficiente para atender la formación de capital de un país que pretenda desarrollarse a una tasa superior a la histórica, aunque moderada frente a las aspiraciones de la comunidad, de manera que resulta necesario utilizar crédito externo para su capitalización.

Técnicamente, el sector eléctrico presenta condiciones favorables para financiar parte de la formación de capital con recursos externos, cuyo aporte puede dirigirse principalmente, en forma directa e indirecta, al financiamiento del componente importado de la inversión (equipos y materiales pesados). El ahorro nacional tomaría a su cargo los gastos en construcción y otros que correspondan a bienes de producción local.

/Puede, sin

Puede, sin embargo, llegar a ser necesario que el crédito externo cubra también - por lo menos en parte - el costo en moneda local de la inversión eléctrica, en especial en aquellos países que presentan agudos déficit de capacidad instalada, de manera que los recursos necesarios para eliminarlos sean de una magnitud tal que comprometan la realización de inversiones en otros sectores.

Otro aspecto fundamental en la interdependencia entre la programación del sector eléctrico y la programación general se refiere al marco institucional y legal dentro del cual se planifica la expansión del sector y a la política de tarifas para la prestación de este servicio público. Sin perjuicio de que este problema se analice con mayor detalle en otro estudio de la Secretaría sobre fuentes de financiamiento del desarrollo eléctrico,^{9/} cabe formular aquí algunas precisiones.

Para acelerar el ritmo de desarrollo económico debe aumentarse el coeficiente de inversión sin que este aumento afecte la racional distribución sectorial de los recursos totales disponibles. Para lograr este propósito sin comprimir los niveles de consumo de la población y crear las condiciones necesarias para un futuro incremento gradual y sostenido del coeficiente de ahorro interno, se asume generalmente en los programas de desarrollo que la aportación de capital extranjero cubrirá el saldo no financiable internamente durante el período de transición, hasta que se haya alcanzado un nivel de ahorro interno que permita por sí solo mantener la tasa de desarrollo requerido.^{10/}

Por consiguiente, dentro de este esquema, la magnitud de la aportación necesaria de capital extranjero depende de la celeridad con que crezca el coeficiente de ahorro propio durante ese período de transición. En esta materia, como en otras, es obvio que la programación adecuada del sector exige evitar inconsistencias con las hipótesis generales del programa.

^{9/} Véase ST/ECLA/CONF.7/L.1.30.

^{10/} Desde luego, ello no obsta a que se continúe con la financiación externa en las proporciones que se deseen, incluso después de haberse alcanzado este objetivo, pues hacerlo permitirá elevar la tasa fijada como meta.

Por ejemplo, dentro de la economía general de un programa de desarrollo, no sería lógico establecer premisas en la parte macroeconómica respecto al volumen y formas de la contribución del capital extranjero o del capital privado nacional^{11/} sin procurar simultáneamente los canales de acceso de dicho capital mediante disposiciones institucionales y legales.

Así pues, se hace necesario asumir una política definida con respecto a la participación del capital privado en la expansión eléctrica dentro del marco del financiamiento global, teniendo en cuenta su importancia actual y la que se le asigna para el futuro. Si se resuelve en contra de esos aportes para dicha expansión, debe asegurarse entonces que las empresas estatales o los organismos pertinentes puedan proveer los fondos necesarios para soportar el peso total del programa. A su vez, esta determinación debe guardar relación con el porcentaje que representan los gastos del gobierno dentro del ingreso nacional - que en general varía en el mundo occidental entre un décimo y un tercio - y con las respectivas partes de la inversión y de los gastos corrientes en el presupuesto del estado.

Asegurar una corriente adecuada de recursos hacia los respectivos sectores de la economía es tanto más importante en situaciones como la del sector eléctrico en que la demanda crece a un ritmo mucho mayor que el del ingreso. En estos casos, aun suponiendo que la tasa de beneficios netos sea razonablemente alta - y es notorio que ello en general no sucede con las empresas eléctricas, sean de propiedad estatal o privada - y que el coeficiente de reinversión sobre dichos beneficios sea también alto, es más que improbable que los recursos generados dentro del sector por la vía de los beneficios netos y fondos de amortización sean suficientes para asegurar la expansión requerida por el crecimiento equilibrado del sistema económico. Debe notarse a este respecto que un autofinanciamiento en grado exagerado por la vía, verbigracia, de un impuesto específico a la venta de

^{11/} Sería ocioso subrayar que esos coeficientes macroeconómicos globales de inversión no tienen por qué cumplirse en cada sector, pues resultan como promedios de magnitudes que varían, a veces considerablemente, entre un sector y otro, o una rama y otra de la economía.

energía, al afectar los costos marginales, distorsiona la estructura de precios y el proceso de selección del consumidor y, por consiguiente, conduce a una utilización no óptima de los recursos.

Otro aspecto en que la estructura del programa eléctrico se vincula estrechamente con la del programa general de desarrollo, es en lo referente al dimensionado de las obras y a la secuencia temporal de su ejecución. Como se ha dicho con acierto, la programación del desarrollo económico implica fundamentalmente la selección de un sistema de prioridades a través del tiempo. En otras palabras, en el sector eléctrico, como en el resto de la economía, una vez que se dispone de un portafolio adecuado de proyectos viables, el problema consiste - más que en abandonarlos - en postergar algunos en relación con otros.^{12/}

En lo que se refiere al dimensionado, aunque habría muchos aspectos de interés a considerar, hay que limitarse aquí a señalar la necesidad de lograr un justo equilibrio entre las economías de escala, por una parte, y la flexibilidad en el programa de expansión, por la otra. Como toda estrategia que se adopta para hacer frente a una situación futura relativamente incierta, un programa de esta naturaleza debe contener un elemento adecuado de flexibilidad que permita introducir cambios en las decisiones previstas para el futuro si los factores externos difieren sustancialmente en su comportamiento de las previsiones sobre las que se basó el programa. Es obvio que este argumento milita en contra de la ejecución de proyectos de grandes dimensiones, mientras que la tecnología moderna los favorece en vista de las considerables economías de escala.

La inestabilidad de las economías latinoamericanas exige tener en cuenta debidamente esta flexibilidad en los programas. En efecto, la experiencia demuestra la estrecha concomitancia entre las inversiones y la capacidad de pagos exteriores y la influencia acentuada sobre esta última de las variaciones en la relación de precios del intercambio,

^{12/} Claro está que la postergación a largo plazo de ciertos proyectos, bien puede significar su abandono definitivo si los cambios tecnológicos o las condiciones económicas posteriores hacen surgir nuevos proyectos que los sustituyan con ventaja.

particularmente por la vía de las fluctuaciones en los niveles de precio de los productos primarios en el mercado internacional.

Si, por ejemplo, se encoge la capacidad de pagos exteriores, para mantener el equilibrio en la expansión del sistema económico habrá que reducir las inversiones con coeficientes de importación relativamente altos como los de plantas eléctricas. De lo contrario, al reducirse la inversión total y, por consiguiente, la tasa de crecimiento, mantener el mismo ritmo previsto inicialmente para el aumento de la capacidad de oferta eléctrica llevaría a una disponibilidad excesiva de medios de producción con respecto a la demanda.

Como es natural, la reflexión anterior carece de base cuando la disminución de aquella capacidad de pagos se da dentro del marco de un crecimiento económico intenso, o cuando un adecuado financiamiento adicional de los requerimientos exteriores permite saldar las diferencias sin impacto sensible sobre el balance de pagos a mediano plazo. En estos casos, un desequilibrio corriente en el sector externo no tiene por qué frenar la tasa de crecimiento de la economía ni, en consecuencia, la del servicio eléctrico.

Hasta aquí se han considerado las inversiones que es necesario realizar para asegurar el suministro de energía eléctrica y la incidencia de esas inversiones sobre el monto total de la capitalización nacional. Pero es indudable que, para que pueda materializarse la demanda que se ha supuesto, y que como hemos visto obliga a realizar tales gastos de capital en el parque eléctrico, habrá que asegurar además que la economía estará en condiciones de generar los ahorros necesarios en aquellos sectores de producción o de consumo - externos al sector de energía eléctrica - que originan la demanda, como para que tengan lugar las inversiones que transformarán esa demanda potencial en demanda efectiva.

No se trata aquí de la congruencia entre las inversiones en el sector electricidad y las de cada uno de los otros sectores, así como de la economía en su conjunto. Esto atañe a la programación general de las inversiones, tema que escapa a los alcances del presente estudio. Se hace referencia en particular a aquella porción de las inversiones fuera del sector eléctrico que condiciona el consumo de electricidad. Nótese que

/no quedan

no quedan aseguradas automáticamente al haberse hecho una asignación sectorial de los recursos. Así, a los efectos que aquí interesan, no bastará con vigilar que se cumpla, por ejemplo, la inversión que se había programado en los ferrocarriles, si no se asegura a la vez que la electrificación de la red ferroviaria proveerá, en el volumen, lugar y tiempo previstos, la demanda que se había supuesto. En el mismo sentido, es de la mayor importancia que los insumos eléctricos industriales se materialicen, ya sea mediante la modernización fabril o la instalación de nuevos procesos y actividades que se preveían. Y en el sector de consumo residencial acaso el factor estratégico básico sea la inversión en viviendas y, especialmente, en bienes eléctricos para el hogar, que podría hacer posible una adecuada distribución del ingreso.

Así pues, sería útil poder indicar un orden de magnitud de las inversiones accesorias o complementarias que se requieren para esos fines en los sectores externos al eléctrico. Sin entrar en detalles, que aquí estarían fuera de lugar, puede señalarse que para utilizar la energía generada por cada kilovatio de potencia eléctrica instalada con un grado promedio normal de utilización, se necesitaría en las industrias una inversión dos, tres y hasta cuatro veces mayor de la que ha requerido aquél, y mucho mayor aún en las casas bien equipadas con las condiciones de los adelantos eléctricos modernos.

Corresponde, pues, llamar la atención sobre el problema de la repartición de las inversiones que podrían denominarse "orientadas" y que adquiere gran importancia práctica en las etapas finales de la programación económica.

Siendo la provisión de energía eléctrica un requisito indispensable para la producción, puede constituirse en un medio eficaz para inducir cambios deseables en la localización de la misma. Este problema adquiere importancia especial cuando se trata de resolver situaciones derivadas de grandes concentraciones de la actividad económica que significan desequilibrios y pueden redundar en altos costos sociales para la comunidad, aunque, en general, la descentralización implica una elevada inversión inicial en servicios.

Ejemplos ilustrativos se encuentran en casi todos los países latinoamericanos, en los que se observan pocas áreas de relativamente alto desarrollo industrial y gran concentración de la población y extensas zonas cuya vinculación con la actividad económica del país es endeble o casi nula.

Una manera de crear condiciones adecuadas para la descentralización o la incorporación de nuevas áreas, es la de dotar a esas zonas del capital social básico que produzca economías de costos que constituyan un atractivo para la localización de la producción. Las inversiones en energía eléctrica constituyen un caso típico de ese capital social básico que, dadas circunstancias propicias y una demanda potencial, permite la expansión de las actividades secundarias y terciarias asociadas.

Frente a un problema como el planteado aparecen dos factores determinantes principales. El primero consiste en la decisión de incorporar nuevas áreas o reducir las diferencias de actividad económica entre las distintas regiones de un país; el segundo se relaciona con la presión que ejerce sobre la demanda la actual localización de la producción, que por numerosas razones tiende a robustecer la estructura existente y, por lo tanto, a requerir mayores servicios públicos en la medida de su crecimiento.

Estos factores compiten con los recursos destinados a la capitalización del sector energía eléctrica y, dado que el segundo presenta necesidades fácilmente palpables por su actualidad, suele ser el que más pesa en las decisiones. Se presentan así casos de construcción de largas líneas de transmisión para abastecer a centros desarrollados o, cuando se hallan muy alejados de fuentes hidroeléctricas, prevalece la generación térmica sin que ésta esté siempre basada en una política general que tienda a utilizar con el máximo de rendimiento los recursos existentes.

En consecuencia, al igual que la del transporte, la programación del desarrollo eléctrico de un país debe tomar en consideración el hecho de que ambos servicios constituyen medios eficaces para provocar un cambio de la estructura geográfica de la producción y en este sentido

/constituyen elementos

constituyen elementos autónomos, es decir, que entre ciertos límites pueden ser independientes de la proyección de necesidades según la estructura actual de producción.

Otra forma de enfocar este mismo problema es el plazo de proyección de las necesidades de producción eléctrica. Si son de corto plazo las consideraciones fundamentales que inspiran la proyección, no cabe duda que ésta no constituirá un elemento de cambio de estructura. Pero si el problema se estudia a largo plazo y se contemplan los posibles cambios de la localización de la producción, la proyección de las necesidades de capitalización en el sector eléctrico puede resultar completamente distinta.

Anexo I

FUNCIONES DE PROYECCION DE LA DEMANDA ELECTRICA

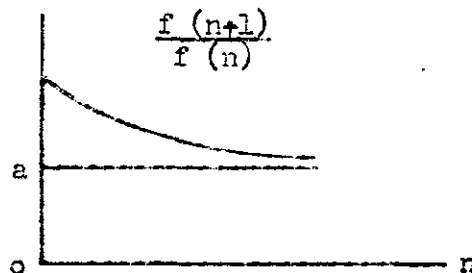
Tomando un origen conveniente para el tiempo n , se trata de establecer para la demanda de energía eléctrica E una fórmula de proyección del tipo $E = f(n)$ válida para un sistema dado.

Las fórmulas del tipo exponencial puro $E = E_0 a^n$ tienen una tasa de crecimiento constante y, por lo tanto, son inadecuadas para describir aquellas situaciones en que se comienza con una alta tasa de incremento de la demanda - por ejemplo, debido al levantamiento de restricciones en la oferta o porque se trata de un nuevo servicio en zonas no electrificadas con anterioridad -, que luego va disminuyendo en forma gradual hasta situarse a un nivel relativamente constante.

Las fórmulas potenciales del tipo de la de Robinson y Daniel $E = E_0 \left(\frac{n+1}{a}\right)^b$ contemplan en parte dicha objeción, pues la tasa de crecimiento $f(n+1)/f(n)$ es una función decreciente de n , pero tiene el grave inconveniente de que dicho cociente tiende a uno, o sea que conduciría teóricamente a la saturación de la demanda eléctrica, hipótesis que resulta poco admisible.

Se cree que lo ideal es encontrar una fórmula $E=f(n)$ que presente las ventajas de ambas fórmulas:

- a) $\frac{f(n+1)}{f(n)}$ debe ser decreciente con n
- b) $\frac{f(n+1)}{f(n)}$ debe tender al a "normal" para $n \rightarrow \infty$, o sea que para n ya en el período "normal", $f(n)$ debe comportarse como la exponencial (crecimiento acumulativo anual constante).



/Una fórmula

Una fórmula con estas propiedades describirá mejor toda la vida del sistema.

Se estima entonces que una fórmula mixta como la siguiente es mucho más conveniente:

$$E = A \left(\frac{n}{K} + 1 \right)^x a^n$$

Llamando año 0 el año a partir del cual se aplicaría la fórmula.

Véase ahora si esta fórmula cumple con las condiciones requeridas:

- a) $\frac{f(n+1)}{f(n)} = \left(\frac{n+1+k}{n+k} \right)^x$. a es decreciente con n . En efecto, siendo x positivo:

$$\frac{d}{dn} \left(\frac{n+1+k}{n+k} \right)^x = x \cdot \left(\frac{n+1+k}{n+k} \right)^{x-1} \cdot \frac{-1}{(n+k)^2} a < 0$$

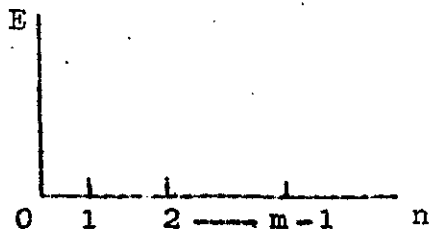
- b) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f(n+1)}{f(n)} = a$

De modo que ambas condiciones se cumplen.

Determinación de los parámetros A, K, x, a:

La forma más razonable de determinar los parámetros de la fórmula es a partir de los puntos de demanda de energía obtenidos en los años anteriores (datos estadísticos conocidos).

Supóngase conocido un punto y se tomará como origen el primer año conocido:



Conocemos pues valor E_i para
 $i = 0, 1, \dots, m-1$

Supongamos A, K, x, a conocidos. Habrá una diferencia (residuo) entre el valor calculado:

$$E_i^l = A \left(\frac{i}{K} + 1 \right)^x a^i$$

/y el

y el valor E_i conocido:

$$E_i - E_i^1 = z_i$$

El principio de los mínimos cuadrados exige que:

$$\sum_{i=0}^{m-1} z_i^2 \quad (1)$$

sea mínimo.

Supongamos que se hayan encontrado valores Λ_0, K_0, x_0, a_0 más o menos satisfactorios sobre la base de datos para un período reciente. Nos proponemos utilizar la ley de los mínimos cuadrados para retocar esos valores groseros por cantidades

$$A = \Lambda_0 + \alpha \quad K = K_0 + \beta \quad x = x_0 + \gamma \quad a = a_0 + \delta$$

Si se desprecian derivadas parciales de orden superior, la diferencia:

$$f(i, A, K, x, a) = A \left(\frac{i}{K} + 1\right)^x \cdot a^i = E_i - z_i$$

se escribirá:

$$f(i, \Lambda_0, K_0, x_0, a_0) + \alpha \frac{\partial f}{\partial \Lambda_0} + \beta \frac{\partial f}{\partial K_0} + \gamma \frac{\partial f}{\partial x_0} + \delta \frac{\partial f}{\partial a_0} = E_i - z_i \quad (2)$$

Los términos de esta ecuación son:

$$f(i, \Lambda_0, K_0, x_0, a_0) = \Lambda_0 \left(\frac{i}{K_0} + 1\right)^{x_0} a_0^i$$

$$\frac{\partial f}{\partial \Lambda_0} = \left(\frac{i}{K_0} + 1\right)^{x_0} a_0^i = \lambda_i$$

$$\frac{\partial f}{\partial K_0} = \Lambda_0 a_0^i x_0 \left(\frac{i}{K_0} - 1\right)^{x_0-1} \left(-\frac{i}{K_0^2}\right) = \Gamma_i$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_0} = \Lambda_0 a_0^i \left(\frac{i}{K_0} + 1\right)^{x_0} \ln \left(\frac{i}{K_0} + 1\right) = \nu_i$$

$$\frac{\partial f}{\partial a_0} = \Lambda_0 \left(\frac{i}{K_0} + 1\right)^{x_0} i a_0^{i-1} = \pi_i$$

/Poniendo además

Poniendo además

$$E_i - f(i, \lambda_0, K_0, x_0, a_0) = \phi_i,$$

se obtiene de (2):

$$z_i = \phi_i - \lambda_i - a - \Gamma_i \beta - \nu_i \gamma - \pi_i \delta$$

La expresión (1) toma entonces la forma

$$\sum_{i=0}^{m-1} (\lambda_i a + \Gamma_i \beta + \nu_i \gamma + \pi_i \delta - \phi_i)^2$$

Anulemos las derivadas parciales con respecto a a, β, γ, δ para lograr los mínimos cuadrados:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=0}^{m-1} (\lambda_i a + \Gamma_i \beta + \nu_i \gamma + \pi_i \delta - \phi_i) \lambda_i = 0 \\ \sum_{i=0}^{m-1} (\lambda_i a + \Gamma_i \beta + \nu_i \gamma + \pi_i \delta - \phi_i) \Gamma_i = 0 \\ \sum_{i=0}^{m-1} (\lambda_i a + \Gamma_i \beta + \nu_i \gamma + \pi_i \delta - \phi_i) \nu_i = 0 \\ \sum_{i=0}^{m-1} (\lambda_i a + \Gamma_i \beta + \nu_i \gamma + \pi_i \delta - \phi_i) \pi_i = 0 \end{array} \right.$$

Este sistema de ecuaciones normales se resuelve comodamente luego de haber tabulado los coeficientes respectivos para $i = 0, 1, \dots, m-1$

Aplicación

Se utilizó este método para hallar las fórmulas respectivas en el caso de dos países de estructura muy diferente como el Uruguay y Venezuela, con los datos del quinquenio 1955-59. Las ecuaciones obtenidas fueron:

$$\text{Venezuela: } E = 2193 \left(\frac{n}{117.3} + 1 \right)^{44.47} = 0.8001^n$$

$$\text{Uruguay: } E = 704 \left(\frac{n}{74.37} + 1 \right)^{24} \times 0.8047^n$$

Anexo II

CORRELACION DE RANGOS E INFERENCIA NO PARAMETRICA

En los métodos estadísticos convencionales generalmente se supone una distribución normal (gaussiana) de la población ó de los errores. Esto es indudablemente una suposición restrictiva.

En el caso de la inferencia no paramétrica no se hacen estas suposiciones restrictivas. Se puede suponer, por ejemplo, que la distribución del error es simétrica, pero no necesariamente normal.

En su conjunto, estas pruebas no tienen tanta potencia y debemos pagar el precio de esta generalización.

Entre las pruebas estadísticas no paramétricas encontramos la correlación de rangos. La motivó primitivamente la circunstancia de que algunas variables no son mensurables de manera que las observaciones sólo puedan ser ordenadas por rango en relación ordinal, pero no cardinal. Sin embargo, a menudo se la emplea con las variables mensurables por cuanto las suposiciones no son tan rigurosas y la computación es mucho más fácil.

En la correlación de rangos diríamos, por ejemplo: si el ingreso es más elevado, el ahorro es más elevado. No suponemos ninguna forma lineal, exponencial ó de alguna otra clase particular para la relación funcional. Solamente debemos concluir que la tendencia es "el alza". Es evidente lo aplicables que son estas correlaciones al caso que nos ocupa. Por consiguiente, los dos métodos empleados se explicarán brevemente a continuación. Se emplean dos métodos diferentes para medir el alcance de la correlación de rangos: el coeficiente de Spearman y el coeficiente de Kendall.

El coeficiente de Spearman

Los datos de entrada están presentados en la forma de dos columnas de cifras, siendo cada par horizontal correspondiente a una observación ó experimento. Sean X_i é Y_i los rangos (es decir los números enteros que denotan su posición respecto al tamaño del número) de uno de estos dos pares. Definamos:

$$d_i = X_i - Y_i$$

/y comparemos

y comparemos la suma de los cuadrados de estas diferencias entre los números de los rangos con el valor supuesto de esta suma en el caso de que las variables no guardasen relación en forma alguna.

Si n es el número de observaciones - es decir, la longitud de cada una de las tablas de variables que se está comparando -, la esperanza matemática de la suma de los cuadrados en ausencia de cualquiera relación se verifica que es:

$$n(n^2-1)/6$$

Es importante señalar - aunque resulte demasiado obvio - que este no es el valor máximo posible de la suma de los cuadrados de las diferencias de los rangos. Este valor máximo aparecerá cuando exista una correlación inversa perfecta y será igual a

$$n(n^2-1)/3$$

Si existe una correlación directa perfecta, la suma de los cuadrados es cero.

Para cualquier suma dada de cuadrados de las diferencias de los rangos, el coeficiente de Spearman se define por:

$$S = 1 - \frac{\text{Suma de los cuadrados de las diferencias de los rangos}}{\text{Valor supuesto de la suma de los cuadrados de las diferencias de los rangos}}$$

sustituyendo la expresión de más arriba:

$$S = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

M. G. Kendall ha demostrado que S puede probarse en una distribución de Student

$$t = S \cdot \left(\frac{n-2}{1-S^2} \right)^{1/2}$$

de modo que si la Probabilidad (t) es pequeña, de acuerdo con las tablas de la distribución de Student, no podemos rechazar la independencia entre las dos variables que se están analizando y el valor de S es declarado "no significativo" de acuerdo con el nivel de significación que se ha escogido.

El coeficiente de Kendall

Este coeficiente se refiere al número de inversiones del orden en una de las variables suponiendo que el orden esté ordenado. Este número

/lo representamos

lo representamos por s . Luego la definición del coeficiente de Kendall es:

$$K = \frac{2s}{n(n-1)}$$

en donde n , como antes, representa el tamaño de la muestra, es decir, el número de pares de observaciones de las variables.

Existen diferentes maneras de calcular el número de inversiones del orden en una variable después de que la otra está ordenada. Probablemente la manera más sencilla sea la siguiente: consideremos el primer elemento, es decir aquel que está en el rango 1 , y su posición en la fila de elementos en donde deseamos contar el número de inversiones del orden. Sean $D(1)$ y $L(1)$, respectivamente, representativos del número de elementos que están hacia la derecha y hacia la izquierda de 1 . Excluimos el elemento mismo, de modo que como verificación debemos tener

$$D(1) - L(1) = (n - 1)$$

Tomemos la diferencia

$$h(1) = D(1) - L(1)$$

y repitamos la misma cosa para el elemento con el rango 2 después de eliminar el primero, de modo que $D(2) - L(2) = n - 2$.

Es posible demostrar que el número total de inversiones del orden es igual a la suma de todas estas diferencias, es decir:

$$s = \sum_i h(i)$$

Del mismo modo que el coeficiente de Spearman, el de Kendall es igual a uno sólo si la correspondencia entre las dos series de rangos es perfecta y (-1) si las series de rangos están invertidas.

Es posible demostrar que la distribución de K tiende a la normalidad cuando n tiende al infinito.

Aún cuando los dos coeficientes son diferentes en su concepción y método de cálculo guardan íntima relación. Es posible demostrar que la correlación producto-momento entre ellos se aproxima a $1 - n/4$ para los grandes valores de n . También para los grandes valores del tamaño de la muestra la relación S/K está en la vecindad de $3/2$.

Referencias:

- M. G. Kendall, The advanced theory of Statistics.
- M. G. Kendall, Rank correlation methods.
- E. S. Pearson y H. C. Hartley, Biometrika Tables for Statisticians.

