

A. Ventura

Distr.
RESTRINGIDA

LC/R.1383
9 de mayo de 1994

ORIGINAL: ESPAÑOL

CEPAL

Comisión Económica para América Latina y el Caribe

ENERGIA Y TRANSFORMACION PRODUCTIVA CON EQUIDAD

**UNA GUIA METODOLOGICA PARA LAS ESTIMACIONES DE DEMANDA DE
ENERGIA EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE */**

*/ Este trabajo fue preparado por el Programa de Investigaciones en Energía (PRIEN) de la Universidad de Chile. Su elaboración estuvo a cargo de Pedro Maldonado y Miguel Márquez y contó con la colaboración de Iván Jaque y los comentarios de Héctor Castro y William Sánchez. Las opiniones expresadas en este documento son de la exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización.

No ha sido sometido a revisión editorial.

94-5-618

INDICE

	<u>página</u>
Presentación	1
I. Energía y previsión de la demanda de energía en América Latina y el Caribe	5
1.1. La energía y el desarrollo sustentable	5
1.2. La previsión de la demanda de energía y la planificación	6
1.3. Quién hace y para quiénes se hacen las previsiones de demanda de la energía	7
1.4. La previsión de la demanda de energía en la región: problemática y especificidades	8
II. Los métodos "cualitativos" en la previsión de demanda de energía: el método Delfos	13
III. La previsión de la demanda de energía a partir de los métodos clásicos	16
3.1. Series de tiempo	16
3.1.1. Las técnicas de suavización	17
3.1.2. Métodos de descomposición	19
3.1.3. Los modelos ARIMA	20
3.1.4. Los modelos de función de transferencia	23
3.1.5. Virtudes y limitaciones	23
3.2. Modelos estructurales o causales	24
3.2.1. La regresión y los modelos econométricos	25
3.2.2. La elasticidad y los modelos	30
3.2.3. Criterios para la elección de un modelo correcto y ventajas y limitaciones de los modelos econométricos	31
IV. Previsión de la demanda de energía a partir de su uso final: un enfoque metodológico alternativo	34
4.1. Una opción metodológica alternativa a los métodos clásicos	35
4.1.1. General	35
4.1.2. Parámetros a considerar en la evolución de la demanda	37
4.1.3. Requerimientos de una metodología de previsión basada en el uso final de energía	38

4.1.4	Identificación de los usos finales por sectores de la economía y por categorías de servicios	39
4.1.5	Tecnologías energéticamente eficientes	40
4.2.	Enfoque metodológico basado en la evaluación del uso final de la energía	45
4.2.1	Identificación de los mecanismos de formación y evolución de la demanda	45
4.2.2	Análisis sistémico de la demanda de energía	48
4.2.3	Método de escenarios	48
4.2.4	Distribución del consumo sectorial por usos finales	49
4.3.	Demanda del sector residencial	50
4.3.1	Sector residencial urbano	50
4.3.1.1	Cocción de alimentos	51
4.3.1.2	Iluminación	53
4.3.1.3	Acondicionamiento térmico de ambientes	54
4.3.1.4	Calentamiento de agua para lavado personal, de ropa y vajilla	56
4.3.1.5	Preservación de alimentos, recreación, planchado de ropa	56
4.3.2	Sector residencial rural	57
4.4.	Sector agrícola	58
4.4.1	Agricultura de subsistencia	58
4.4.2	Agricultura moderna	59
4.5.	Sector transporte	59
4.5.1	Transporte particular	60
4.5.2	Transporte público urbano	61
4.5.3	Transporte público interurbano	62
4.5.4	Transporte ferroviario	63
4.5.5	Transporte aéreo	64
4.6.	Sector industrial y minero	64
4.6.1	Requerimientos de energía característicos del sector manufacturero	65
4.6.2	Industrias fuertemente consumidoras de energía (IFCE)	66
4.6.3	Industrias livianas y/o de bajo consumo de energía	71
4.7.	Sector público y comercial	74
	Notas y bibliografía	75

PRESENTACION

Dado que la energía es uno de los eslabones más importantes de las actividades del hombre, nada más auspicioso para la CEPAL el presentar esta guía como la continuación de los esfuerzos de la institución, tendientes a vincular la energía con aquellas tareas que derivan de percibir al desarrollo de América Latina y el Caribe como un proceso de transformación productiva con equidad en armonía con el medio ambiente.

Si bien el vínculo del sistema energético con el productivo no parece necesitar de mayores explicaciones, en la medida en que el tema ha sido suficientemente debatido, no sucede lo mismo con la sustentabilidad de los procesos de desarrollo energéticos y la relación entre energía y equidad y, en este contexto, los desafíos que desde el punto de vista de la energía, suponen los cambios estructurales sugeridos por esta Secretaría.

En efecto, la propuesta de transformaciones productivas con equidad elaborada por la CEPAL a principios de 1990, integra en un todo coherente los esfuerzos de conceptualización desplegados por la Secretaría con el objeto de identificar opciones que permitan no sólo recuperar una senda de crecimiento sino además, superar los rezagos en los ámbitos de equidad y el medio ambiente.

Los criterios que sustentan dicha propuesta, asignan un rol preponderante a la competitividad internacional, a la industrialización como portadora privilegiada del progreso y cambio tecnológico, a la conservación del medio ambiente y finalmente, al crecimiento sostenido con equidad.

La energía constituye un campo propicio y rico en potencialidades para abordar algunos de los aspectos centrales de dicha propuesta desde el momento en que se considera la estrecha relación existente entre patrones de consumo de energía, intensidad energética y niveles de actividad económica. A su vez, el grado de eficiencia con que es utilizada la energía es en gran medida tributario del progreso técnico, sea éste inducido o espontáneo, lo que normalmente redundará en incrementos en la productividad, condición *sine qua non* para la obtención de una mayor competitividad.

En lo que a la sustentabilidad respecta, este estudio parte de la constatación que parte importante de los problemas ambientales de mediano y largo plazo que preocupan a la humanidad están directamente vinculados a la energía. Algunos son de carácter nacional o internacional tales como el efecto invernadero, el deterioro de la capa de ozono, la deforestación y desertificación, la lluvia ácida y la eliminación de desechos nucleares. Hay otros de carácter más local, aunque igualmente importantes, como son los desplazamientos de poblaciones, la inundación de tierras agrícolas y los cambios climáticos que provocan las grandes centrales hidroeléctricas, la contaminación atmosférica, los accidentes nucleares, los derrames de petróleo, etc.

La experiencia indica que la relación de la energía con la equidad es estrecha. En efecto, pese al elevado peso que la energía posee en el gasto total que realizan las familias de bajos

ingresos, éstos no sólo no satisfacen los requerimientos mínimos en términos de un adecuado confort térmico, por mencionar un aspecto, sino además, las necesidades son satisfechas en detrimento de la calidad de vida, como sucede con la contaminación intra-domiciliaria, especialmente con el uso de la leña. Asimismo, una baja energización normalmente aparece ligada a una baja productividad, como es el caso de los sectores rurales o aislados.

En síntesis, el desafío que enfrentan los responsables de las políticas energéticas consiste en reforzar y potenciar, mediante sus políticas, las acciones realizadas en otros campos destinados a dinamizar las transformaciones productivas con equidad, y particularmente a superar los rezagos que presenta la Región en términos de productividad, preservación del medio ambiente y equidad.

Los diversos aspectos evocados y su relación con la energía, superan con creces los objetivos para los cuales este estudio fue elaborado; sin embargo, esto no quiere decir que estén desligados. Por el contrario, a la luz de lo acontecido en otros países, desarrollados particularmente, es posible afirmar que, tanto los ejercicios de planificación en general, como los de previsión de la demanda de la energía, en particular, estarían incompletos de no tomar en cuenta el rol determinante del progreso científico y tecnológico y su incidencia en la productividad y competitividad, los impactos que sobre el medio ambiente derivan de la explotación, producción, uso y consumo de la energía, así como la energización de zonas rurales y aisladas, lo que consecuentemente, obliga a los países y empresas de la Región, dedicar los esfuerzos necesarios tendientes a considerar dichos aspectos como de los más importantes en este tipo de ejercicios.

Este trabajo tiene por objeto elaborar una guía que asista a los responsables de la planificación estratégica y operativa de la energía, en la selección de opciones metodológicas para prever la demanda de este insumo fundamental para el desarrollo de la Región.

Ella tiene en cuenta las limitaciones de los organismos que normalmente realizan estas funciones en la Región así como las particularidades de los balances energéticos, específicamente, la importancia de la biomasa y las dificultades que, para las previsiones de energía significa el hecho de no llevar registros adecuados de su consumo o que en algunos casos, este energético prácticamente se ignore.

En principio, la guía está destinada a los planificadores del Estado, ya sean nacionales, sectoriales o regionales. Sin embargo, muchos de los elementos que se presentan en ella pueden ser utilizables directamente por las empresas o proporcionar elementos de juicio para sus previsiones de demanda. En cualquier caso, la tendencia generalizada a la privatización del sector no implica renunciar a la responsabilidad de prever la demanda de energía tanto por parte de los organismos públicos como de las empresas privadas. Una correcta previsión de ésta contribuirá al adecuado dimensionamiento del aparato productivo del sector y también al diseño de políticas que contribuyan a la sustentabilidad del desarrollo de los países.

Los modelos presentados en esta guía deben considerarse como una herramienta igualmente válida, tanto en el caso de los organismos que realizan una planificación indicativa como de aquellos que llevan a cabo una planificación normativa; ya sea para los modelos más clásicos de previsión de la demanda como para aquellos basados en el uso final de la energía.

El énfasis asignado a estos últimos se explica por la necesidad de disponer de previsiones que permitan integrar oportunamente: los cambios estructurales mayores que afectan a la economía, los impactos de las políticas económicas, ambientales o energéticas, el proceso de urbanización de los países, el proceso de sustitución de fuentes energéticas, la introducción y difusión masiva de nuevas tecnologías -más limpias y energéticamente eficientes-, lo que no siempre es posible de obtener mediante los modelos clásicos.

Esta guía es la continuación de un proceso iniciado con la preparación, por parte de la CEPAL, del documento "Short-Term Energy Forecasting Using Time Series Techniques: Chile, a Case Study", lo que explica el tratamiento menos detallado que ésta da a los modelos clásicos. Otros trabajos deberán obligatoriamente seguir a esta guía y al documento mencionado, para ir completando los objetivos que la CEPAL se ha trazado en esta área. Entre otros, deberán abordarse temas como los siguientes:

- El desarrollo de metodologías rigurosas para integrar técnicas clásicas de previsión de demanda de energía con métodos basados en su uso final.
- Análisis y evaluación de los métodos cualitativos.
- Evolución del consumo de leña -con énfasis, aunque no exclusivamente, en el sector rural- y su incidencia en el desarrollo sustentable de los países de la Región; ello presupone analizar, por ejemplo: la incidencia del agotamiento del recurso, el proceso de sustitución de la leña por combustibles comerciales, la calidad térmica de la vivienda y su incidencia sobre el consumo de leña y otros combustibles.
- La energización de sectores marginales y/o rurales.
- Evaluación de las potencialidades de mejoramiento de la eficiencia con que se usa la energía en la Región.
- El desarrollo, a partir de estudios de casos, de metodologías detalladas de previsión de la demanda para algunos sectores (residencial, industrial y/o transportes) a partir del uso final de la energía.
- Diagnóstico acerca del "estado del arte" del uso eficiente de energía y su incidencia en la planificación estratégica de los sistemas energéticos de la Región.
- Incorporación de las políticas ambientales en los modelos de previsión de la demanda energética.

En cualquier caso, la guía elaborada no pretende, por su carácter de tal, dar un tratamiento acabado a los distintos métodos presentados en ella. Los escenarios deberían incorporar las particularidades propias del país o región considerado y profundizar el tratamiento de las áreas y/o ramas industriales que concentren el consumo de la energía.

Del mismo modo, aún cuando se sugieren algunas opciones para enfrentar la falta de información básica que exigen los modelos, sólo el criterio y la experiencia del responsable de los ejercicios de previsión permitirán adoptar los caminos correctos para superar las inevitables barreras que impiden dichas insuficiencias.

I. ENERGÍA Y PREVISIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

1.1. LA ENERGÍA Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE

Si bien la energía, o el uso de ella, está de una u otra forma asociada a la satisfacción de las necesidades del hombre y la búsqueda de un mayor bienestar, no es menos cierto que en forma creciente, ésta, es percibida como un agente de deterioro ambiental.

Históricamente, en América Latina las variaciones en los consumos de energía, particularmente de la electricidad y de los derivados del petróleo, han sido considerados adecuados indicadores de la actividad económica. A través de éstos, los aumentos en los consumos sugieren que las economías están en crecimiento, y a la inversa, cuando los consumos disminuyen, ello es reflejo o se asocia en forma automática a una pérdida de dinamismo y/o de crecimiento. El asunto, sin embargo, no es tan sencillo, ya que normalmente tales indicadores dicen poco o nada respecto de cómo esta energía es usada.

El punto es importante para entender, aunque sea de manera parcial, la estrecha relación entre la energía y el desarrollo sustentable. Por una parte, no necesariamente todo incremento en el consumo de energía significa crecimiento *per se*, en la medida en que esa energía puede estar siendo usada en forma ineficiente, y por otra, porque en el caso de los recursos no renovables, no existe registro alguno que permita descontarlos del patrimonio nacional y paralelamente, contrastarlos con "lo creado" para poder afirmar que el uso otorgado a esa energía, o a los recursos naturales de donde ella proviene, ha dado como resultado un crecimiento económico *real* y no un crecimiento *espúreo*. En buenas cuentas, un crecimiento logrado "contablemente", dado que no se registran las disminuciones de stock, podría atentar contra la sustentabilidad del proceso de crecimiento, pudiendo comprometerse de manera irreversible aspectos vitales del desarrollo.

Además, la mayor parte de los países de América Latina está lejos de superar los problemas económicos y financieros que marcaron la década de los 80, en los cuales la deuda energética tiene aún gran peso y enfrentan, en mayor o menor grado, dificultades crecientes para hacer frente a las cuantiosas necesidades de inversión del sector. A estos persistentes problemas por allegarse recursos económicos y financieros, se agregan aquellos derivados de la sustentabilidad de los procesos en general y de la producción y uso de la energía en particular.

En efecto, en la larga cadena que va desde la explotación hasta el uso de la energía se producen significativos e importantes impactos ambientales, positivos y negativos.

Un somero repaso de los impactos positivos debiera consignar aquellos relativos a: la energización de zonas aisladas y rurales, la incorporación de nuevas actividades productivas, el aumento de la productividad, la recuperación de cuencas, el aumento en la calidad de vida de vastos sectores de la población, etc. Tales impactos positivos, influyen de manera significativa no

sólo en los niveles de actividad económica en general sino además, normalmente, redundan en mayor equidad.

Por el contrario, de no adoptarse las debidas precauciones en los proyectos de producción o en el uso de la energía, es posible que se vea afectado el entorno biofísico, como resultado de las construcciones de grandes centrales hidroeléctricas y el uso de combustibles fósiles en el transporte urbano, consumo residencial y la industria.

Una de las lecciones de la crisis de los años 80, consistió en entender que la energía no es más que un medio para satisfacer los requerimientos de la sociedad y no un fin en sí mismo. Vistas así las cosas, la envergadura y naturaleza de los problemas del desarrollo de América Latina, trascienden los convencionales para ser también ambientales. Ello sugiere que una estrategia energética que dé respuestas, desde su particular área, a esta problemática, debería satisfacer los requerimientos energéticos del desarrollo optimizando el uso de los recursos naturales, financieros y ambientales involucrados. Vale decir, que los desafíos que deben hacer frente los diversos actores involucrados en el sector energético de cada país de la región, superan hoy día con mucho, el asegurar de manera oportuna y eficiente el aprovisionamiento de energía.

1.2. LA PREVISIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA Y LA PLANIFICACIÓN

La gravitación que el sector energético ha ido adquiriendo en los países de la región, guarda estrecha relación con el dinamismo alcanzado por los respectivos procesos de desarrollo. Los mayores niveles de actividad económica, así como la búsqueda incesante de una mayor satisfacción colectiva, tanto en términos cuantitativos como cualitativos, presionó para que se intensificara y expandiera la oferta energética.

Los elevados impactos vinculados al desarrollo del sector, han ido sofisticando las diversas herramientas destinadas a optimizar la asignación de los recursos y perfeccionar la evaluación de los impactos.

En este contexto, los planificadores y los profesionales del sector energético han destinados esfuerzos conducentes al perfeccionamiento de los instrumentos analíticos de previsión a fin de enfrentar de manera rigurosa y eficaz: *la incertidumbre y los riesgos* asociados¹.

Diversos son los elementos y aspectos que entran en juego en el momento de selección del método, ello dependerá, entre otros, de la calidad de la información y confiabilidad de la cifras, de la naturaleza de las mismas (fuente u origen de éstas) y de los objetivos buscados con tales ejercicios.

En términos generales, el objetivo de las previsiones de demanda de energía, es prevenir posibles dificultades en el suministro y/o evitar sobrecapacidades. Dicho de otra forma, el objetivo

al cual apuntan las estimaciones de demanda, es reducir el margen de error, sin descuidar que estos ejercicios sean consistentes con los costos que supone el efectuar tales pronósticos.

Vistas así las cosas, la estimación de la demanda de energía, es percibida en esta guía, como parte de un proceso más amplio que tiene que ver con la planificación del sistema energético. En este sentido, el estudio intenta hacer un listado exhaustivo de un conjunto de herramientas estadísticas y matemáticas, que además de dar cuenta del problema de la oferta energética o del consumo de energía, permiten entender cómo satisfacer las necesidades básicas en un marco de sustentabilidad y viabilidad de los procesos de desarrollo en el largo plazo.

1.3. QUIÉN HACE Y PARA QUIENES SE HACEN LAS PREVISIONES DE DEMANDA DE LA ENERGÍA

Las previsiones de demanda de energía pueden ser hechas por los gobiernos centrales o autoridades regionales y locales, los que desde las entidades u organismos "ad-hoc" tienen como mandato pensar el largo plazo y diseñar e implementar la estrategia y políticas energéticas adecuadas.

Pero, las previsiones de demanda de energía son también realizadas por las empresas. Normalmente, en éstas, los medios y recursos asignados para la estimación de la demanda de energía, dependen de la importancia que el(o los) bien(es) posee(en) en el proceso productivo y en el negocio de la empresa. Es el caso de aquellas empresas que operan en el sector energético, principalmente petroleras, eléctricas, carboníferas, y aquellas vinculadas al transporte, a la distribución, la refinación, etc. En segundo lugar, están las empresas que pueden ser calificadas de intensivas en energía para las cuales, la energía, cualquiera sea la forma que ésta adopte, resulta crucial para el proceso productivo por su importancia relativa en la estructura de costos.

Para responder a los requerimientos de los gobiernos y empresas interesados en disponer de visiones prospectivas de la demanda de la energía es indispensable desarrollar un enfoque sistémico, lo que en cierta medida determina, como se constatará más adelante, las metodologías a elegir. Concebir al sector energético como un todo, permite hacer previsiones de demanda sobre el conjunto de los energéticos o parte de ellos.

Las estimaciones de demanda -de cualquier tipo- tienen frecuentemente como objetivo configurar escenarios probables según la historia del fenómeno, mientras que la planeación enfatiza lo que se espera o desea que ocurra en el futuro. Así, a través de la planeación se hace un intento consciente por alterar los eventos o las tendencias mientras que se utilizan las previsiones sólo para predecirlos. La buena planeación utiliza los pronósticos como insumo. Si los resultados de la previsión de demanda no son aceptables se puede diseñar un plan para cambiar el curso de los eventos. Las previsiones de demanda de energía constituyen un insumo para todos los tipos de planeación revelándose incluso, en el caso de las empresas, como una eficaz herramienta de control.

En la medida en que las estimaciones de demanda conforman un conjunto de datos y elementos importantes a tomar en cuenta en los procesos de planeación -a nivel gubernamental- y de gestión -en el caso de las empresas- éstas deben cumplir algunas condiciones mínimas, comunes en ambos casos, cualquiera sea el ámbito en el cual dichos esfuerzos son realizados, debiendo ser: oportunos, simples, claros, verificables, consistentes y precisos. Tales aspectos si bien aparecen como condiciones generales, deben ser matizados y adecuados tomando en cuenta no sólo para quién son hechas, sino además el ámbito, objetivo, plazos, métodos utilizados y costos bajo los cuales dichas previsiones son efectuadas.

1.4. PREVISIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA EN LA REGIÓN: PROBLEMÁTICA Y ESPECIFICIDADES

América Latina y el Caribe no es ajena al fenómeno de globalización creciente de la economía mundial que ha generado un ambiente tecnológico, económico y de mercado caracterizado por su cambio permanente y de extrema turbulencia. La automatización, la masificación de los nuevos materiales, las innovaciones radicales de las matrices tecnológicas, la revolución de las comunicaciones, la tercerización de la economía, la importancia crítica de la variable ambiental en la aprobación de los créditos por parte de las agencias multilaterales, empiezan a influenciar en forma ineludible la operación y el proceso de toma de decisiones de los principales actores del sector energético, tanto en los países desarrollados como en las economías emergentes.

El mundo vive un cambio en los paradigmas de desarrollo². Para los países industrializados, lejanos están los tiempos de la industrialización antropocéntrica y, en vías de abandono, la industrialización con protección ambiental ex-post. Con distintos ritmos, esos países incorporan a su política de desarrollo la industrialización autosustentada³. Los países latinoamericanos seguirán, probablemente, similar trayecto, aunque a un ritmo más acelerado y a costos relativos más elevados, presionados, además, por las barreras aduaneras "verdes" a sus exportaciones, tradicionales o no.

Los cambios en los patrones de consumo empiezan tímidamente, pero cada vez con más fuerza, por lo menos en los sectores que asumen el rol de pensar la sociedad del futuro, a delinearse y manifestarse con mayor precisión; en cualquier caso, ellos influenciarán, en mayor o menor grado, la evolución de la demanda de energía.

Los métodos de previsión de la demanda de energía deberán considerar las variables anteriores a fin de: (1) reducir los riesgos de sobre o sub inversión, (2) conocer y evaluar en su verdadera dimensión la incidencia de los nuevos actores en el campo de la energía (cogeneración, autogeneración, empresas de servicios energéticos), (3) la legislación medio ambiental, (4) anticipar la evolución y estructura de la oferta energética, (5) identificar y considerar los cambios en la estructura de la economía, (6) determinar los efectos de la internacionalización de las economías de la Región.

El análisis de los efectos de dichas variables sobre la demanda energética constituye, por un lado, un esfuerzo de largo aliento, el que, en el proceso de planificación y previsión de la demanda deberá abordarse por etapas, de manera de ir incorporando sucesivamente los resultados de cada una de ellas, y por el otro, exige, de parte de los encargados de elaborar tales previsiones, la identificación y uso de herramientas más eficaces y adecuadas que aquellas basadas fundamentalmente en las tendencias históricas.

A estas consideraciones de carácter global, se suman aquellas especificidades posibles de advertir en los países de América Latina y el Caribe las que tienen que ver: (1) con la dotación de los recursos energéticos en sí, (2) con los diversos aspectos relativos al perfil energético de un país determinado y, (3) con la "experiencia" de los diversos actores involucrados en la gestión y operación del sector, en ejercicios de previsión de la demanda de energía.

Una somera revisión de la estructura energética de los países de América Latina permite afirmar que pese a las disparidades posibles de constatar en la Región, en términos de disponibilidad y uso de recursos (véase Recuadro I-1), la necesidad de prevenir la demanda es similar. Sin embargo, lo que sí incide en los métodos a elegir es la importancia del sector energético o de la energía en la actividad económica en general, la mayor o menor sistematización y rigurosidad con que son asumidas estas tareas y finalmente, la magnitud de los recursos que los entes involucrados (autoridades locales y/o empresas) destinan a tales ejercicios. En ese contexto, no es del todo aventurado afirmar que serán aquellos países con mayor experiencia en la gestión del sector los que estarán en mejores condiciones para adoptar sofisticados métodos de previsión.

Desde el punto de vista metodológico, la biomasa merece una consideración especial. Ello, no sólo porque esta fuente es la segunda en importancia después del petróleo, sino además, porque contribuye a la satisfacción de los requerimientos energéticos de la mayoría de los sectores. A diferencia de las fuentes no renovables, sin embargo, gran parte de su producción, comercio y consumo se desenvuelve en lo que se ha dado en llamar las economías informales. Desde el punto de vista del planificador, tal fenómeno es normalmente sinónimo de ausencia de registros y estadísticas confiables, dificultando las tareas propias a la planificación en general y de las estimaciones de demanda en particular.

RECUADRO I-1**Los Recursos Energéticos en América Latina y el Caribe***

Desde el punto de vista de la energía, en América Latina y el Caribe se constata una amplia y diversa gama de recursos energéticos, estructuras de producción, consumo y comercio de energía, así como sistemas de gestión y operación del sector. Uno de los más importantes recursos es la **hidroelectricidad**, explotada bajo esquemas similares a los conocidos en el resto del mundo. Casi todos los países disponen en mayor o menor grado de este recurso.

La **biomasa** es la fuente que provee energía al mayor número de habitantes de la región tanto rurales como urbanos, y su contribución, a la matriz energética, tanto en lo que respecta a la producción (15%) como al consumo (19%), es de las más importantes.

A diferencia de las fuentes renovables, la distribución de los combustibles fósiles, hidrocarburos y carbón es bastante desigual. En lo que al **petróleo** respecta, la fuente más importante a nivel de la región (60% de la producción y 51% del consumo), se pueden distinguir tres tipos de situaciones:

- aquellos países que presentan un equilibrio entre producción y consumo y poseen experiencia marginal, ya sea como importador o exportador de crudo y derivados, tales como Argentina, Bolivia, Colombia y Perú;
- exportadores netos de petróleo como Ecuador, México, Trinidad y Tobago, Venezuela; e,
- importadores netos de petróleo, conformados por los países de América Central, del Caribe (excepto Trinidad y Tobago), Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay.

Con respecto al **gas natural**, su uso masivo se ha desarrollado en la década de los ochenta de manera similar a lo que ha ocurrido en Europa. A los ya conocidos caso de México, Argentina y Venezuela, su consumo comienza a expandirse en Brasil, Colombia y Chile. Se constata un importante comercio internacional entre Bolivia y Argentina, Bolivia y Brasil y el desarrollo de virtuales acuerdos entre Chile y Argentina. Posee a la relativa disponibilidad del recurso en algunos países de la región, la explotación a nivel interno es escasa.

El **carbón**, no representa una importante fuente de energía ni en términos de recursos, producción (4%) o consumo (4%). La excepción la constituye Colombia que posee importantes reservas y cuya explotación está dedicada fundamentalmente a la exportación. Además de Colombia, Brasil, México, Perú y Chile utilizan carbón producido localmente.

Finalmente, en el caso de la **energía nuclear**, sólo Argentina y México han desarrollado programas para el suministro de electricidad de cierta significación.

* Fuente: Datos de OLADE.

La calidad de la información -cualitativa y cuantitativa- es esencial para la buena previsión de la demanda. Tal condición es, en general, independiente de las metodologías y técnicas de pronósticos utilizados, aún cuando condicionan los métodos a usar. Como se verá más adelante, diferentes tipos de datos pueden requerir de diferentes métodos y/o técnicas de ajuste.

La literatura que aborda el tema normalmente previene que datos erróneos conducen inevitablemente a estimaciones erróneas. Subsanan tales deficiencias y evitar riesgos, supone que quien hace las previsiones de demanda revise los datos a utilizar, identificando los puntos extraños ("outlayers") de las series.

Por otra parte, la disponibilidad de escasos datos resta confiabilidad a determinadas metodologías. Es el caso de modelos econométricos o de ciertas técnicas complejas basadas en series de tiempo.

Otra de las condiciones que deben ser observadas, en la selección del método de previsión de la demanda son el tiempo y los recursos disponibles. En efecto, esto puede incluir el tiempo de los usuarios, de las personas que realizan el pronóstico, de quienes obtienen los datos, así como de los responsables de la previsión y de los organismos que registran la información.

Un tercer aspecto a considerar en la selección de los métodos, es aquel que se refiere al objetivo de las previsiones de demanda y el tipo de decisiones que ella -implícita o explícitamente- involucrará. Lo que interesa destacar aquí, es el hecho que el uso para el cual se elaboran las previsiones, está estrechamente relacionado tanto con las características y el grado de exactitud requerida por el tipo de decisión involucrada; como con el horizonte de tiempo del pronóstico y con el número de productos o energéticos a pronosticar. En el caso de los pronósticos de largo plazo, por mencionar un ejemplo, en que el objetivo central es la programación, planeación o modelación, la experiencia indica que los métodos cualitativos (formalizados), así como los modelos econométricos y aquellos basados en el uso final de la energía suelen ser más útiles y precisos -habida cuenta del horizonte de tiempo y el número de variables a tomar en cuenta- que aquellos basados en series de tiempo.

A estos factores se suma un cuarto, que tiene que ver con la sofisticación del usuario y del sistema⁴.

El desarrollo de mejores y nuevos métodos de estimaciones de demanda ha tendido a incorporar complejas herramientas matemáticas y/o financieras y especializados programas computacionales lo que ha influido, en su relativo alejamiento de las instancias de decisión. Tal fenómeno se advierte, no solamente a nivel gubernamental sino también en las empresas. Es por ello que, por un lado, los modelos deben ser lo suficientemente comprensibles por los niveles encargados de tomar las decisiones, evitando de esta manera el rechazo a utilizar resultados difíciles de entender; y por el otro, deberían no estar demasiado alejado de los sistemas de pronósticos actuales, con el fin de permitir, en tiempos y costos razonables (capacitación, obtención y/o reordenamiento de la información e implementación de sistemas informatizados, etc.) dicho traspaso. La complejidad de los métodos de estimación, como bien se señala, no debe

ser un objetivo en sí, más aún cuando modelos simples pueden tener similares o mejores resultados.

Finalmente, en algunos casos puede ser suficiente reducir los datos disponibles a una forma gráfica de manera tal de determinar el patrón de datos. Este paso puede ser muy útil para determinar la presencia de tendencias, ciclos, estacionalidades. Por el contrario, existen casos en que debe recurrirse a métodos más complejos, particularmente cuando se está en presencia de cambios estructurales, como pueden ser modificaciones en la importancia relativa de la leña o cambios en los coeficientes de intensidad energética globales o sectoriales, lo que exigiría recurrir a modelos más elaborados.

Los métodos de previsión de la demanda de energía abordados en esta guía son: el método Delfos, los métodos clásicos y el método técnico-económico, basado en el uso final de la energía.

II. LOS MÉTODOS "CUALITATIVOS" EN LA PREVISIÓN DE DEMANDA DE ENERGÍA: EL MÉTODO DELFOS

Los modelos elaborados a partir de estos métodos presentan un menor grado de formalización que los modelos clásicos y sus estructuras dependen de quienes toman las decisiones y/o elaboran los métodos. En el caso de grandes empresas, normalmente tal labor recae en los niveles gerenciales y en altos cuadros oficiales, cuando se trata de niveles de gobierno o de entes planificadores nacionales o locales.

Los modelos cualitativos son útiles para las previsiones de largo plazo, influenciados por variables difíciles de definir, lo que no invalida la necesidad de una formalización y sistematización adecuada. Más aún, la calificación de estos métodos como "cualitativos" podría no ser la más afortunada en la medida que su formalización, implementación e incluso sus resultados poseen una fuerte componente cuantitativa como se podrá constatar en las páginas siguientes. Estos enfoques metodológicos pueden constituirse en eficaces complementos a métodos cuantitativos, en la medida en que permiten a las personas encargadas de elaborar las previsiones de demanda hacer un mejor uso de los escasos o parciales datos disponibles.

En suma, estos métodos deben ser usados cuando los datos del pasado no resultan confiables como indicadores del futuro, o cuando no existan otros métodos, que a costos y tiempos razonables, permitan llenar tales carencias.

Los métodos cualitativos más frecuentemente citados son la curva-S⁵ y Delfos.

El primero de los mencionados, es calificado como un método exploratorio, y está basado en la fase de introducción, crecimiento y saturación de productos similares. Considerando las particularidades de los dos métodos antes mencionados y su eficacia en las previsiones de energía sólo se abordará en esta guía el método de Delfos.

Este método, es calificado como un método normativo en la medida en que se definen escenarios globales, éstos es, se asume un determinado valor de la (o las) variable(s) explicativas globales tales como: tasa de crecimiento del PIB, demográfica, sectoriales, etc. y luego a la luz de los distintos escenarios conformados se evalúan los impactos sobre la variable cuya demanda futura interesa conocer. Su uso está asociado a los pronósticos de largo plazo, ya sea de ventas, o para la planeación de capacidades o instalaciones, por ejemplo⁶.

La experiencia indica que este tipo de modelo se ajusta mejor a la previsión de demanda para el mediano y largo plazo (véase Recuadro II-1). Su implementación, particularmente en el caso de las empresas, puede resultar útil para abordar problemas de difícil estructuración. Requiere del concurso de diversas especialidades y las opiniones o estimaciones, debieran ser lo más libres e independientes unas de otras.

RECUADRO II-1**América Latina y el Caribe: Escenarios de energía en el largo plazo**

A mediados de 1990, el Consejo Mundial de la Energía (WEC-World Energy Council), estableció una Comisión llamada "Energía para el Mundo del Futuro: Las realidades, las opciones y las tareas para su realización". El principal objetivo de esta Comisión era: "...identificar un marco de referencia realista para la solución de asuntos energéticos regionales y globales, en el que puede darse un suministro de energía sostenible y a costos aceptables para satisfacer las necesidades de todas las personas, con eficiencias óptimas de producción y consumo final, y que además permita proteger y cuidar el medio ambiente de una manera socialmente aceptables". El énfasis, sería puesto en las opciones reales y en las vías "creíbles" para lograr tal objetivo. El interés del Consejo Mundial de la Energía era el de colaborar en el establecimiento de una agenda global de acción entre el año del inicio del ejercicio y el año 2020 (o más), basado en un agregado de propuestas regionales, enfatizando las prioridades que cada región posee en términos de urgencia e importancia y evaluando cómo dichas prioridades podrían afectar el suministro y uso de energía, y cómo posibles restricciones externas podrían afectar la manera y los tiempos en que dichas prioridades podrían satisfacerse.

La Comisión determinó *a priori* algunos elementos claves en los cuales se encontraban los mayores riesgos y oportunidades. Estos eran: el crecimiento de la población; el crecimiento económico; costos, intensidad y eficiencia energéticas; financiamiento de la energía y políticas de inversión; requerimientos para la protección del medio ambiente; opinión pública y energía; aceptabilidad de las diversas formas de energía; reservas de fuentes de energía convencionales; las fuentes de energía renovables; las tecnologías energéticas; los precios de los energéticos y la regulación del sector; aspectos institucionales de la energía; impactos sociales; y la evolución de los mercados.

Metodología

En la construcción de escenarios, fueron utilizados dos métodos: la curva "S", para mostrar a través de modelos matemáticos simples el comportamiento histórico de las principales variables consideradas; y el método Delfos, con el fin de incorporar la opinión de expertos respecto de posibles cambios tanto en las tendencias, como de carácter cualitativo en los escenarios posibles. En este ejercicio -que incluyó tres cuestionarios- participaron un poco más de 170 expertos de 12 países de la Región. El primero, para determinar la importancia relativa de los diferentes tópicos, así como algunas respuestas de carácter más cuantitativas, alternativas y actores a considerar en los escenarios, y los dos restantes, que constituyeron sendas rondas de consulta propios al método empleado. Las preguntas formuladas en el segundo cuestionario, tomaban en cuenta los resultados del primero y las sugerencias hechas por la citada Comisión. Estos cuestionarios fueron aplicados en cada uno de los países. En cada país se llevó a cabo una reunión organizada por un experto local. Las reuniones, incluían una sesión abierta para luego obtener una opinión estructurada. Finalmente, estas actividades fueron complementadas con una reunión con funcionarios de alto nivel de la OLADE y diversas reuniones con expertos no-energéticos, con el fin de analizar y complementar los resultados obtenidos en las tres rondas que consultaba el ejercicio delfos.

Resultados

El informe final, da cuenta de los aspectos más relevantes -según la opinión de los expertos- que intervienen en la determinación de la oferta y el consumo de energía para América Latina y el Caribe. Estos fueron: el crecimiento de la población; la urbanización; la fuerza de trabajo; el consumo de energía y los estilos de vida; la distribución de la riqueza; el consumo de energía per capita, la intensidad energética y el uso eficiente de la energía y la oferta de energía. Se determinaron 7 escenarios "energéticos" posibles, a partir de 4 variables básicas: la población total; el PGB; consumo y producción de energía primaria (comercial). Los escenarios también incluyeron algunas variables combinadas, como por ejemplo: PGB per capita; intensidad de energía primaria; consumo de energía comparada con la producción de energía. Otros fueron contruidos usando estas variables combinadas como si fuesen variables independientes.

Más allá de las cifras o proyecciones obtenidas a partir de los diversos escenarios elaborados, expuestos en el informe final, los resultados representan una variedad de opciones consideradas plausibles y dan cuenta de la complejidad de las interrelaciones y el peso relativo de cada una de las variables consideradas según el contexto en que sean asumidas.

El informe -según la Comisión- si bien es aún insuficiente en tanto programa de políticas energéticas para la Región o un agenda de acción, provee las bases para ello, pudiendo ser por tanto un adecuado y útil punto de partida para definir éstas.

III. LA PREVISIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA A PARTIR DE LOS MÉTODOS CLASICOS

Tal clasificación abarca los métodos de previsión de la demanda divididos en dos grandes familias: aquellas basadas en series de tiempo y las elaboradas a partir de métodos causales o estructurales.

Dado que existe una vasta literatura especializada en este campo, en este capítulo se pretende presentar las técnicas o métodos de previsión de la demanda más usadas en el campo de la energía, ya sea en forma agregada o por fuentes, con énfasis en aquellos que respondan más adecuadamente a los requerimientos de los países de la Región, destacando sus condiciones de uso.

3.1. SERIES DE TIEMPO

Estos métodos son ampliamente utilizados en los ejercicios de previsión de la demanda energética, particularmente en aquellos de corto plazo tal cual lo corrobora un exhaustivo estudio elaborado por CEPAL⁷.

La previsión de la demanda efectuada a partir de estos métodos⁸, se apoya fundamentalmente en los datos históricos. En las series de tiempo, el objetivo es la variable a proyectar y el tiempo. Como bien señala el estudio citado, estos métodos no poseen una lógica explícita más allá de la matemática implícita, lo cual constituye una limitación para su utilización en decisiones de política, ya sea de carácter económica o energética.

Uno de los supuestos básicos generalizable a estos tipos de métodos es que el valor de la demanda es la resultante del comportamiento o la influencia de los siguientes factores: nivel promedio, tendencia, estacionalidad, ciclos y error.

En base a los datos históricos, se identifican las magnitudes y la forma que adopta cada uno de estos componentes; éstos a su vez, se proyectan hacia el futuro dependiendo del horizonte elegido. Un pronóstico basado en estos métodos resulta confiable cuando una medida apropiada de los errores sea pequeña y cuando pueda suponerse que el comportamiento histórico de la serie puede repetirse en el futuro.

Una forma de presentación de una serie de tiempo es la que se expone a continuación:

$$Y_t = (a + b_t) [f_t] + e$$

en donde:

- Y_t : demanda durante el periodo t
- a : nivel
- b_t : tendencia

- f_t : factor de estacionalidad (multiplicativo)
 e : error (aleatorio)

Cada uno de estos componentes se estima a partir de los datos históricos para poder elaborar una ecuación que permita hacer los pronósticos.

Los métodos por series de tiempo más adecuados para la estimación de demanda de energía son: las técnicas de suavización, los de descomposición, los modelos ARIMA (Box-Jenkins) y las funciones de transferencia.

3.1.1. Las técnicas de suavización

Estos métodos consisten básicamente en obtener a partir de las series originales, una serie "suavizada", que se utiliza para realizar los pronósticos.

Sin duda el método más simple de suavización es el promedio móvil, el que contempla un componente de nivel y una aleatoria. No incorpora estacionalidad, tendencias ni componentes de los ciclos en datos de la demanda. Sin embargo, existen versiones más avanzadas del promedio móvil que sí los incluyen.

La forma que adopta dicho modelo, es la siguiente:

$$Y_t = \frac{X_t + X_{t-1} + \dots + X_{t-n+1}}{n}$$

en donde:

- Y_t : demanda promedio del período
 X_t : demanda del período
 n : orden del promedio móvil

La operación definida por la expresión anterior, se denomina promedio móvil de orden n .

El mejor pronóstico para el periodo $t+1$, y_{t+1} , es simplemente una continuación de la demanda promedio observada a lo largo del periodo n .

De esta manera se obtiene:

$$y_{t+1} = Y_t$$

Cada vez que se calcula y_{t+1} , la demanda más reciente se incluye en el promedio, eliminando la más antigua. Este procedimiento mantiene un número n de periodos de demanda

dentro del pronóstico y permite que el promedio se mueva conforme se van comportando los datos de las nuevas demandas.

Por su estructura, los promedios móviles reaccionan de manera más lenta a los cambios que ocurren en la demanda mientras más largo sea el período con el que se hace el promedio.

Si bien, los promedios móviles tienden a dar estabilidad a los pronósticos por un lado, por el otro, no responden de manera adecuada a los cambios en los factores que afectan la demanda, tan común en los precios de los derivados del petróleo, por ejemplo. La mayor o menor precisión de este método reposará en gran medida en el criterio de selección hecho por el pronosticador respecto del largo del período (n) finalmente considerado. Ello definirá la compensación entre la estabilidad y la velocidad de respuesta de la serie a los cambios en la demanda.

Una forma de hacer que el promedio móvil responda con mayor rapidez a los cambios en la demanda, es otorgando un peso relativo mayor a la demanda más reciente incorporada en la serie: es el promedio móvil ponderado. Con este método se puede especificar cualquier peso relativo deseado.

La forma más adecuada para resolver algunas dificultades intrínsecas a las técnicas antes revisadas lo constituyen las técnicas de suavización exponencial.

La suavización exponencial se basa en la idea, de que es posible calcular un nuevo promedio a partir de un promedio anterior y de la demanda del período. Lo afirmado se puede expresar de la siguiente forma:

$$y_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)Y_{t-1}$$

en que:

- Y_{t-1} : promedio anterior
- X_t : demanda del período
- α : proporción del peso que se da a la nueva demanda contra la que se da al promedio anterior ($0 \leq \alpha \leq 1$)

En la medida en que se puede hacer variar de forma relativamente arbitraria el valor de α se puede de esta forma determinar el mayor o menor grado de velocidad con que Y responde a los cambios de la demanda.

Al igual que en el caso de los promedios móviles, se supone que la serie de tiempo no tiene ciclos ni tendencia, por lo que el pronóstico resultante de la suavización exponencial para el período deseado será el promedio obtenido hasta el período actual. La calificación de "exponencial" deriva de la forma que adquiere el promedio ponderado, en este caso, el peso otorgado a las nuevas demandas disminuye exponencialmente con el tiempo.

Según el estudio de CEPAL, existen otros métodos de suavización que si bien incorporan de manera adecuada la tendencia, no permiten manejar la estacionalidad por lo que en el caso de la energía (fuentes o productos), no serían recomendables para los propósitos de esta guía. Entre estos métodos se pueden mencionar los métodos de Brown y el método de Chow⁹.

Por el contrario, uno de los métodos de suavización que permite manejar la estacionalidad en las series de tiempo es el método de Winters¹⁰.

En este método, la forma de obtener las proyecciones es suavizando las observaciones históricas de manera exponencialmente decrecientes. El método utiliza tres ecuaciones para describir la serie y una cuarta para hacer proyecciones. Las tres primeras requieren de la búsqueda de la solución de tres valores de los parámetros. Cada uno de ellos representando las respectivas suavizaciones de componentes de las series: un parámetro α , que suaviza la aleatoriedad o probabilidad; un β que suaviza la estacionalidad; y un δ que suaviza la tendencia. Una vez que han sido tratadas las componentes de nivel, estacionalidad y tendencia, y obtenidos los valores para los parámetros citados, la cuarta ecuación es usada para efectuar la proyección.

3.1.2. Métodos de descomposición

Estos métodos, como su nombre lo sugiere, descomponen las series de tiempo a partir de sus componentes fundamentales; esto es:

$$y_t = f(S_t, T_t, C_t, E_t)$$

en que:

- S_t : variación estacional
- T_t : tendencia
- C_t : variación cíclica
- E_t : componente aleatoria

La operatoria consiste en identificar y proyectar de manera individual cada uno de los componentes, salvo la aleatoriedad.

El método Harrison es habitualmente utilizado en las previsiones de demanda de algunos energéticos, en particular, los derivados del petróleo. Este método permite abordar, bajo ciertas condiciones, series de tiempo con tendencia y estacionalidad¹¹.

3.1.3. Los modelos ARIMA¹²

En este caso se trata de una familia de modelos y una estrategia para la selección de aquel que se preste más a las características de la serie bajo estudio. Esta es una de las técnicas de predicción más utilizadas en las previsiones de demanda de energía ya que permite un análisis más preciso de los modelos propuestos (véase Recuadro III-1). Sin embargo, este método requiere de una cantidad mínima de datos (alrededor de 60), es costoso para pronósticos rutinarios de variados productos y complejo de aplicar comparado con las técnicas de descomposición o de ajuste exponencial. Su grado de precisión está en relación directa con los plazos; vale decir, es elevada en pronósticos a corto plazo, regular en el mediano y no buena en el largo plazo.

RECUADRO III-1

Análisis de las Ventas de Kerosene de las Compañías Distribuidoras de Petróleo: Caso de Chile

Una de las características básicas de las ventas históricas de kerosene de las compañías distribuidoras Esso, Copec y Shell, para el período 1970-1979, es el claro efecto estacional que presenta en los períodos de invierno y verano.

Inicialmente se consideró la información para el período 1970-1979 en el análisis pero la irregularidad de las series y ciertos resultados preliminares condujeron a descartar el período 1970-1973.

Un exhaustivo análisis utilizando la técnica de construcción de modelos de **Box-Jenkins**, indicó que la mejor caracterización de la demanda se logra mediante un modelo ARIMA (1,1,1) (0,1,1)₁₂ representado por la siguiente expresión:

$$X_t = -4,48 + 1,3(X_{t-1} - X_{t-13}) - 0,3(X_{t-2} - X_{t-14}) + X_{t-12} - 0,765e_{t-1} \\ - 0,868e_{t-12} + 0,665e_{t-13}$$

en que:

X_t : ventas de kerosene de las compañías distribuidoras en el mes t.
 e_t : error de predicción cometido en el mes t.

La expresión anterior indica que la predicción de ventas para un mes cualquiera, por ejemplo Julio, está influenciada por las ventas de Mayo y Junio y el error de predicción cometido en Junio, así como por las ventas de Mayo, Junio, Julio y los errores de predicción en Junio y Julio del año anterior.

La comparación de las predicciones obtenidas con las ventas reales durante dicho año (Cuadro 1), indica diferencias bastante apreciables para ciertos meses aunque la predicción para los meses de invierno es bastante adecuada. Las diferencias se explican por el hecho que las ventas de kerosene muestran una tendencia a la baja desde 1978. Como el modelo considera la información del mes anterior y de 3 meses del año anterior, la predicción reproduce la tendencia a la baja observada en 1979 lo que contrasta con el aumento del consumo en los 9 meses del año 1980 utilizados en el cálculo del índice que mide porcentualmente los errores de predicción.

El uso de modelos o técnicas alternativas de predicción no mejora de manera sustancial los resultados obtenidos con el modelo ARIMA. Analizando el Cuadro 1 se puede concluir que:

- el peor desempeño lo tiene el modelo de ajuste exponencial doble,
- el modelo de Winters presenta un mejor resultado con un error porcentual absoluto promedio (MAPE)¹³ de 18%. Sin embargo en el período de mayor demanda (Mayo, Junio y Julio), aparece superado por el modelo ARIMA, que tiene un MAPE de 8% (versus un MAPE de 23% para Winters en el mismo período),

- un análisis de los residuos revela la presencia de una fuerte autocorrelación en los modelos de ajuste exponencial y de Winters, lo cual viola una de las suposiciones básicas de dichos métodos, como es la independencia de los residuos,
- la existencia de un MAPE alto en el caso del modelo ARIMA se debe a que dicho modelo no predice muy adecuadamente los períodos de baja demanda aunque la predicción en los períodos de alto consumo es bastante buena.

Por construcción del índice se le asigna el mismo peso a dichas diferencias y de ahí el valor obtenido.

Del análisis precedente se concluye que el modelo ARIMA (1,1,1) (0,1,1)₁₂ es el que mejor representa a la serie histórica de ventas de kerosene y el que debiera emplearse para obtener predicciones de ventas de corto plazo, aún considerando la relativa baja precisión para los períodos de baja demanda..

Cuadro 1
Predicción de Ventas de Kerosene para 1980

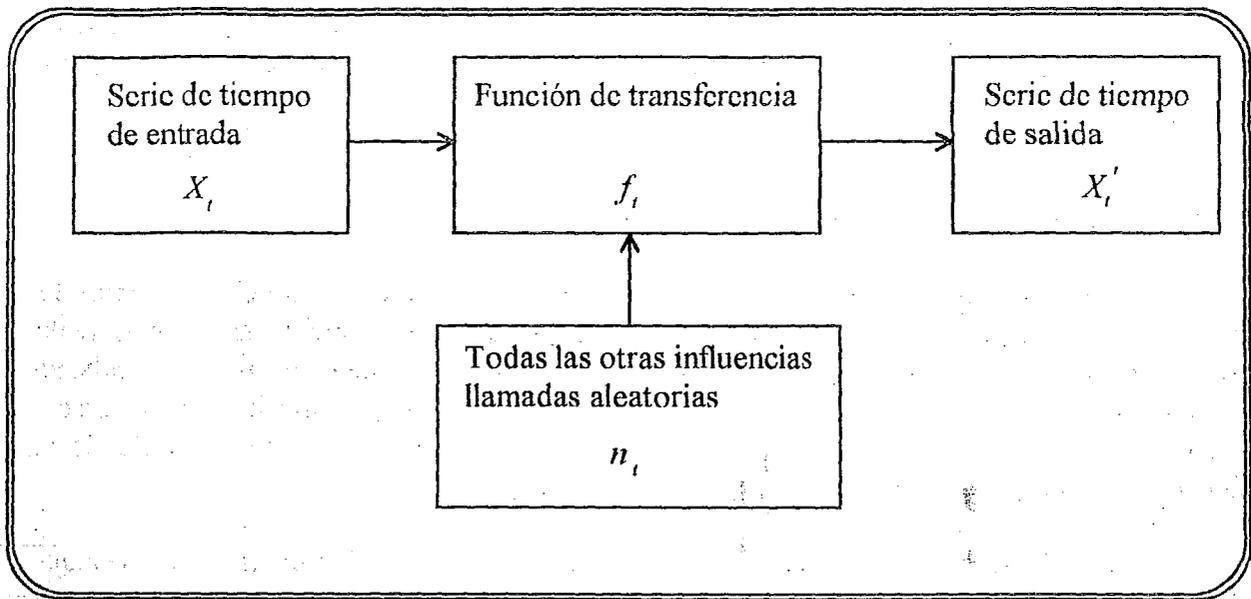
Mes	Vtas Reales	Modelo ARIMA (1,1,1)*(0,1,1) ₁₂	Exp. Simple	Exp. Doble	Winters
Ene	9904	7143 (0.279)	9995	5810	11018 (-0.112)
Feb	10304	5414 (0.475)	9995	1883	10176 (0.012)
Mar	11561	13777 (-0.192)	9995	(*)	14672 (-0.269)
Abril	26031	17251 (0.337)	9995	(*)	17832 (0.315)
Mayo	38172	34202 (0.104)	9995	(*)	28266 (0.260)
Junio	45579	51912 (-0.139)	9995	(*)	36839 (0.147)
Julio	56133	56104 (0.001)	9995	(*)	39749 (0.292)
Ago	35845	43089 (-0.202)	9995	(*)	32177 (0.102)
Sept	24460	25273 (-0.033)	9995	(*)	22324 (0.087)
Oct		12439	9995	(*)	18014
Nov		5904	9995	(*)	11829
Dic		4931	9995	(*)	11156
MAPE		0,1957	0.4938		0,177

(*): Valores negativos
Los valores entre paréntesis representan el error de predicción porcentual.

Fuente: CNF. Aplicación de modelos de Box-Jenkins a la predicción de corto plazo de ventas de hidrocarburos y derivados. Santiago, Chile, 1981.

3.1.4. Los modelos de función de transferencia

Estos modelos son definidos como modelos de regresión dinámica, ya que incorporan una regresión entre dos series de tiempo. El concepto de función de transferencia puede ser visualizado a partir del gráfico siguiente:



La serie de tiempo X_t ejerce su influencia en la serie de salida vía una función de transferencia la cual distribuye el impacto X_t sobre varios periodos de tiempo futuro.

Este tipo de técnicas, como los ARIMA, asegura un análisis más preciso de los modelos propuestos, introduciendo una serie de tiempo de influencia con la que se quiere pronosticar.

3.1.5. Virtudes y limitaciones

Pese a las limitaciones que presentan las técnicas de predicción de la demanda basadas en series de tiempo con respecto a modelos estructurales abordadas en las páginas siguientes, éstas parecen adecuadas o son útiles cuando¹⁴:

- las predicciones de las variables explicativas son costosas o presentan un alto grado de incertidumbre,
- es complicado el desarrollo de un modelo estructural que explique el comportamiento de una variable y se necesiten respuestas rápidas; y finalmente,
- son consideradas como un paso previo a la formulación de modelos estructurales o cuando se quiere predecir cada variable independiente en dicho modelo.

En resumen, los métodos por series de tiempo son útiles para los pronósticos a corto o mediano plazo cuando se espera que el patrón de demanda permanezca estable. Cuando las previsiones de demanda son realizadas con fines de planeación a largo plazo (instalaciones, selección de procesos, o la formulación de normativas), su eficacia es limitada por lo que en dichos casos, no se recomienda su utilización. Es del todo pertinente señalar que el corto, mediano y largo plazo no poseen una definición única y universal. La determinación de cada período dependerá tanto de los objetivos, del dominio cubierto por los modelos adoptados, como del contexto en que las previsiones son realizadas. Normalmente, en el caso de una empresa, el horizonte de tiempo será más breve que aquél de un ramo industrial, y éste a su vez, del que corresponda al de un país.

3.2. MODELOS ESTRUCTURALES O CAUSALES

La literatura especializada da cuenta de un elevado número de modelos estructurales o causales; ello se explica por la variedad de problemas que deben enfrentar quienes realizan ejercicios de previsión de demanda y por la responsabilidad implícita en las recomendaciones derivadas de estas previsiones. Esta abundancia hace prácticamente imposible proponerse una revisión exhaustiva de ellos, particularmente, si se intenta analizarlos desde un punto de vista analítico o a partir de su mayor o menor grado de precisión.

La opción adoptada en esta guía es presentar sumariamente las limitaciones, ventajas o virtudes, así como los resguardos que el planificador o el modelador debe tener en cuenta para obtener buenos pronósticos con algunas de estas técnicas.

Desde el punto de vista metodológico, la amplia gama de modelos estructurales o causales que pudiesen estudiarse está cruzada por la intersección de cuatro elementos¹⁵: los objetivos, los niveles de análisis, la naturaleza de los factores explicativos y los métodos matemáticos. Dicho de otra forma, la elección de un modelo deriva de la consideración de cada uno de los elementos antes mencionados.

En efecto, los modelos de previsión de la demanda de energía tienen como objetivos principales: la explicación o análisis del pasado y la previsión de la demanda futura, previsión que puede ser de carácter exploratoria o con el fin de ayudar a la toma de decisiones.

El nivel de análisis, se refiere al hecho que los modelos causales de previsión pueden percibir a la energía como un conjunto de formas de energía, vale decir, la electricidad, el petróleo, el carbón, etc. que pueden ser abordados como bienes distintos, o bien percibir a la energía como un bien homogéneo.

El tercer aspecto mencionado relativo a la naturaleza de las variables explicativas escogidas, guarda relación con el hecho que la formulación de estos modelos dependen en gran medida de los factores explicativos del nivel de demanda. La lista de ellos puede ser tan larga como lo asuma el planificador o el encargado de formular el modelo. Algunos de estos factores

serán específicos y otros más generales. Lo que es cierto, es que uno de los más importante, es el precio de la energía. Desde la perspectiva de los planificadores de la energía, es posible por ejemplo, relacionar la energía con el producto geográfico bruto (PGB ó PNB); en el caso de las empresas, por su parte, se intentará explicar como la energía, en tanto factor de producción, se comporta respecto de otros factores tales como: el capital, el trabajo, las materias primas, etc. Es lo que se refiere a la naturaleza de las variables explicativas.

Finalmente, según el tipo de método matemático elegido, los modelos de demanda de energía pueden ser clasificados en: econométricos, de optimización y de simulación. Teniendo presentes las dificultades que derivan de hacer un análisis exhaustivo del conjunto de modelos estructurales, así como por su mayor grado de aplicación y experiencia en los ejercicios de previsión de demanda de energía, esta parte del estudio pretende abordar, solamente los primeros mencionados¹⁶.

3.2.1. La regresión y los modelos econométricos

Los modelos econométricos, en términos generales, son abordados de acuerdo a las siguientes etapas: formulación de hipótesis, especificación del modelo que permita probarla, estimación de los parámetros del modelo escogido, verificación o inferencia estadística, pronóstico y utilización del modelo para formular políticas o como herramienta de control.

Este tipo de modelo intenta establecer una relación de causa y efecto entre la demanda y las variables que se consideren relevantes.

Una de las técnicas más conocidas y utilizadas es **la regresión**.

En este tipo de técnicas se especifica un modelo antes de obtener los datos y realizar el análisis. El caso más simple es el modelo lineal de una sola variable explicativa que se expresa como:

$$Y = \alpha + \beta X$$

donde:

- Y : demanda estimada
- x : variable independiente o explicativa de Y
- α : intersección de Y
- β : pendiente

En un modelo como éste, se supone que se han observado n pares de valores x e y , de la forma:

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$$

en que:

y : indica valores observados de y , e

Y : son los valores dados por la ecuación lineal presentada más arriba.

En el análisis de regresión, el objetivo es minimizar la ecuación de error, seleccionando valores para α y β a partir de la ecuación:

$$\sum_i (Y_i - y_i)^2 = \sum_i (\alpha + \beta X_i - y_i)$$

La precisión de dicha demanda proyectada puede ser evaluada a partir de la relación entre Y y X por medio del coeficiente de determinación, el R^2 . El valor de R^2 representa la proporción de variación en Y que se explica por la relación con X ; y el valor restante de la variación, es decir $1 - R^2$ debido al azar o a factores que no son X . Lo deseable, es que R^2 se acerque lo más posible a 1. Mientras más cercano a 1 es el R^2 , más confiable es el pronóstico para Y ¹⁷.

Es tarea del modelador o de quien elabora los pronósticos, determinar las variables explicativas más apropiadas y la linealidad de la relación, sin olvidar de mantener el modelo lo más simple posible.

La adopción de más de una variable explicativa de la demanda, es lo que se conoce como **regresión múltiple**. En el caso de la electricidad, de algunos derivados del petróleo, o de la energía en su conjunto, la regresión múltiple resulta con frecuencia más útil que la regresión simple.

Aplicados al campo de la energía, sea al conjunto del sector o a alguna de las formas de energía, los modelos econométricos son básicamente un sistema de ecuaciones de regresión independientes que permiten describir las relaciones de causalidad que se da entre la variable dependiente (consumo de energía total, el petróleo, la electricidad, carbón, etc.) y las explicativas, (el PGB, variables demográficas, precios, etc.). La situación descrita es posible traducirla en la expresión siguiente:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + D + e$$

en que:

Y : consumo total de energía

X_1 : precio de Y

X_2 : producto geográfico bruto

D : variable dicotómica

e : variable aleatoria (error)

La tarea consistirá en obtener estimaciones de los parámetros del modelo (α) a partir de la información disponible. La expresión anterior es un buen ejemplo de un modelo econométrico en que se reconocen los respectivos roles que juegan las distintas variables, salvo la variable dicotómica¹⁸.

Evidentemente, las relaciones entre las variables explicativas y las dependientes, en este caso el consumo de energía, puede ser expresada a través de modelos uniecuacionales, como el anteriormente descrito, o modelos de ecuaciones simultáneas, cuyos métodos de resolución (mínimos cuadrados indirectos, mínimos cuadrados en dos etapas, en tres etapas, etc.)¹⁹ dependerán de las características del sistema (de ecuaciones recursivas, recursivo en bloque o de ecuaciones múltiples, etc.), lo que en última instancia, depende del criterio del modelador (véase el Recuadro III-2).

Es oportuno señalar no obstante, que la previsión de demanda de energía total a partir de modelos econométricos no es un ejercicio simple o banal, y debiera ser tema de reflexión y estudios mayores. Más allá de la identificación más o menos correcta de las variables explicativas adecuadas, es un hecho que cada fuente requiere de un tratamiento especial, e incluso al interior de ella -como en el caso de los derivados del petróleo, por ejemplo- se requiere de formulaciones y modelos específicos. Más compleja aún se revela la tarea en la mayor parte de los países de la Región, al considerar el caso de la leña en tales modelos. En fin, los aspectos considerados constituyen un tema de estudio y de investigación en sí, que superan los objetivos de una guía como ésta.

RECUADRO III-2
Demanda de Combustibles Derivados del Petróleo en Chile:
Métodos y Resultados

La demanda de energía, como demanda derivada de los hogares y empresas, está asociada a la cantidad de bienes que requieren energía para operar y ser producidos y a la cantidad de energía que requiere su producción u operación.

La cantidad de bienes existentes son el resultado de decisiones de largo plazo de los agentes (especialmente en el caso de los bienes de capital). Estos bienes poseen costos de ajuste significativos, por lo que el ajuste del stock actual a aquel deseado, ante un cambio en el precio, ingreso u otra variable relevante, no es un proceso instantáneo lo que hace presumir que la demanda por los distintos tipos de energía destinados a ellos contenga efectos rezagados importantes.

Por otra parte, en el corto plazo, el ajuste del consumo de energía ante cambios en las variables relevantes (precio o ingreso) que afecten la producción de bienes y servicios y/o el uso de bienes durables que demandan energía se realiza a través del aumento o disminución de la intensidad de uso de estos bienes.

Atendiendo a estos dos factores, es decir la cantidad de bienes durables y la intensidad de uso que se da estos bienes, un modelo satisfactorio de demanda de combustibles en el caso de Chile (o de cualquier país de América Latina y el Caribe) debería contemplar los siguientes elementos:

- Efectos de ajuste lento reflejados por la aparición de rezagos en la demanda por energía.
- Elasticidades de corto y largo plazo que reflejen las respuestas de corto plazo en cuanto a la intensidad de uso del stock dado de bienes durables, y del cambio de ese stock como efecto del largo plazo.
- Elasticidades-precio cruzadas que reflejen la sustitución de un tipo de energía por otro.

La ecuación final utiliza una función logarítmica de la forma:

$$\ln Y_t = b_0 + b_1 \ln P_t + b_2 \ln Psust_t + b_3 \ln I_t + b_4 \ln Y_{t-1} + u_t$$

en que:

- $\ln Y_t$: logaritmo natural (ln) de la demanda de energía en t
- $\ln P_t$: ln del precio en t
- $\ln Psust_t$: ln del precio del bien sustituto en t
- $\ln I_t$: ln del ingreso
- $\ln Y_{t-1}$: ln de la demanda de energía con un período de rezago

En el caso chileno, a partir de este modelo se estimaron regresiones para la demanda de cada combustible, seleccionándose las variables explicativas que no presentaban problemas de información histórica o poca significancia (según test "t"). En la selección de los modelos para proyectar el consumo se consideró la bondad del ajuste (coeficientes de correlación múltiple corregido -R² corregido-; y otros estadísticos usuales -F, por ej-) y la capacidad de pronóstico reflejada por la posibilidad de proyectar adecuadamente las variables explicativas.

Se procesaron datos de consumo nacional desde los años 1960 - 1985. Los precios de los combustibles correspondieron a los precios al consumidor en estación de servicio o local de distribución. Estas series de precios fueron deflactadas por el IPC (Índice de Precios al Consumidor) y, alternativamente, por el deflactor implícito del PGB. Para el ingreso se usó tanto el PGB nacional como algunos sectoriales, según el tipo de usuario del combustible bajo análisis. Las variables Dummy 72 y 73 capturan el efecto perturbador que tuvieron ambos años sobre las demandas por combustibles.

Algunos resultados obtenidos :

ELASTIC. VARIABLES	MODELO GASOLINAS	MODELO PET. DIESEL
Consumo t-1	0,599 (11,54)	0,545 (6,64)
Precios a público (77=100)	-0,158 (-11,7)	0,221 (-2,02)
Precio bien sustituto	-	0,263 (2,35) gasolinas
PGB	0,553 (7,29) nac. per cáp.	0,621 (4,80) transporte
Dummy '72	-0,076 (-2,61)	-0,101 (-1,84)
Dummy '73	-0,054 (-1,90)	-0,065 (-1,59)
Constante	1,408 (5,20)	2,905 (-4,00)
INDIC. ESTADÍSTICOS(*)		
R ²	0,986	0,994
R ² (Corregido)	0,981	0,993
F (Fisher)	183,13	532,53
D - W (Durbin - Watson)	1,76	2,48
h (D)	0,56	1,31
ERROR PORCENTUAL EN LA PROYECCIÓN		
1988	-0,85	-0,56
1989	0,88	0,47

(*) T - Student señalado entre paréntesis

Para elaborar los pronósticos de demanda fue necesario proyectar las variables explicativas en base a estudios de organismos especializados (por ejemplo: PGB, precios de crudo). En cada proyección (que dependió de los distintos escenarios de evolución del PGB adoptado) se utilizó además un factor de mejoramiento en la utilización de la energía (entre 1 y 0,9).

Los resultados de este trabajo señalan que el modelo con rezagos proporciona una representación adecuada de la demanda de combustible y son satisfactorios para proyectar el consumo de ellos.

Fuente: Adaptado de la ponencia presentada por Cristóbal Norambuena, Gerencia de Desarrollo, Empresa Nacional del Petróleo, al Primer Congreso Nacional de Energía, Santiago, Chile, abril 1990.

3.2.2. La elasticidad y los modelos

El modelo antes expuesto permite introducir un concepto de frecuente uso en las previsiones de demanda, es el concepto de elasticidad.

Desde un punto de vista metodológico, la elasticidad no es más que un subproducto como lo son los coeficientes de las ecuaciones antes descritas. Sin embargo, tanto por las ventajas como por sus características, a este concepto se le concede una importancia relevante en los modelos econométricos, dada su propiedad sintetizadora, al punto de constituirse en el centro de las preocupaciones de quienes elaboran estos modelos.

En términos generales la elasticidad puede ser definida por las variaciones relativas de una variable en relación a las variaciones de otra variable. En relación al precio, por ejemplo, la elasticidad puede ser definida como el cambio porcentual de la cantidad demandada ante una variación en un punto porcentual del precio²⁰.

En un modelo inicial de tipo multiplicativo como el que sigue:

$$Y = A \times X_1^{\alpha_1} \times X_2^{\alpha_2} \times e^u$$

las elasticidades aparecen simbolizadas por los exponentes de las variables. La linealización del modelo multiplicativo sugerido conduce a:

$$\ln Y = \alpha_0 + \alpha_1 \ln X_1 + \alpha_2 \ln X_2 + u$$

en donde, por ejemplo:

$\ln Y$: logaritmo natural (ln) del consumo total de energía

$\ln X_1$: ln precio de Y

$\ln X_2$: ln producto geográfico bruto

α_1 : elasticidad precio del consumo de energía

α_2 : elasticidad ingreso del consumo de energía

$\alpha_0 = \ln A$, término constante

donde al derivar parcialmente se obtiene :

$$\frac{\partial \ln Y}{\partial \ln X_1} = \left(\frac{\partial Y}{Y} \right) / \left(\frac{\partial X_1}{X_1} \right) = \alpha_1$$

El amplio uso que se hace de la elasticidad en los modelos de previsión de demanda de energía, así como en otros campos, deriva de lo que parecen ser sus dos ventajas fundamentales: un indicador matemático/estadístico que permite confirmar, afirmar o eventualmente, dejar al descubierto ciertas propiedades y relaciones que los conceptos económicos no permiten mostrar fácilmente y, dos, un índice sintético, claro, comprensible y fácil de calcular.

No obstante, a pesar del alto uso que se hace de la elasticidad, ésta posee la limitación de representar una relación estática ya que en realidad, la elasticidad puede no ser constante y variar con el tiempo en función de cambios en los niveles de las variables o dicho de otro modo, en los niveles de demanda, como de hecho lo señalan estudios realizados.²¹

3.2.3. Criterios para la elección de un modelo correcto y ventajas y limitaciones de los modelos econométricos

¿Cómo saber que el modelo elegido es el “correcto”?²²

Una adecuada respuesta a la pregunta antes planteada obliga al modelador o planificador a asegurar o verificar, lo que se podría llamar los atributos de un buen modelo. Pero antes de ver más en detalle dichos atributos, es necesario revisar, aún cuando sea de manera breve algunos aspectos relativos a los supuestos bajo los cuales operan los modelos de regresión lineal: estos son la multicolinealidad y la heterocedasticidad. Ambos fenómenos que representan una violación a los supuestos básicos bajo los cuales operan estos modelos, pueden afectar de manera importante la bondad de éstos. En ambos casos existen normas generales para detectarlos así como técnicas para remediar tales violaciones²³.

Los atributos a los cuales se hacía referencia se refieren a:

- Su simplicidad o parsimonia. Vale decir, el grado de abstracción en la construcción de cualquier modelo debe intentar ser conjugado de la manera más adecuada posible, con la simplicidad del mismo. En términos prácticos esto significa introducir pocas variables en el modelo que constituyan la esencia del fenómeno bajo estudio, relegando aquellas de influencia menor al término de error (e en el ejemplo descrito).
- La identificabilidad. Para un conjunto de datos determinados, los parámetros estimados deben tener valores únicos.
- La bondad del ajuste. En otros términos, el valor del R^2 . En la medida en que la razón básica del modelo de regresión es lograr explicar la mayor cantidad posible de cambios que afecten a la variable dependiente usando para ellos variables explicativas; el modelo es bueno si esta explicación, medida por el R^2 , es tan alta como sea posible.
- Su consistencia teórica. No porque el ajuste sea bueno - R^2 alto- un modelo es bueno. Ello depende del signo de uno o más de los coeficientes estimados.
- Su poder predictivo. Un elevado valor del R^2 es una buena señal de que el modelo es bueno, pero no debe olvidarse que éste es un valor predictivo por ende, la mejor prueba de validez de un modelo es la comparación de sus predicciones con la realidad.

Dos son tal vez la más importantes ventajas que otorgan los modelos econométricos en los ejercicios de previsión de la demanda. La primera, es que ofrecen la posibilidad de recrear las

diversas especificidades o situaciones derivadas de la disponibilidad de recursos, contextos económicos, sociales y políticos diversos a través de métodos matemáticos. La segunda, es que son útiles para predecir los cambios en la función de demanda, es decir, los incrementos o disminuciones del nivel de demanda, a diferencia de las series de tiempo, que sólo permiten predecir el patrón de la demanda futura basado en el pasado.

No obstante, estos modelos deben ser usados con precaución, tomando en cuenta los cambios esperados de las variables independientes. Una de ellas deriva del hecho que los buenos modelos exigen contar con información adecuada en cantidad y calidad. Otras tienen que ver con: el carácter "extranjero" de los mismos (es decir elaborados en contextos de economías con precios relativamente estables), otras son más bien intrínsecas a este tipo de modelos al no considerar, por razones obvias, el conjunto de variables que determinan el consumo ni su evolución en el tiempo. Entre otras limitaciones de estos modelos se pueden señalar las siguientes:

- se apoyan en una visión parcial de la economía, al considerar un número reducido de variables explicativas, ignorando otras tanto o más decisivas. Incluso, aún en el caso de considerar un reducido número de variables explicativas, es a menudo necesario, contar con buenas estimaciones de ellas;
- contienen un grado importante de rigidez al considerar invariantes las relaciones de dependencia (por ejemplo, las elasticidades);
- consideran igualmente invariables o conceden un insuficiente dinamismo a los parámetros que condicionan los consumos (estructuras industriales, desarrollo urbano, progreso técnico);
- integran difícilmente o simplemente excluyen las fuentes energéticas que no participan del circuito comercial (por ejemplo, la leña, ver Recuadro III-3);
- no consideran el hecho que las tecnologías particularmente sensibles a los precios de la energía (introducidas en un período de bajos precios), puedan ser desplazadas por tecnologías menos dependientes de la energía. Aún cuando ellas hayan sido reemplazadas, la inercia de las series largas de consumo, no refleja este cambio;
- dado que en buena medida los modelos reflejan la situación histórica, éstos no permiten dar cuenta de la necesidad de recurrir a la eficiencia energética para enfrentar los problemas de balanza de pagos y de endeudamiento, por mencionar algunos;
- la no inclusión a la hora actual, de las exigencias que en términos de emisiones, derivarán de la adopción de políticas medioambientales que condicionarán a su vez, las opciones energéticas. Lo anterior se traducirá, con toda probabilidad, en la introducción de tecnologías energéticamente eficientes.

RECUADRO III-3

La Leña y las Previsiones de Demanda de Energía

Un argumento constantemente usado para justificar la exclusión de la leña de los modelos econométricos destinados a hacer previsiones de demanda de energía, es la falta de información o que aquella que está disponible, es poco fiable. Si bien tal aseveración, puede ser cierta en lo que concierne a la calidad y disponibilidad de la información, ella no es aceptable desde el punto de vista de la rigurosidad de los modelos, particularmente en el caso de gran parte de los países de la Región.

La leña, según datos publicados por la OLADE, satisface importantes requerimientos de energía. A nivel regional, la biomasa -en un alto porcentaje constituida por leña- representa un 18% del consumo total de energía en América Latina y el Caribe y experimenta un acelerado proceso de sustitución de parte de los combustibles comerciales.

Ignorar la leña no sólo implica sobreestimar la tasa de crecimiento del consumo total de energía, sino además, subestimar el volumen de la demanda de kerosene y gas licuado (propano-butano), principales sustitutos de la leña utilizada por el sector residencial rural y, en menor grado, urbano.

Una complicación adicional, para este tipo de análisis es el hecho que el concepto de elasticidad-precio cruzada que permite dar cuenta del proceso de sustitución entre combustibles comerciales, no tiene prácticamente aplicación tratándose de la leña.

Las razones antes mencionadas sugieren construir series de consumo de leña y derivados, paralelas a las series históricas de las fuentes energéticas convencionales (derivados del petróleo, carbón, y electricidad), mediante las mejores estimaciones posibles. Si no se dispone de series estadísticas relativas al consumo de leña, se recomienda emplear un método simplificado como el que se describe a continuación:

- establecer un consumo residencial medio para los hogares urbanos y los hogares rurales,
- desarrollar una serie histórica de los hogares urbanos y rurales,
- definir la evolución del porcentaje de los hogares urbanos que utilizan leña para satisfacer sus principales requerimientos energéticos,
- evaluar la sustitución de leña por derivados del petróleo, a partir de las tendencias históricas de este proceso; y,
- proyectar el consumo total de energía mediante las regresiones tradicionales y desagregar el consumo, incorporando, en el caso de la leña, el resultado de los procesos dinámicos reseñados más arriba.

IV. PREVISIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA A PARTIR DE SU USO FINAL: UN ENFOQUE METODOLÓGICO ALTERNATIVO

Como fuera señalado en páginas previas, la mayoría de los métodos tradicionales de previsión de la demanda, independientemente de su sofisticación, están basados en una de las opciones siguientes o combinaciones de ellas:

- la simple proyección de las tendencias observadas en el pasado;
- a partir de la relación entre una variable dependiente y una o varias variables explicativas, extrapolar la evolución de la variable dependiente en base a escenarios definidos para las variables explicativas. Normalmente, estos métodos relacionan la demanda de energía con indicadores macroeconómicos y demográficos;
- establecimiento de analogías entre lo ocurrido en el pasado en otros países y el futuro del país en estudio, en función de lo que son hoy los países de referencia. Normalmente, se vinculan los consumos de energía y los ingresos per cápita de un grupo de países con lo que podrían ser los consumos de energía del país en cuestión cuando éste alcance esos niveles de ingreso.

Estos métodos han sido largamente utilizados en la mayoría de los países de América Latina y el Caribe, empleando en muchas oportunidades, complejos modelos para proyectar la demanda de las distintas fuentes de energía, especialmente de la electricidad, de los hidrocarburos y del carbón. Sin embargo, la experiencia, tanto de la Región como de los países industrializados, ha demostrado que estos pueden conducir a estimaciones de la demanda que acarrearán una importante sobre o sub inversión²⁴. Conviene recordar que parte importante de la deuda externa de América Latina tiene su origen en el sector energía²⁵, particularmente en el subsector eléctrico, que presentó sobrecapacidades²⁶ que confirman la necesidad de afinar los métodos de previsión.

Los aspectos antes mencionados, dan cuenta, no sólo, de los nuevos desafíos a los cuales se ven enfrentados los responsables de la planificación del sector, sino además, de la ineludible necesidad de identificar y desarrollar las herramientas estadísticas, económicas y financieras, que permitan incorporar estas preocupaciones de fuerte impacto en las previsiones de energía.

Todo pareciera indicar que, habida cuenta de los desafíos planteados, es necesario, tener una percepción dinámica de los modelos que permita explicar la evolución de éstos o de técnicas de previsión de la demanda más simples, que expresen la relación entre una o más variables explicativas, y una variable explicada o dependiente -la demanda de energía- a otros modelos más complejos que impliquen no sólo la existencia de una representación de la realidad a modelar sino también de la existencia de un determinado esquema de **consumo de energía**. Como bien señala un estudio del CNRS²⁷:

“Estos -nuevos- modelos no son una simple prolongación de los primeros, sino que se sitúan a un nivel distinto; éstos no se limitan a introducir más y más

variables en las regresiones, sino que implica, un tipo de formalización diferente....Se podría hablar incluso, de una cierta 'ruptura metodológica' entre dos clases de modelos".

Esta virtual ruptura pareciera fundarse en un aspecto central, cual es: las condiciones de utilización de la energía sin limitarse a medir el volumen de dichos consumos.

4.1. UNA OPCION METODOLOGICA ALTERNATIVA A LOS METODOS CLASICOS

4.1.1. General

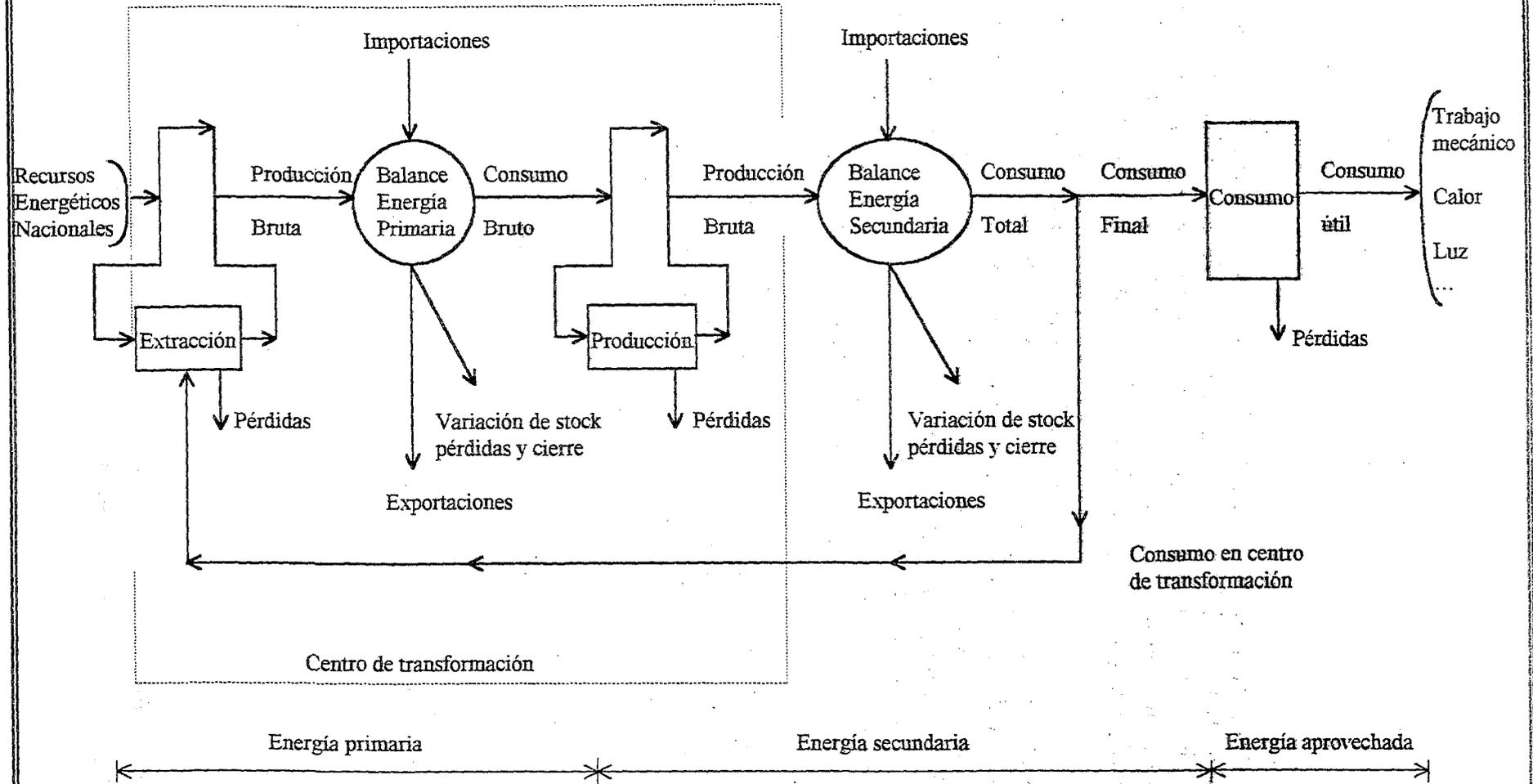
La energía se presenta como un bien económico complementario en la medida que ella se consume asociada a otros bienes (automóviles, hornos, máquinas herramientas, viviendas, etc) y que, por lo tanto, no responde a ninguna demanda propia.

El consumidor no compra electricidad porque requiere kWh o gasolina porque requiere litros de este combustible, sino porque necesita iluminar un puesto de trabajo, transportar minerales al interior de una mina o mantener un ambiente agradable en una vivienda u oficina. Vale decir, los consumidores finales o los productivos demandan energía por los servicios que ésta puede prestar.

En general, la energía se encuentra habitualmente en la naturaleza en una forma que no es adecuada para la mayoría de los usos normales de ésta. Las fuentes *primarias* de energía -petróleo crudo, yacimientos de carbón, recursos hidroeléctricos, etc- deben ser transformadas en formas *secundarias* mejor adaptadas a los usos específicos -derivados del petróleo, gas de ciudad, electricidad, gas propano licuado, etc-, estas formas secundarias son transportadas o transmitidas hasta las instalaciones del usuario que las empleará. La energía recibida por el usuario es la energía *final*, de la cual, eficiencia del equipo mediante, se aprovecha sólo una parte: la energía *útil*. La figura de la página siguiente muestra este proceso.

Este proceso caracterizado como la cadena energética, da cuenta de la eficiencia global del sistema energético de un país, la que oscilará entre 25 y 35% dependiendo del origen de su energía eléctrica, estructura de la economía, características del sistema de transporte, grado de urbanización y estructura de su industria manufacturera. La previsión de la demanda de energía deberá considerar detalladamente las características y posible evolución de la cadena energética.

Cadena Energética



Fuente: Comisión Nacional de Energía, 1991.

4.1.2 Parámetros a considerar en la evolución de la demanda

La aplicación de un método de previsión de la demanda de energía basado en su uso final, no excluye la necesidad de recurrir a modelos econométricos globales que permitan disponer de una primera estimación de la demanda, tanto para la energía total como para las distintas fuentes energéticas (comerciales y no comerciales).

La fortaleza del método que se propone en este capítulo es su capacidad de integrar oportunamente los cambios estructurales mayores, los impactos de las políticas económicas, ambientales o energéticas, y la introducción y difusión masiva de nuevas tecnologías energéticas o de proceso, lo que no siempre se obtiene con los modelos clásicos.

La distinta dinámica de los sectores que componen la economía nacional se traduce en niveles de demanda eventualmente distintos de los que se obtendrían mediante la previsión agregada mencionada en los capítulos precedentes.

De hecho, la tercerización de la economía podría constituir un factor de desaceleración de la demanda de energía. Por el contrario, la acentuación de esta tendencia en los países industrializados puede implicar el desplazamiento de actividades productivas altamente consumidoras de energía hacia las economías emergentes, como las de la Región.

Por otra parte, el proceso de urbanización, el desarrollo de mejores niveles de vida, la inserción en la economía mundial y las exigencias de calidad o de control de la contaminación provocada por la producción de los bienes transables, acarrearán cambios significativos en la estructura del balance energético de los países de la Región.

La biomasa, que en 1992 representó más de un 18% de la oferta total de energía primaria de América Latina y el Caribe²⁸, deberá reducir sustancialmente su importancia en el Balance de Energía (especialmente la leña), como resultado del desarrollo económico, del proceso de urbanización, y de su escasez y encarecimiento creciente.

En algunos países de la Región, la introducción o masificación del consumo de gas natural provocará impactos de consideración sobre la demanda de los hidrocarburos, carbón y electricidad, los que tendrán que ser evaluados en función de los mercados que pueda abastecer, de los precios relativos de la energía, de la legislación ambiental, del grado de desarrollo que pueda alcanzar la cogeneración y de las tecnologías de uso de cada fuente.

La incidencia efectiva del uso eficiente de energía sobre la demanda energética en países como los de la Región constituye motivo de discusión por parte de los especialistas. Probablemente, ello se debe -entre otras razones- a que quienes utilizan este término cometen algunas licencias de lenguaje al emplearlo como sinónimo de conservación o ahorro o, incluso, de intensidad energética.

En realidad, la introducción de tecnologías de gestión o de equipos intrínsecamente más eficientes, en la medida que estas tecnologías proporcionen iguales o mejores servicios con un menor aporte de energía -lo que es el concepto correcto-, puede llegar a constituir un componente importante de la oferta de servicios energéticos en la Región. Obviamente, durante un período prolongado, la demanda energética continuará presentando elevados ritmos de crecimiento y los programas de eficiencia energética, por exitosos que sean, no harán otra cosa que reducir la tasa de crecimiento de la demanda.

En este mismo contexto, cabe señalar que a nivel mundial existe una clara tendencia a la electrificación de la economía. Ella se expresa simultáneamente por una reducción significativa de la intensidad energética, considerando todas las fuentes de energía, y por un ritmo de crecimiento del consumo eléctrico superior al crecimiento del PIB.

La mayor importancia relativa adquirida por la electricidad se explica no sólo por razones ambientales sino también por su capacidad de: (1) asegurar la calidad del producto, (2) facilitar el control de las condiciones de operación del proceso, (3) alcanzar altas temperaturas y densidades de potencia, (4) mantener una atmósfera dada en el horno o proceso, y (5) concentrar el calor en el elemento o la parte de él que se quiere calentar.

Por último, la legislación ambiental afectará significativamente el nivel de la demanda, el proceso de sustitución entre fuentes convencionales y la incorporación de fuentes renovables o no convencionales. Las fuentes que contribuyan a la lluvia ácida o al efecto invernadero tenderán a ser reemplazadas por otras menos depredadoras o que, al menos, así sean percibidas por la opinión pública.

4.1.3 Requerimientos de una metodología de previsión basada en el uso final de energía

Al tomar en cuenta los factores técnicos y económicos de los equipos usuarios empleados en la actualidad y de los equipos alternativos que pudieran reemplazarlos, se identifica la más adecuada combinación de opciones de abastecimiento de los requerimientos de servicios energéticos futuros: (1) generación a partir de grandes unidades integradas a un sistema o sistema centralizado, (2) generación conformada por unidades más pequeñas o descentralizadas a partir de recursos renovables y no renovables y (3) tecnologías energéticamente eficientes.

Este enfoque presupone un nivel más elaborado de información de base que los métodos clásicos, que enfatizan los datos de la oferta histórica de las distintas fuentes energéticas, particularmente las comerciales. En términos generales, este tipo de análisis requiere:

- una estimación del consumo total de energía subdividido por usos finales,
- una identificación y evaluación de las tecnologías utilizadas en el país, con énfasis en su eficiencia energética,
- información acerca de los equipos alternativos, de eficiencia superior a los convencionales, sus rendimientos y sus costos,

- información respecto de los costos de las distintas opciones de generación de electricidad o de abastecimiento al usuario,
- una previsión de la demanda de *servicios* energéticos
- una metodología que permita identificar la mezcla óptima de alternativas para satisfacer los requerimientos de dichos servicios.

4.1.4 Identificación de los usos finales por sectores de la economía y por categorías de servicios

A modo de ilustración se enumeran los principales usos finales por sector de la actividad económica:

- Industrial y Minero:
 - Calor directo (hornos)
 - Calor indirecto (calderas de vapor y agua)
 - Calor de proceso (tratamientos térmicos y otros)
 - Fuerza motriz
 - Iluminación
 - Electroquímica
- Residencial, comercial y público
 - Cocción de alimentos
 - Acondicionamiento térmico de ambientes
 - Refrigeración y preservación de productos perecibles
 - Lavado personal, de ropas y de vajilla
 - Iluminación de recintos
 - Iluminación vial
 - Tratamiento y distribución de agua potable
- Transporte (Aéreo, marítimo, fluvial, carretera y ferroviario)
 - Pasajeros
 - Carga
- Agricultura
 - Riego
 - Preparación de la tierra
 - Cosecha
 - Tratamiento post-cosecha

Obviamente, se pueden considerar también los usos finales por categorías de servicio, sin distinguir los sectores a los cuales van destinados, ya que corresponden a lo que se identifica como tecnologías horizontales. Por ejemplo, los motores eléctricos destinados a proporcionar fuerza motriz son los mismos, independientemente que se trate de la minería, la industria, los servicios públicos o la agricultura, o algunas de las distintas tecnologías de alumbrado son

igualmente válidas para la iluminación residencial, comercial, industrial o pública. Para los fines del presente trabajo, se recomienda mantener la vinculación entre los usos finales y los sectores usuarios.

4.1.5 Tecnologías energéticamente eficientes

Existen alternativas energéticamente eficientes para todos los usos finales. Ello se da al nivel de los equipos usuarios (lámparas, refrigeradores, motores, bombas o ventiladores), de los equipos intermedios o periféricos (ballasts, sistemas de reducción de velocidad, etc), o de los elementos pasivos (tuberías, conductores eléctricos, válvulas, conexiones o envolventes de los edificios).

La previsión de la demanda deberá necesariamente considerar la introducción espontánea de las tecnologías energéticamente eficientes, (es decir, aquella derivada de la libre decisión del usuario), o inducida (derivada de las decisiones de políticas centrales) ya que las potencialidades de mejoramiento de la eficiencia son significativamente elevadas. Los recuadros siguientes muestran el resultado de algunos estudios realizados en Chile y Brasil.

RECUADRO IV-1**Evaluación de Potencialidades de Mejoramiento de la Eficiencia
con que se Usa la Energía en Chile**

Estudios detallados realizados en el campo de la vivienda, en distintas zonas de Chile, demostrarían que es posible reducir los consumos de energía en calefacción en un 20%, sin sacrificar el confort, incluso mejorándolo. En la Pequeña y Mediana Industria de la Región Metropolitana, donde se evaluaron sólo las potencialidades de mejoramiento de las calderas y hornos, se identificaron potencialidades de mejora de hasta 10%, con sólo regular adecuadamente la relación aire-combustible; otras mejoras posibles -en general rentables, pero no evaluadas como la anterior- serían: la aislación de estanques, válvulas y cañerías; el aprovechamiento del condensado; la incorporación de instrumentación mínima, etc.²⁹

En el área del uso de la electricidad, un estudio evaluó, en forma preliminar, las potencialidades de mejoramiento a nivel nacional, estimándose que ellas podían oscilar entre 10 y 18%, para las hipótesis conservadora y optimista, respectivamente³⁰. Por su parte, un estudio destinado a evaluar las potencialidades técnicas de ahorro de electricidad en las principales empresas industriales y mineras chilenas (las que concentran un 80% de la electricidad destinada al sector), estimó dichas potencialidades en casi 28%³¹.

Diversos estudios destinados a evaluar las potencialidades de mejoramiento del uso de la electricidad en alumbrado público en algunas municipalidades del país, detectaron potencialidades de mejoramiento del orden de 20%. En la actualidad, un número importante de esas municipalidades se encuentra implementando las medidas identificadas en los estudios mencionados³².

Por último, un estudio realizado en el Palacio de Gobierno, detectó un ahorro de un 30%. Las inversiones necesarias presentan una elevada tasa de rentabilidad, una tasa interna de retorno media de 60%³³.

Finalmente, lo importante de destacar de estas experiencias es que la determinación de dichas potencialidades de ahorro o de economías, son rentables para el usuario, como lo demuestran las elevadas TIR calculados en los casos expuestos.

RECUADRO IV- 2
Conservación de Electricidad en Brasil³⁴

En Brasil, el Programa Nacional de Conservación de la Energía Eléctrica (PROCEL), ha logrado ahorros que superan los 1000 GWh/año., reduciendo por este concepto en US\$ 600 millones las inversiones necesarias para incrementar la potencia instalada. Para el futuro, se espera obtener significativos ahorros adicionales; los objetivos de PROCEL apuntan a ahorrar para el año 1995 unos 16,8 TWh, lo que equivale a un 5,6% de la demanda proyectada, y unos 88 TWh ó 14,2% de la demanda proyectada, para el año 2020. Por otra parte, un estudio en el sector industrial del Estado de Sao Paulo³⁵, mostró que el total del déficit de electricidad proyectado hasta el año 1995, podía ser cubierto si tan sólo la mitad del calor a baja temperatura generado en 1981 fuese obtenido por cogeneración. Ello representa una economía de petróleo del orden de 10,8 millones de barriles anuales.

Como se señalara, la previsión de la demanda incorpora la difusión y masificación de las tecnologías energéticamente eficientes, ya sea en un esquema en que opera sólo el mercado y ellas son introducidas por su mayor rentabilidad relativa o por estar incorporadas a los equipos que los proveedores internacionales ofrecen como estándar, o en un esquema normativo en que ellas se incorporan como resultado de los incentivos, regulaciones, normas y códigos establecidos por la política energética.

En el primer caso, se deberá considerar los consumos específicos actuales y su posible evolución, adaptando como referencia los procesos y equipos que muy probablemente serán incorporados en el país durante el horizonte de previsión. Por su parte, si la eficiencia energética constituye una opción estratégica de la política energética, las metas de los programas correspondientes constituirán una referencia insoslayable para la previsión de la demanda.

Dado que el presente documento está dirigido principalmente a la previsión de la demanda que realizan los organismos del Estado y que la política energética de los países de la Región enfatizará, muy probablemente, la eficiencia energética por razones de dependencia energética, en el caso de los países importadores netos, de incremento en la capacidad exportadora en aquellos países exportadores, o por competitividad y protección ambiental, implícitamente el enfoque propuesto pretende constituir un soporte metodológico adaptado a las necesidades de dicha política, lo que no invalida, en absoluto, su utilización en un esquema menos normativo. De hecho, la función planificadora no hace otra cosa que dosificar adecuadamente ambos enfoques.

Para la previsión de la demanda, será imprescindible evaluar los costos relativos de las distintas opciones disponibles para satisfacer los servicios energéticos que demandará un determinado proceso de desarrollo. Para ello existe un instrumento denominado "la curva de ahorro energético"³⁶ que ha demostrado ser adecuado para seleccionar las alternativas tecnológicas más eficientes y, a través de ella, desprender la demanda de energía final global y por fuentes.

Esta curva de ahorro energético grafica la relación entre la energía total ahorrada por cada una de las medidas de uso eficiente de la energía consideradas y el costo de ahorrar dicha energía (CEA) -producto de la introducción de medidas de gestión o tecnologías energéticamente eficientes-, expresado como el costo unitario total -capital y operación- de los kWh o KJ ahorrados por cada medida.

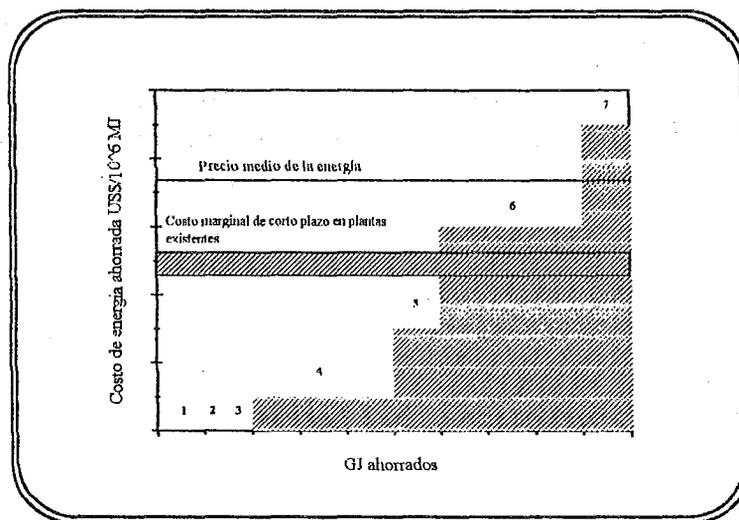
La rentabilidad de dichas medidas se determina comparando, según sea el caso, los costos de una unidad de energía producida por los métodos convencionales con el costo de una unidad de energía ahorrada, considerando la tasa de descuento normalmente utilizada para evaluar proyectos de inversión y la vida útil de las tecnologías energéticamente eficientes. El costo diferencial anualizado (inversión y operación) se divide por los ahorros anuales.

$$CEA = FRC(d, n) [IE - IC] / [CC - CE]$$

en que:

- CEA : Costo de la energía ahorrada, en US\$/MWh o MJ
 FRC : Factor de recuperación del capital
 d : Tasa de descuento, en %
 n : Vida útil, en años
 IE, IC : Inversión equipos eficientes y convencionales, en US\$
 CC, CE : Consumo anual de los equipos eficientes y convencionales, en MWh o MJ/año

El gráfico siguiente ilustra el uso de la curva de ahorro energético. Los números ubicados sobre los escalones identifican las medidas, en abscisas se especifica el costo unitario total de cada una de las medidas y en ordenada (el ancho del escalón), el ahorro total que se podría obtener con la medida. Si bien este concepto se desarrolló para el caso eléctrico, es igualmente válido para los combustibles.



Curva de Ahorro Energético

La curva se construye acumulando, por orden creciente de su CEA , el efecto sobre el ahorro de energía de todas las medidas que se considere podrán incorporarse en el sistema energético. Como referencia, se indica el costo marginal de corto plazo de las plantas existentes o el costo medio -según sea el caso-, a fin de evaluar qué porcentaje de la demanda puede ser abastecida económicamente con eficiencia energética.

El costo de las opciones convencionales deberá, en lo posible, considerar las externalidades o, por lo menos, una aproximación de éstas, de manera de comparar las opciones desde una perspectiva de sustentabilidad ambiental.

4.2. ENFOQUE METODOLOGICO BASADO EN LA EVALUACION DEL USO FINAL DE LA ENERGIA

Las metodologías basadas en los modelos clásicos de proyección de la demanda también recurren a los análisis y consideraciones que se presentan a continuación. Lo que distingue ambos enfoques, es el énfasis que se asigna a cada una de ellas.

La falta de información detallada de los usos finales de la energía para todos los sectores usuarios no constituye un obstáculo para la aplicación del método, lo que se recomienda es focalizar los esfuerzos de recolección de información en aquellas áreas que concentran un elevado porcentaje del consumo y el resto manejarlo agregado o mediante enfoques simplificadorios; por ejemplo, encuestar a muestras representativas de los sectores con poca información de base y/o emplear los métodos clásicos de previsión para estos sectores.

4.2.1 Identificación de los mecanismos de formación y evolución de la demanda

Como en el caso de los modelos convencionales, donde el grado de desagregación es significativamente menor, la metodología basada en el uso final de la energía exige definir sistemas y sub-sistemas, sectores, ramas o agrupaciones de usuarios, caracterizados por la homogeneidad de sus necesidades, de sus comportamientos o elecciones tecnológicas y de sus condicionantes geográficos o de contexto físico en que se dan sus necesidades energéticas.

El enfoque propuesto exige identificar los determinantes directos e indirectos de la demanda de energía de esos módulos y la importancia relativa de esos determinantes, en una perspectiva dinámica.

Los determinantes directos guardan relación con las características técnicas y condiciones de explotación de los equipos de los sectores manufactureros, residenciales y de servicios o las condicionantes socio-económicas que explican los patrones de consumo de los consumidores finales. Los determinantes indirectos, por su parte, tienen que ver con el nivel de actividad del sector en estudio, resultante de la demanda nacional o internacional de los bienes o servicios que produce.

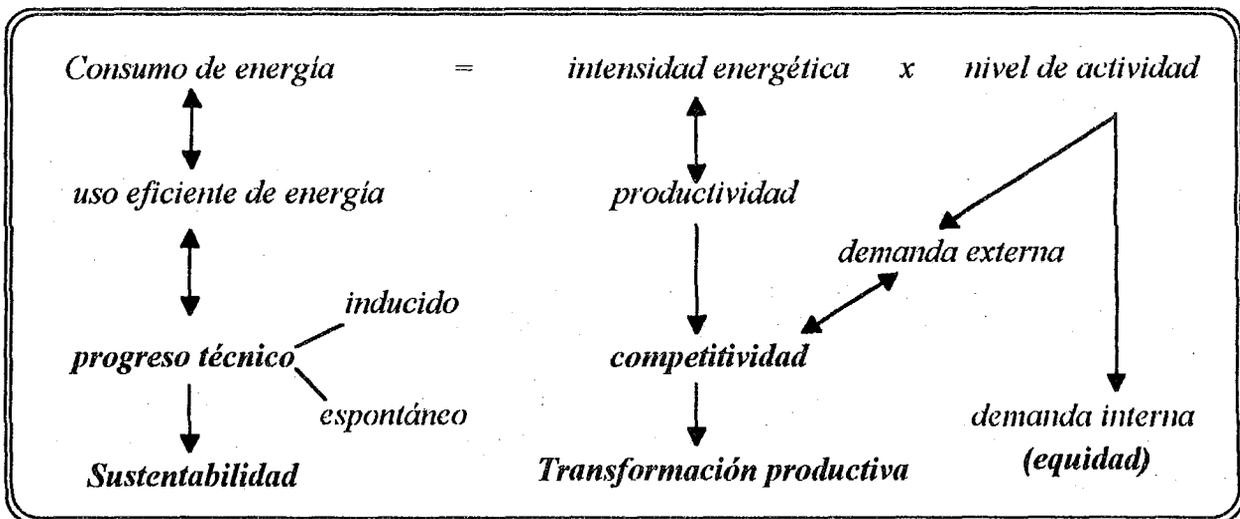
La previsión de la demanda presupone, entonces, identificar las relaciones funcionales entre el consumo de energía de cada módulo y el nivel de actividad de la sociedad; así como establecer los escenarios que caracterizarán la evolución de la sociedad y su influencia sobre el consumo de energía de los módulos respectivos.

En términos generales, esta metodología está basada en el principio elemental de factorización³⁷:

$$\text{Consumo de Energía} = \text{Intensidad energética} \times \text{nivel de actividad}$$

La intensidad energética es un coeficiente técnico que expresa el consumo de energía por unidad de PGB, en el caso de los países, y por unidad de valor agregado, principalmente, en el caso de las empresas o ramas industriales. Las tecnologías energéticamente eficientes tienden a reducir la intensidad energética. El nivel de actividad es un coeficiente directamente vinculado al estado de la sociedad y a la estrategia de desarrollo. En consecuencia, este último indicador puede ser modificado por los cambios económicos y sociales³⁸.

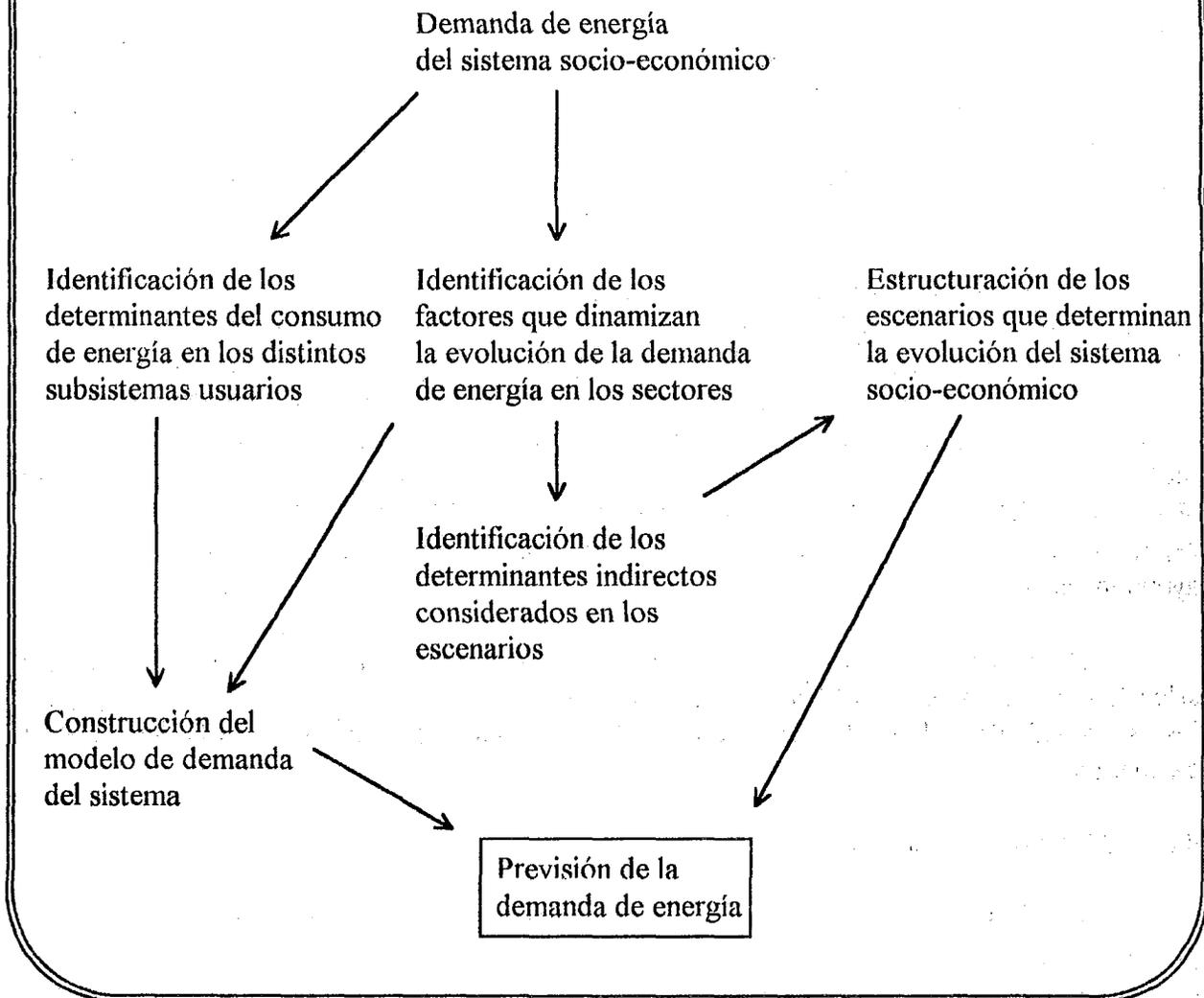
Una lectura más acuciosa de este principio de factorización, permite visualizar de manera más precisa las potencialidades que este enfoque -basado en el uso eficiente de la energía- encierra en el contexto de las transformaciones productivas con equidad y sustentabilidad.



Un desarrollo más detallado de los conceptos abarcados por esta función, debería ser objeto de ulteriores trabajos con el fin de profundizar en los elementos teóricos y operativos derivados de la misma.

El gráfico que se presenta en la página siguiente, describe en forma sucinta el proceso requerido para analizar los sistemas energéticos y los escenarios que determinan la evolución del sistema socio-económico que los engloba.

Enfoque Conceptual Sistema Energético y Escenarios



4.2.2 Análisis sistémico de la demanda de energía

El enfoque normalmente adoptado es el clásico de los análisis sistémicos y presupone definir: (1) las vinculaciones del sistema energético con el medio externo y su medio ambiente natural, (2) los sub-sistemas funcionales a los objetivos del análisis, (3) para cada sub-sistema, las variables que los vinculan con el medio socio-económico que los engloba y determinan el consumo de energía del sub-sistema en un momento dado, y (4) los factores que determinan la evolución de dichas variables.

Como se señalara, los sub-sistemas se caracterizan por presentar necesidades sociales y actividades productivas y de servicios, que sean homogéneas desde el punto de vista del tipo de requerimientos, de las tecnologías, del comportamiento de los consumidores, y del contexto geográfico y físico en que se dan esos requerimientos.

Al definir los determinantes de la demanda, se deben considerar los servicios que presta la energía, el grado de urbanización y nivel de desarrollo del país que se considera, el tamaño de las ciudades (en lo que respecta a las necesidades y modos de transporte posibles), la estructura productiva y la importancia relativa de los sectores, la estructura industrial y la importancia de las empresas grandes consumidoras de energía, los precios absolutos y relativos de las distintas fuentes energéticas, las tecnologías de uso, las condicionantes culturales (vinculadas por ejemplo al uso de la leña, los modos de transporte, los sistemas de calefacción y climatización) y la capacidad de intervención de los actores institucionales (Ministerio de Transporte, municipios o ayuntamientos, etc).

La vinculación de esos determinantes, el nivel de consumo, las fuentes energéticas seleccionadas, el nivel de actividad de los principales actores económicos, el nivel de ingreso de los usuarios finales y la evolución prevista de los determinantes condicionarán la demanda futura de energía.

4.2.3 Método de escenarios

El enfoque propuesto depende, como en el caso de los métodos convencionales de previsión de la demanda, de la definición de los escenarios; sin embargo, por su carácter desagregado exige especificar un mayor número de variables, lo que constituye una fortaleza del método. El explicitar las hipótesis de cálculo, con el detalle que exige el método, permite ajustar las previsiones en función de la evolución -fácilmente identificable y claramente cuantificable- de las variables que condicionan el consumo de cada sector.

Este método presupone una caracterización pormenorizada del sistema y del escenario base, incorporando en forma precisa la influencia del medio ambiente internacional (mercado del cobre, la celulosa, el aluminio o del petróleo, por ejemplo) y su vinculación con la demanda nacional de energía o con el abastecimiento de las distintas fuentes. Igualmente, hace explícita las hipótesis que determinan los escenarios normativos, tendenciales y aquellos en que el país no tiene

discrecionalidad, y la posibilidad de implantar mecanismos y políticas destinadas a materializar los escenarios posibles.

Por sofisticado que sea el modelo de simulación de la demanda, su calidad está determinada por la coherencia y posibilidad de cumplimiento de los escenarios. Normalmente, los escenarios están impregnados de la subjetividad de quien los construye, tanto en la definición del escenario base (elementos constitutivos y jerarquización) como en la definición de los escenarios futuros. En general, todo método de previsión está fuertemente cargado de subjetividad; la ventaja relativa en este caso es que las hipótesis están claramente explicitadas.

Lo importante es determinar el grado de plausibilidad de los escenarios, el que es independiente de su grado de coherencia. La plausibilidad se encuentra vinculada a las tendencias que presentan fuerte inercia, a los indicadores de posible evolución de éstas y a la capacidad de respuesta del sistema a los estímulos externos. Normalmente, para reducir la subjetividad del planificador se recurre a métodos como el Delfos, ya descrito.

En general, el método se aplica con mayor propiedad en el caso de actividades caracterizadas por una alta concentración de la demanda en un número reducido de usuarios, adoptando para aquellas, donde la atomización del consumo es la regla, métodos que incorporen una estimación, basadas en la experiencia del planificador, del efecto de variables tales como: la eficiencia energética, la protección ambiental, el proceso de urbanización y la sustitución acelerada de fuentes; al resultado de las regresiones descritas en los capítulos previos.

4.2.4 Distribución del consumo sectorial por usos finales

Para cada sector se desagregará su consumo de energía por usos finales; el enfoque metodológico para abordar este desglose se detalla brevemente en las secciones correspondientes. La agregación de los usos finales deberá coincidir o ser muy similar al consumo del sector -información proveniente de los balances nacionales de energía o de los organismos de planificación global o sectorial-, de manera de verificar la validez del método utilizado.

La coherencia entre ambas cifras, permite suponer que las hipótesis utilizadas para evaluar los usos finales fueron correctas. Por ende, la previsión de la demanda, que, en parte importante, descansa en el análisis por uso final, debería representar adecuadamente lo que serán los consumos para el horizonte de previsión.

La proyección de la demanda por sectores se construye a partir de la estructura del consumo sectorial por usos finales de la energía, definidos para un año de referencia. Este desglose permite introducir en la previsión el efecto de la mejora de la eficiencia energética tanto espontánea como inducida, de la legislación ambiental, de la introducción de nuevas fuentes energéticas, de cambios en las políticas de precios, etc en la previsión de la demanda.

4.3. DEMANDA DEL SECTOR RESIDENCIAL

La previsión de la demanda de energía residencial total y por fuentes es la resultante de la suma de los consumos por uso final, proyectados de acuerdo con el método mencionado en el punto anterior.

4.3.1 Sector residencial urbano

La demanda energética del sector residencial tiene una estrecha vinculación con la situación socio-económica del país analizado. Los niveles de vida, el ingreso per cápita, el grado de urbanización, los impactos de las alzas de precios de los combustibles o de la electricidad, determinan la demanda de energía del sector.

La previsión de la demanda, en este caso, presupone conocer: (1) las características de las viviendas, (2) el parque de equipos usuarios, los combustibles utilizados, sus consumos específicos, rendimientos y condiciones de uso, (3) el grado de cobertura de los distintos equipos, la tasa de reposición y la tasa de penetración de cada equipo, (4) la estructura de los consumos, y (5) el proceso de sustitución de las fuentes tradicionales (básicamente leña) por fuentes comerciales.

La falta de información estructurada, en la forma requerida por los modelos de previsión de la demanda a partir de los usos finales, no debe ser un obstáculo para su utilización, ya que existen fuentes indirectas que permiten definir los parámetros básicos: los censos de población y vivienda, los estudios sectoriales, los informes de las asociaciones de fabricantes de equipos, los estudios de mercado de las empresas del sector energético, etc. Además, siempre es posible recurrir a encuestas aplicadas a muestras representativas del universo en estudio, las que normalmente complementan las fuentes anteriores.

El ejercicio destinado a estimar la demanda energética residencial deberá definir, para el horizonte de previsión:

- la población total y su distribución entre rural y urbana
- el tamaño medio de la familia y el número de familias por hogar
- la estructura del parque de viviendas: aisladas, pareadas, en línea y departamentos
- el patrón de requerimientos energéticos y tendencias respecto de las formas de satisfacerlos
- vinculación entre el parque y tipo de equipos que satisfacen los requerimientos energéticos y el crecimiento del ingreso y su distribución
- el consumo medio de energía por hogar -por estratos socio-económicos- y su estructura por fuentes y usos

Para la previsión de la demanda residencial del área urbana se sugiere definir un número limitado de estratos socio-económicos (tres o cuatro) y caracterizar estereotipos medios de requerimientos para cada uno de los usos, por estratos.

Los principales usos de energía en el sector residencial son: cocción de alimentos, calefacción, climatización, iluminación, calentamiento de agua sanitaria, preservación de alimentos, lavado de ropa y otros. Suscintamente, la demanda de energía por uso se determina de la manera siguiente:

4.3.1.1 Cocción de alimentos

La experiencia indica que es muy difícil establecer una relación entre los patrones de alimentación, los requerimientos alimenticios y la cantidad de energía destinada a estos fines³⁹. La demanda final depende de las costumbres, de los recursos económicos para adquirir los alimentos, del tipo de combustibles y del rendimiento con que se usan.

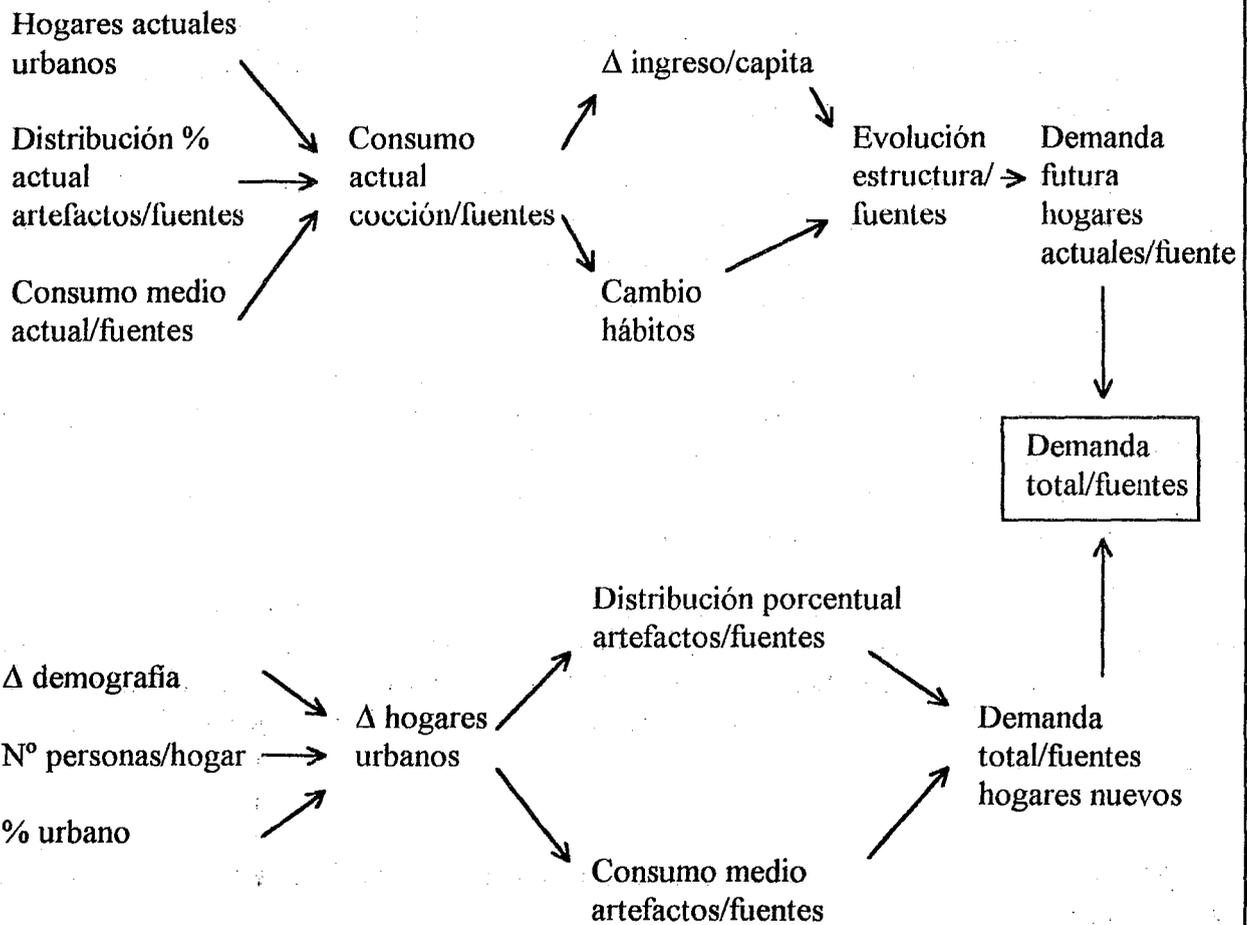
En América Latina y el Caribe, la leña es una de las fuentes más empleadas y su utilización depende tanto de limitaciones económicas para adquirir los combustibles comerciales como de su disponibilidad relativa; cuando este requerimiento se satisface con leña, la evaluación del consumo actual y la previsión de la demanda deberán apoyarse en estudios de terreno.

En principio, se sugiere definir un requerimiento único de energía en cocción de alimentos por hogar y por año (para atenuar los efectos estacionales), distinguiendo las fuentes energéticas utilizadas. En el caso de las fuentes comerciales, el incorporar la eficiencia es delicado, ya que los consumos dependen más de las formas de uso que de las características técnicas del artefacto, ésto es más evidente aún cuando se utiliza leña.

Los principales factores que deben ser considerados en la previsión de la demanda de energía para la cocción de alimentos, son: el crecimiento demográfico, el número de personas por hogar, la evolución de la distribución de la población entre rural y urbana, las necesidades unitarias de energía por cada energético, el total de cocinas a nivel nacional por energético y la tasa de sustitución por energético.

El gráfico que se presenta en la página siguiente permite visualizar la mecánica de cálculo de la demanda.

Modelo de Previsión de Demanda de Energía en Cocción de Alimentos por Fuentes Sector Urbano



4.3.1.2 Iluminación

La demanda de iluminación está vinculada con los recursos económicos de los hogares, el tipo de lámparas utilizadas y los hábitos de uso⁴⁰. Para la previsión de la demanda se sugiere definir, por estratos: número de lámparas por hogar, tipo de lámparas (incandescentes, fluorescentes, fluorescentes compactas), potencia total y número de horas de uso/día; para ello deberá recurrirse a encuestas a una muestra representativa y/o a la información de los vendedores o fabricantes.

El uso total en iluminación estará determinado por la función siguiente:

$$I_{lum} = \sum_i P_i \times N_i \times H_i \times D$$

donde,

- i = 1, 2, ..., n tipos de lámparas
- P = potencia media total por tipo de lámpara, en watts
- N = número total de lámparas por tipo
- H = número promedio de horas de uso por día de los distintos tipos de lámparas, en horas/día
- D = número de días por año
- I_{lum} = Iluminación, en GWh

En el caso que se recurra a información proveniente de los vendedores de lámparas, la función que define el consumo en iluminación sería:

$$I_{lum} = (\text{ventas/año}) \times (\text{potencia media por lámpara}) \times (\text{vida útil de la lámpara})$$

Esta función conviene establecerla por tipo de lámparas, para considerar la tendencia a introducir lámparas más eficientes. En efecto, para la previsión de la demanda se deberá considerar el impacto de las campañas del gobierno o de los vendedores por introducir las tecnologías eficientes de iluminación, ya que ello afectará la potencia media unitaria.

La previsión de la demanda de energía para la iluminación deberá considerar: el crecimiento demográfico, y la evolución del número de personas por hogar, la distribución de la población entre rural y urbana, el grado de electrificación rural y urbano, los consumos medios en iluminación y del parque de lámparas en número y por tipo.

4.3.1.3 Acondicionamiento térmico de ambientes

El consumo actual de energía para estos usos depende de los requerimientos de confort térmico (normalmente 18 °C, aunque puede también considerarse dependiente de los niveles de ingreso y factores culturales), de las temperaturas exteriores, de las opciones tecnológicas de acondicionamiento térmico de locales (individuales, colectivas, fuentes utilizadas, etc), de las características constructivas y de diseño de las viviendas y del número de viviendas por tipo y estrato socio-económico.

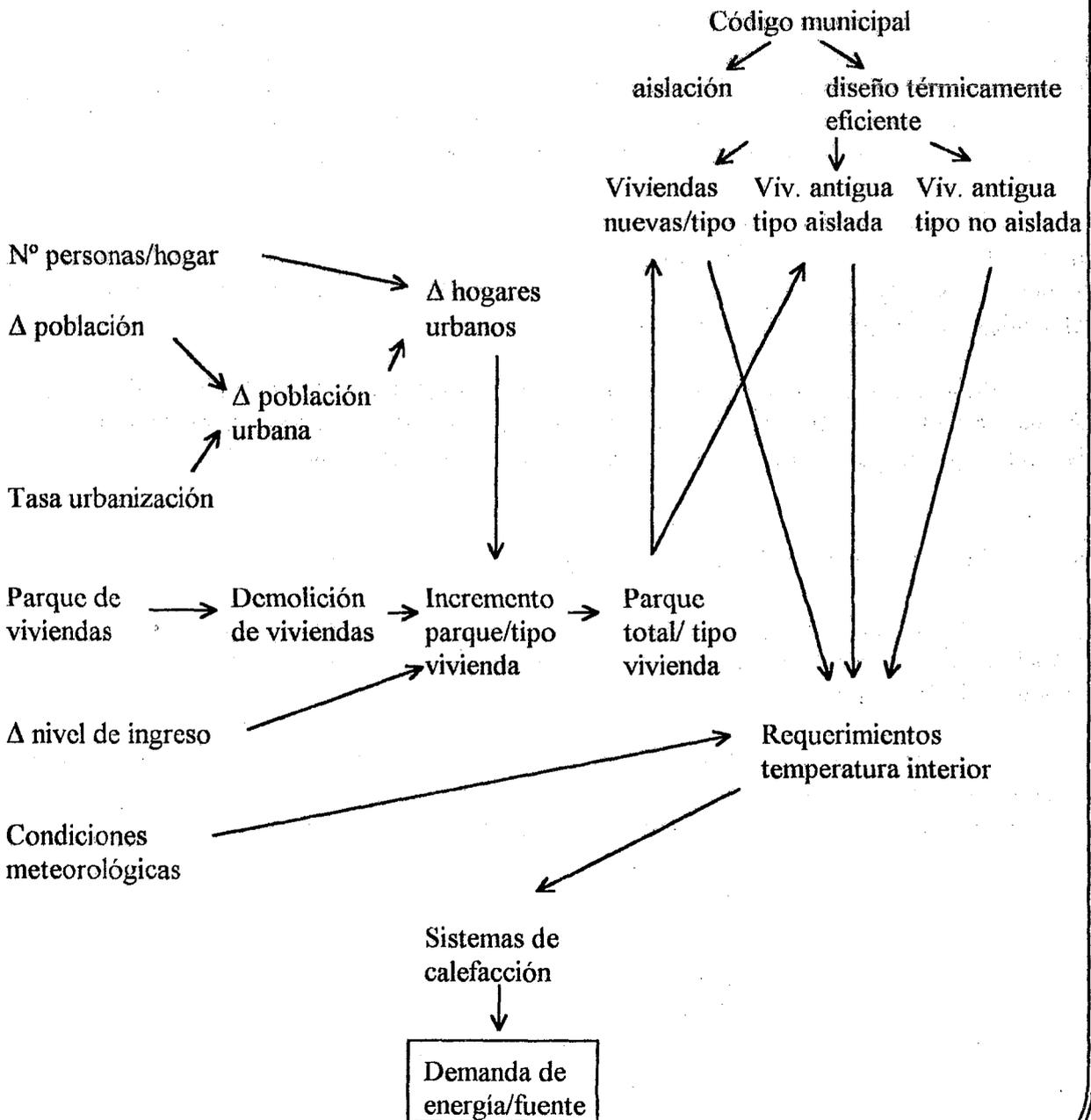
Para la previsión de la demanda de energía, se deberá especificar algunas tipologías de viviendas, las que se definen de acuerdo a parámetros tales como: diseño urbanístico (individual, pareada, en línea, edificios), tamaño medio, materiales dominantes en los distintos tipos de viviendas, estratificación económica, etc. y definir los consumos medios para cada tipología.

A partir de la tipología se definen el número de viviendas totales por tipo, las necesidades actuales de energía en calefacción y/o climatización para las distintas categorías de viviendas y las necesidades totales actuales.

La previsión de la demanda total de energía para estos fines deberá considerar: (1) la variación de la necesidades de confort térmico por tipo de vivienda, (2) los cambios estructurales (por ej. difusión o introducción de sistemas centrales de calefacción o climatización), (3) el crecimiento global del parque, (4) la obsolescencia del parque antiguo, (5) la repartición entre viviendas colectivas e individuales, (6) la repartición por ingreso (niveles y tecnologías de acondicionamiento térmico para viviendas individuales y edificios).

En el gráfico que se presenta en la próxima página se presenta el flujo metodológico.

Modelo de Previsión de Demanda de Energía en Calefacción por Fuentes Sector Urbano



4.3.1.4 Calentamiento de agua para lavado personal, de ropa y vajilla

El calentamiento de agua para estos fines depende del nivel de ingreso de las familias, de su tamaño medio y de factores culturales. Definidos estos factores, los requerimientos de energía para estos fines se calculan en función de la cantidad de energía (kJ) necesaria para elevar la temperatura de una cantidad dada de agua, desde la temperatura ambiente a una temperatura de referencia dada por la costumbre y el tipo de equipos.

Algunas experiencias empíricas indican que quienes utilizan leña para el lavado de ropa, calientan a menudo el agua hasta la temperatura de ebullición, lo que es innecesario para satisfacer las necesidades de este requerimiento. Igualmente, muchos de los calentadores de agua para aseo personal no disponen de una graduación adecuada de la temperatura y es necesario agregar agua fría. Ambos factores deben tomarse en cuenta al estimar la demanda para estos fines.

El cálculo del consumo actual de agua caliente exige conocer: (1) las opciones tecnológicas en función del ingreso y hábitos culturales, (2) la necesidad de agua caliente en volumen por hogar tipo y total, (3) los requerimientos de energía útil, y (4) el número de viviendas que emplean las tecnologías tipo.

Para la previsión de la demanda se deberá considerar: el crecimiento demográfico, la evolución de la relación urbano/rural, el número de personas por hogar, la evolución del ingreso, la renovación del parque de viviendas y de los sistemas de agua caliente.

4.3.1.5 Preservación de alimentos, recreación, planchado de ropa

Los principales equipos utilizados para estos usos son: refrigeradores, televisores, radios y planchas, los que normalmente, junto con equipos destinados a otros usos, se conocen como aparatos electrodomésticos⁴¹.

Algunos de los artefactos demandan una cantidad prácticamente fija de potencia cuando están operando; es el caso, por ejemplo, de las radios y televisores. En este caso, la demanda de energía vinculada al uso de estos artefactos, se estima en base a la función siguiente:

$$Electrodom = \sum_i P_i \times N_i \times H_i$$

$i = 1, 2, \dots, n$ tipos de artefactos

P = potencia media total por tipo de artefacto, en watts

N = número total de artefactos por tipo

H = horas de uso de los distintos artefactos, en horas/año

$Electrodom$ = Energía consumida por los electrodomésticos, en GWh/año

Por el contrario, existen otros artefactos que no demandan una potencia fija cuando están operando, es el caso, normalmente, de los refrigeradores y las planchas eléctricas; en este caso, se considera el número de artefactos por tipo y un consumo medio anual (dado por la experiencia empírica).

Para la previsión de la demanda de electricidad vinculada a este tipo de equipos se deberá considerar: el crecimiento demográfico, el número de personas por hogar, el grado de saturación o cobertura de los distintos artefactos en los hogares actuales, el proceso de incorporación de artefactos en los hogares existentes, el proceso de incorporación de artefactos en los hogares nuevos, la relación entre los niveles de ingreso per cápita y el parque de equipos por hogar.

A su vez, para conocer el número de artefactos de cada tipo y sus consumos medios se puede utilizar la información de los censos de población y vivienda, encuestas a una muestra representativa de usuarios residenciales, mediciones de los consumos por artefactos (de preferencia de los modelos más representativos) o consultas a fabricantes o vendedores. En este último caso, la estimación del parque requerirá considerar el retiro de artefactos por obsolescencia; vale decir, conocer la vida media de cada artefacto.

4.3.2 Sector residencial rural

Los requerimientos energéticos de este sub-sector se limitan, en general, a la satisfacción de las necesidades de cocción de alimentos, calefacción (sólo en algunos países), lavado personal, lavado de ropas y lavado de platos. Los requerimientos mencionados son cubiertos, en parte importante, por leña. En varios países de la Región, se aprecia un agotamiento creciente de las fuentes de abastecimiento de este energético. Esta situación y la introducción paulatina de gas licuado propano estarían cambiando los hábitos energéticos del campesinado en esos países.

Si bien una evaluación de los usos finales de la energía no sólo es deseable sino que posible -mediante encuestas realizadas por especialistas-, en muchos casos parece aconsejable estimar consumos agregados de leña para las necesidades térmicas. De acuerdo a estudios realizados en zonas en que no existen carencias de leña, la demanda anual de energía (incluida la calefacción) es de 205.000 MJ/hogar/año y si se excluye la calefacción 123.000 MJ/hogar⁴².

De acuerdo a estudios disponibles, a nivel del hogar, el campesinado utiliza la electricidad, principalmente, con fines de iluminación y recreación (radio y televisión). Las mismas fuentes indican que los más acomodados disponen de refrigeradores y planchas eléctricas. El consumo residencial anual mínimo es del orden de 240 kWh/hogar y el de aquellos que incluyen los consumos de refrigeración y planchado eléctrico de 600 kWh/hogar⁴³. Estos consumos corresponden a campesinos que disponen de electricidad en forma permanente, si sólo se dispone de un servicio parcial, proporcionado normalmente por grupos electrógenos, dichos consumos se reducen significativamente.

4.4. SECTOR AGRICOLA

La demanda de energía del sector agrícola de la Región presenta características peculiares, las que exigen llevar a cabo un enfoque metodológico dual, a fin de distinguir los requerimientos de la agricultura de subsistencia, la que se caracteriza por un nivel de mecanización muy reducido y una orientación hacia las explotaciones familiares o de minifundios de los de la agricultura moderna. Esta última, por su parte, incorpora un importante grado de energización de su actividad, a través de sus equipos de preparación de la tierra, cosecha y tratamientos de post-cosecha.

4.4.1 Agricultura de subsistencia

Este tipo de agricultura utiliza casi exclusivamente la tracción animal, la energía humana y, en algunos casos, el riego mediante bombeo. Sin embargo, la mayoría de los balances energéticos no contemplan la cuantificación de la energía animal ni humana, lo que es un error ya que de mantenerse las tendencias observadas universalmente, el crecimiento económico conducirá a un reemplazo, por lo menos parcial, de estas fuentes de energía por formas inanimadas⁴⁴.

Para los cultivos con riego, la estimación del consumo de energía para estos fines debe evaluarse contestando un conjunto de preguntas, tales como: ¿Cuál es la distribución por rangos de las bombas utilizadas por este sector?, ¿Cuántas horas al año son utilizadas?, ¿En promedio, cuán distantes se encuentran los puntos de operación de las bombas de su potencia nominal?, ¿Cuál es la altura media de cabeza y el flujo medio?, ¿Qué tipos de bombas se usan y cuales son las eficiencias típicas?

Para estimar las necesidades de riego se requiere fundamentalmente contar con el respaldo de los especialistas que prestan asistencia técnica a los pequeños campesinos y de los vendedores de este tipo de equipos. Puede ser recomendable, si se dispone de los recursos y el tiempo, complementar o comprobar la información provenientes de las fuentes anteriores mediante una encuesta directa.

El consumo actual de energía se determinará a partir de los consumos unitarios identificados más arriba y del número de familias campesinas que presentan esos consumos. Es probable que esta última información sea difícil sino imposible de obtener en la forma requerida y/o que esté disponible en una fuente única; sin embargo, los datos censales, las informaciones del Ministerio de Agricultura, los programas de electrificación rural, los vendedores de equipos y la opinión de especialistas públicos y privados, permitirán evaluar estos consumos.

Para la previsión de la demanda, se deberá conocer: la evolución del número de familias campesinas, la evolución del grado de electrificación rural, en el proceso de energización de actividades de post-cosecha, la variación de sus ingresos, el proceso de penetración de los combustibles comerciales, etc.

4.4.2 Agricultura moderna

El consumo de energía de la agricultura moderna debe estimarse a partir de la estructura de la producción y las hectáreas destinadas a los distintos cultivos. En general, no siempre se dispone de estadísticas de los consumos de energía del sector agrícola y cuando ellas existen son menos confiables que las de otros sectores, como el industrial y el transporte, por ejemplo. Sin embargo, los países disponen normalmente de una adecuada información acerca de las áreas destinadas a cada cultivo y el grado medio de energización de los distintos cultivos, lo que permite estimar adecuadamente los consumos actuales y preparar las bases para una razonable previsión de la demanda.

A continuación se señalan algunos consumos específicos, para distintos cultivos, provenientes de la literatura internacional⁴⁵:

- Para cultivos como el trigo y el maíz se requeriría del orden de 7 a 10 GJ/ha de combustibles (dependiendo del grado de mecanización) y 5 GJ/ha de electricidad para riego
- para frutas se calcula un requerimiento de 7 GJ/ha
- para las plantaciones forestales se requeriría del orden de 1 GJ/ha

La previsión de la demanda de energía para el sector presupone conocer, de acuerdo a los programas nacionales o escenarios preparados por especialistas, las áreas destinadas a cada cultivo y las exigencias que pudiese tener una agricultura de alto rendimiento y competitividad en el mercado mundial.

4.5. SECTOR TRANSPORTE

“El sistema de transporte puede ser definido como un conjunto de elementos cuya función es asegurar la continuidad y homogeneidad geográfica y física de los sistemas industriales y urbanos y del sistema socio-económico en su conjunto. Los requerimientos de energía alrededor del cual se centra este sistema están estrechamente ligados a esta función y nacen del alejamiento de las aglomeraciones urbanas y de las empresas industriales entre sí, de la distancia entre los lugares de producción y aquellos donde se concentra el consumo. Ello determina la necesidad para las personas de desplazarse y de las mercaderías a ser transportadas a través del territorio nacional y hacia el exterior”⁴⁶.

Las necesidades de transporte se satisfacen a través de las infraestructuras:

- terrestre: incluyendo automóviles particulares, transporte público urbano, transporte público interurbano, transporte de carga por camiones y el transporte ferroviario (carga y pasajeros)
- marítimo: incluyendo los sistemas fluviales, lacustres y marítimos
- aéreo: incluyendo el transporte de carga y de pasajeros

4.5.1 Transporte particular

La demanda de energía para estos fines depende de un conjunto de parámetros tales como del número de vehículos, del desarrollo urbano, de los desplazamientos vinculados al trabajo y a la recreación (pas-km), del precio del combustible, de la calidad del sistema de transporte público y de los consumos específicos de los vehículos (en l/km).

Algunos de estos parámetros son difíciles de cuantificar, siendo aún más complejo prever su evolución. Por estas razones se sugiere adoptar, para la estimación del consumo de energía destinado a este uso, una función simplificada:

$$\text{Cons. veh. part.} = N \times D \times \text{Cesp}$$

donde,

N = número de automóviles particulares (especificando gasolina o diesel)

D = desplazamiento medio anual por vehículo, en km/año

Cesp = consumo específico medio (urbano e interurbano), en l/km

Cons veh. part. = consumo total vehículos particulares, en l/año

El número de automóviles particulares y sus características principales se registra normalmente en las municipalidades y/o en los organismos especializados. Los desplazamientos medios pueden obtenerse igualmente de estos organismos o de promedios internacionales asimilables al país para el que se evalúa la demanda y los consumos específicos, de los organismos nacionales especializados (esta fuente es preferible, ya que sus cifras consideran la edad y estructura del parque y los hábitos de mantención y manejo) o de la literatura internacional.

En términos generales, el desplazamiento medio de estos vehículos es de 15.000 km/año (del orden de 20.000 km/año, si se incluyen taxis) y los consumos específicos en ciudad de 6 a 15 km/l, dependiendo de la cilindrada y edad de los vehículos y en carretera de 10 a 20 km/l.

Para la previsión de la demanda se deberá considerar el crecimiento del parque y su estructura, los que dependerán de cada país. Como referencia se puede señalar que la media de Europa Occidental, Japón, Australia y Nueva Zelanda era de 0,2 vehículos per cápita en 1970. Los rendimientos medios en ciudad -vehículos compactos eficientes, modelo 1985-, oscilaban entre 17,5 y 26 km/l y en carretera entre 23 y 32 km/l⁴⁷.

Salvo que existan decididas políticas públicas destinadas a privilegiar el transporte público sobre el particular es posible que el recorrido anual mencionado previamente no se modificará significativamente para el futuro. En lo que respecta a los rendimientos futuros, existen múltiples indicios técnicos que indicarían que la industria del automóvil puede reducir significativamente los consumos específicos alcanzados a la fecha, disminuyendo el peso de los vehículos, mejorando su aerodinámica, reduciendo el roce con el aire de la parte inferior del chasis, etc.

4.5.2 Transporte público urbano

La demanda de energía para estos fines depende de un conjunto de parámetros vinculados al número de vehículos, la existencia de ferrocarril urbano, el desarrollo urbanístico de las ciudades, los desplazamientos medios (pas-km), la calidad relativa del sistema de transporte público⁴⁸ y los consumos específicos de los vehículos (en km/l).

Como en el caso anterior, algunos de estos parámetros son difíciles de cuantificar y más aún de prever su evolución -es el caso, por ejemplo, de los pasajeros-km. Por ello se sugiere estimar el consumo de energía para el transporte público mediante una función simplificada;

$$\text{Cons. transp. púb} = N \times D \times \text{Cesp}$$

donde,

- N = número de buses (especificando gasolina o diesel)
- D = desplazamiento medio por vehículo, en km/año
- Cesp = consumo específico medio, en l/km
- $\text{Cons. transp. púb.}$ = Consumo total del transporte público, en l/año

El número de buses de transporte urbano y sus características principales se registra normalmente en las municipalidades, Ministerio de Transporte y organismos especializados. Los desplazamientos medios, igualmente, pueden obtenerse de estos organismos o directamente de los operadores del sistema, y los consumos específicos, de los operadores y de los organismos nacionales especializados.

Como referencia, en Santiago de Chile, en 1983, un parque de 7.200 vehículos transportaba 7.700 millones de pas-km y recorría 470 millones de veh-km, lo que da una media de 1,07 millones de pas-km y un recorrido de 65.000 km, por vehículo. El consumo específico de los buses chilenos era de 200 a 250 kcal/pas-km⁴⁹.

Para la previsión de la demanda, se deberá considerar el crecimiento del parque y la evolución de su estructura, factores que dependen de cada país. Por el contrario, los rendimientos medios estarán estrechamente vinculados a las políticas locales de gestión del sistema de transporte público. Como referencia se puede mencionar los consumos específicos indicados por Goldemberg et al, de 200 kcal/pas-km.

Como en el caso anterior, a menos que existan decididas políticas públicas destinadas a privilegiar el transporte público sobre el particular es posible que el recorrido anual no se modifique significativamente para el futuro.

4.5.3 Transporte público interurbano

El transporte público interurbano presenta características similares a las del transporte ferroviario, salvo en lo que respecta a la carga, donde compiten este último y los vehículos de carga pesados.

Los autobuses interurbanos satisfacen las necesidades de desplazamiento entre aglomeraciones urbanas (al menos en la mayoría de los casos) con fines recreativos o de trabajo.

Desde un punto de vista teórico, el consumo de energía actual, puede estimarse a partir de un conjunto de parámetros vinculados, en primera instancia, al conjunto de la población (distinguiendo aquellos que tienen vehículos de los que no lo tienen), a las características del territorio (hay países en la Región cuya topografía hace preferible los viajes en avión) y al emplazamiento de las actividades industriales y de servicios. Los parámetros anteriores determinan el número de viajes de recreación y de trabajo y las distancias a recorrer, a los que se agregan la tasa de ocupación y los consumos específicos por pas-km, para determinar el consumo de energía.

Como en el caso anterior, si se dispone de esta información, el consumo actual y previsto deberá calcularse en base a ésta. Como normalmente la información es limitada y su interpretación no siempre evidente, se sugiere, en estos casos, simplificar el enfoque utilizando una función similar a las anteriores.

$$\text{Transp. públ. inter.} = N \times D \times \text{Cesp}$$

donde,

N = número de autobuses interurbanos en funcionamiento

D = desplazamiento medio de los buses, en km/bus/año

Cesp = consumo específico medio en l/km

$\text{Transp. públ. inter.}$ = Consumo total del transporte público interurbano, en l/año.

El desplazamiento medio se determina como el promedio ponderado del número de buses que realizan un trayecto, dado por los km correspondientes a dicho trayecto y por el número de veces que se hace el trayecto en el año. Dicho cálculo deberá probablemente considerar que los autobuses que realizan viajes hacia lugares de turismo pueden tener una frecuencia distinta a lo largo del año.

La previsión de la demanda supone considerar los elementos siguientes:

- La evolución demográfica
- La posible evolución de las distancias a recorrer
- La posible evolución de la frecuencia de los desplazamientos

- El mejoramiento o empeoramiento de los caminos (incluido el aumento de la congestión y los accidentes)
- La relación entre los costos y tiempos del recorrido, que demanda el tren y los autobuses (para los trayectos cubiertos por ambos modos)
- La evolución de los hogares con vehículo particular y los incentivos a preferir el transporte público.

Dada la complejidad de los análisis que vinculan dichos factores a los requerimientos de transporte por este medio, se sugiere utilizar los trabajos elaborados por los especialistas en transporte y/o discutir con ellos el efecto de esos factores sobre la demanda energética.

Como referencia puede señalarse que Goldemberg et al consideran en sus análisis recorridos anuales de 1850 pas-km/per cápita y consumos medios de 110 kcal/pas-km.

4.5.4 Transporte ferroviario

El consumo de energía para el transporte ferroviario de pasajeros está sujeto a condicionantes generales similares a las de los autobuses interurbanos, salvo que como se dijo los trenes compiten con los camiones por el transporte de carga.

Dado que normalmente el transporte ferroviario se concentra en un número reducido de empresas, en muchos casos una sola -históricamente, estatal-, es relativamente fácil conocer con precisión los consumos actuales de energía total y por fuentes, en forma agregada y en función de parámetros tales como los pas-km y las t-km.

La previsión de los consumos de energía para el horizonte de proyección, requiere conocer o establecer escenarios respecto de:

- Evolución de los pasajeros totales y pas-km a transportar
- Evolución de la carga total (volumen y tipo) y t-km a transportar
- Desarrollo relativo de la red ferroviaria y de la red caminera
- Política de transporte, en lo que respecta a las prioridades asignadas a la expansión del transporte ferroviario o carretero
- Proyectos de modernización de los ferrocarriles
- Evolución de los consumos específicos por pas-km y t-km
- Estimación de la evolución de la demanda de electricidad y combustibles prevista por la propia empresa de ferrocarriles.

La información que proporcione la empresa de ferrocarriles, en principio, salvo evidencias que demuestren lo contrario, debe ser la base de la previsión de la demanda.

4.5.5 Transporte aéreo

El consumo actual de combustibles para transporte aéreo se determina a partir de las informaciones registradas por las refinerías, de las eventuales importaciones y exportaciones y de las ventas de las compañías distribuidoras. No se considera exportación al llenado habitual de combustibles por parte de las líneas extranjeras.

La proyección de la demanda de combustibles para el transporte aéreo se realizará a partir de las previsiones de las refinerías, de los planes de las líneas aéreas nacionales (incremento de la flota y del número de vuelos), de las políticas de llenado de combustible de las líneas extranjeras que incluyen al país en sus rutas y de la variación del número de vuelos de estas últimas. Obviamente, se deberá verificar la coherencia de las previsiones de las refinerías y/o distribuidores de combustibles, con los antecedentes de las líneas aéreas.

4.6. SECTOR INDUSTRIAL Y MINERO

Desde el punto de vista de los procesos y tipos de consumo, los sectores industrial y minero presentan una gran similitud, lo que justifica tratarlos en conjunto, bajo la denominación común de sector manufacturero. De hecho, en muchos países los consumos correspondientes a las actividades no extractivas de las empresas mineras -por ejemplo, la fundición y refinación de minerales- se incluyen en los balances y análisis energéticos de los países como consumos industriales.

La previsión de la demanda de energía del sector distingue un conjunto de grandes agregados y/o ramas, las que se agrupan según su importancia relativa y la homogeneidad de los factores que determinan su demanda de energía. Château y Lapillone⁵⁰ distinguen los siguientes criterios de homogenización para descomponer el sector:

- comportamiento de los agentes económicos en relación a sus elecciones tecnológicas
- contexto tecnológico en el cual se constituyen los requerimientos energéticos
- contexto físico en el cual se inscriben las opciones tecnológicas

La selección de las opciones tecnológicas o las energéticas dependen claramente de la importancia de los costos de la energía en relación a los costos totales de operación. En este sentido, se distinguen dos tipos de industrias: aquellas en que los costos de la energía son determinantes en el costo del producto final (en general superior al 10%), normalmente conocidas como industria pesada y/o intensivas en energía y aquellas en que los costos de la energía son menos importantes -respecto del costo total, a lo más 5%- y que, normalmente se conoce como la industria liviana o poco intensiva en energía.

Estudios realizados para estimar la demanda eléctrica en Chile, distinguen la minería del cobre, la industria de pulpa y papel, la industria siderúrgica, la industria del cemento y la industria química y petroquímica del resto del sector manufacturero⁵¹.

En lo que respecta al contexto tecnológico, la demanda de energía en este sector se caracteriza por los tipos o familias de requerimientos de energía útil y la importancia relativa de las distintas formas de ésta.

Como enfoque metodológico, la homogeneidad del contexto físico tiene menos importancia. Sin embargo, puede ser interesante en los países donde existan políticas de uso eficiente de la energía que promuevan el aprovisionamiento centralizado de energía, distinguiéndose en este caso: las empresas diseminadas, las conectadas con las aglomeraciones urbanas y las implantadas en parques industriales.

4.6.1 Requerimientos de energía característicos del sector manufacturero

Para los fines de analizar los usos finales de la energía, los que servirán de base a la previsión de la demanda, conviene distinguir los requerimientos energéticos directamente ligados a la producción de los requerimientos auxiliares o servicios, ligados a las características de la empresa, más bien que a la evolución de su producción. A continuación se enumeran los distintos tipos de requerimientos energéticos:

a) Requerimientos directos

- Requerimientos de energía térmica
 - calor de alta temperatura (hornos)
 - calor de temperatura media (vapor, agua caliente, aire caliente)
 - frío industrial (preservación, congelado, extra baja temperatura)
- Requerimientos de energía mecánica
 - motores eléctricos
 - transporte de fluidos (aire, agua, sólidos en dilución)
- Requerimientos eléctricos específicos (iluminación, electrónica, electroquímica)
- Otros requerimientos (plásticos, reducción, etc)

b) Requerimientos auxiliares

- Calefacción y climatización
- Agua caliente sanitaria
- Equipamiento de oficina
- Iluminación de oficinas

Con fines de simplificación, se pueden distinguir las siguientes categorías de requerimientos energéticos: (1) hornos, (2) calderas, (3) motores eléctricos, (4) iluminación y (5) procesos específicos.

4.6.2 Industrias fuertemente consumidoras de energía (IFCE)

En la mayoría de los países un número reducido de empresas concentra un elevado porcentaje del consumo de energía.

RECUADRO IV-2

Concentración de la demanda energética industrial

En el caso chileno, alrededor de 60 empresas concentran un 70% de la demanda de electricidad⁵². Salvo casos especiales, su producción está vinculada a los bienes transables y en menor medida a la producción de insumos intermedios, tales como el cemento, el acero o los vidrios; en consecuencia, su producción y, por ende, su demanda de energía depende de la situación del mercado internacional.

La extrema concentración de la demanda simplifica significativamente la metodología de previsión, ya que obtener la información acerca de los consumos de energía y su estructura por usos finales para un número reducido de empresas, es relativamente simple y poco costoso.

Informaciones respecto de un estudio realizado a partir de una muestra que incluye 1300 empresas del Estado de San Pablo, permiten concluir que 5 ramas industriales (de un total de 21) concentran cerca de un 80% del consumo total de energía de la muestra⁵³.

En el recuadro siguiente se identifican, en términos generales, las principales IFCE y los procesos empleados por éstas. Para la previsión de la demanda es imprescindible considerar el tipo de proceso, ya que en algunos casos los consumos de energía por unidad de producto pueden variar de 1 a 3, dependiendo del proceso adoptado.

La estimación del consumo actual de energía, por fuentes y usos finales o procesos, requiere identificar para cada una de estas pocas empresas que concentran un 70 u 80% del consumo de energía:

- el consumo total y por fuentes de energía
- el consumo por usos finales
- la producción total y de los principales procesos que caracterizan la producción de la empresa
- una breve descripción de los procesos utilizados
- el origen de la energía consumida, ya sea adquirida o autogenerada.

RECUADRO IV-3
Principales IFCE y procesos empleados por ellas

Industrias	Procesos
<u>Acero bruto</u>	Alto horno + acería Reducción directa + horno eléctrico Fusión de pre-reducidos importados Fusión de chatarra
<u>Acero laminado</u>	Colada clásica Colada continua
<u>Aluminio</u>	Proceso Bayer-Hérault Proceso Puk-Hérault Proceso Alcoa Reciclado chatarra
<u>Cemento</u>	Vía seca Vía semi-seca y semi-húmeda Vía húmeda
<u>Cobre</u>	Proceso pirometalúrgico Proceso hidrometalúrgico Minería subterránea Minería a tajo abierto
<u>Vidrio</u> (plano y hueco)	Fusión con combustible Fusión mixta combustible-eléctrica Fusión eléctrica
<u>Pulpa para papel</u> (con y sin recuperación de desechos)	(integrada o no) Mecánica Kraft Semi-química Reciclado
<u>Papel</u>	Procesos definidos en función de las distintas proporciones de pastas
<u>Cloro</u>	Proceso diafragma Proceso mercurio
<u>PVC, polietileno</u>	Proceso clásico Recuperación de desechos
<u>Amoniaco</u>	Proceso hidrógeno Proceso gas natural
<u>Etileno</u>	Proceso nafta Proceso gas natural

Fuente: Château y Lapillone, 1977

En principio, la evolución de la demanda de energía y de su estructura por fuentes depende de los siguientes factores:

- precios relativos de los combustibles y la electricidad
- sustitución de las materias primas
- sustitución de los equipos y procesos, lo que depende:
 - del desarrollo tecnológico
 - de los costos de inversión y de funcionamiento
- mejoramiento de la eficiencia de rendimiento de los equipos existentes y de los nuevos.
- política energética y ambiental
- planes de producción de las empresas.

Manteniendo el enfoque anterior, vale decir, considerando que un grupo pequeño de empresas explica el consumo de energía de las empresas altamente consumidoras de energía, la metodología de previsión de la demanda de energía podrá simplificarse y considerar básicamente los antecedentes siguientes:

a) Empresas existentes

- el crecimiento de la producción, en base a la capacidad instalada
- sus proyectos futuros, especificando:
 - fecha de puesta en marcha y de plena ocupación
 - productos
 - producción
 - procesos (mantención, modificación o incorporación de nuevos)
 - autogeneración y/o cogeneración
 - consumo de energía total y por fuentes
 - consumos específicos por procesos
- la introducción de tecnologías de uso eficiente de energía
- la sustitución de fuentes energéticas por razones ambientales u otras

b) Empresas nuevas

La estimación de la demanda de energía de las empresas IFCE que se instalarán en los próximos años en el país, puede realizarse mediante dos enfoques metodológicos o combinaciones de ambos. El primero consiste en analizar la demanda de los principales insumos intermedios y la demanda internacional de los bienes que definen las exportaciones principales del país y evaluar, considerando la tasa de inversión y la disponibilidad de recursos, la posible producción futura de éstos. Con ambos antecedentes y una evaluación de los posibles cambios de proceso y, por ende, de eficiencia y fuentes energéticas requeridas, se puede estimar el consumo futuro de energía, derivado de estos proyectos.

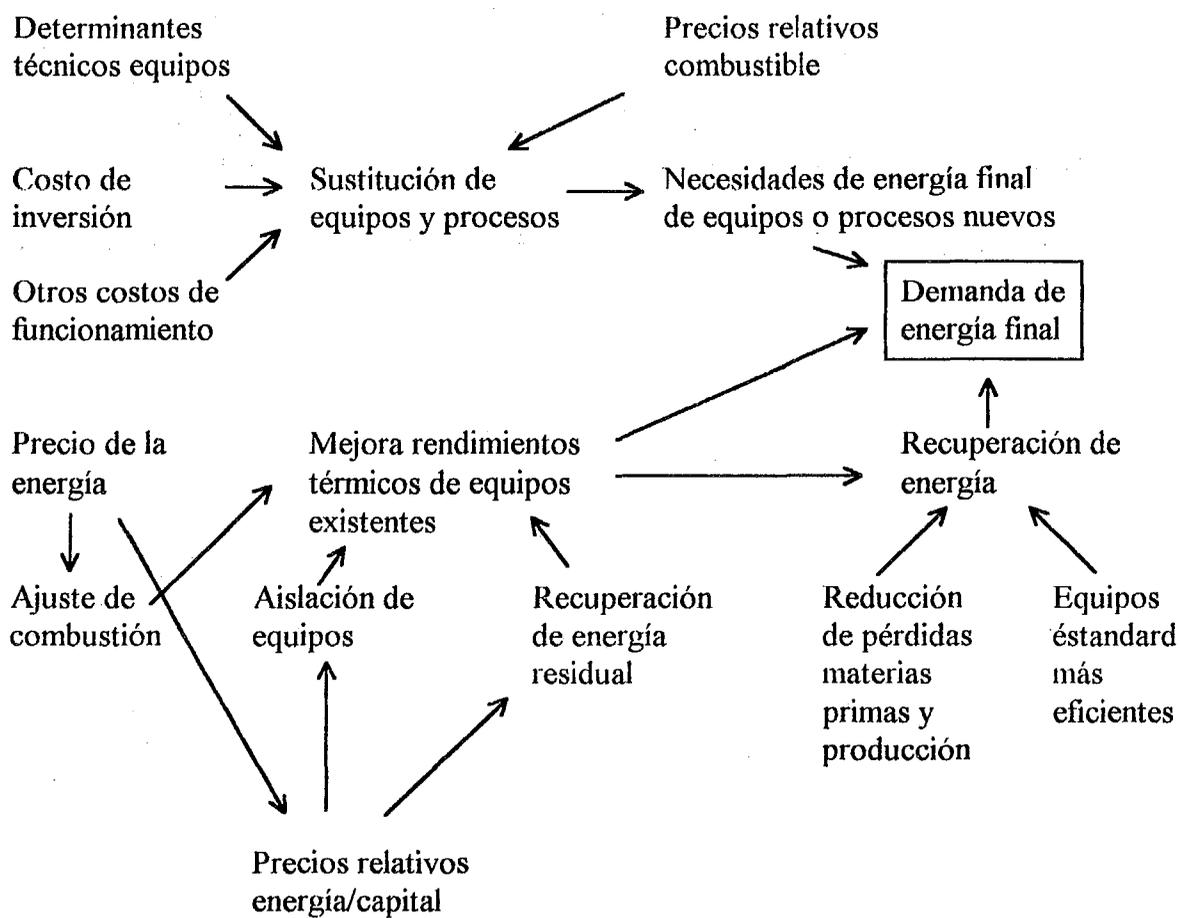
La otra opción consiste en identificar todos los proyectos conocidos públicamente, que demanden una inversión superior a US\$ 5 o 10 millones (dependiendo del país) y que sean

altamente consumidores de energía. En un horizonte de 5 a 6 años es difícil que un proyecto que se vaya a materializar en dicho horizonte no sea conocido en la actualidad y que no existan, por lo menos, estudios de factibilidad o prefactibilidad que definan su demanda máxima y sus requerimientos de energía eléctrica y de combustibles por unidad de producto, la producción a la fecha de la puesta en marcha y de plena capacidad, y los procesos que se emplearán.

Con estos antecedentes, se podrá estimar la demanda adicional de los nuevos proyectos, para un horizonte de 5 a 6 años. Para el resto del horizonte de la proyección, se deberá extrapolar la demanda de los nuevos proyectos, desconocidos a la fecha del ejercicio de previsión de demanda; ello implica analizar las perspectivas de la economía internacional y la del país en estudio, las tasas de inversión y de crecimiento de la economía, los cambios estructurales, las políticas ambientales, y las políticas energéticas y de uso eficiente de la energía.

El gráfico que se presenta en la página siguiente ilustra el proceso de evolución de la demanda de las IFCE.

Modelo de Previsión de Demanda de Energía Final para las IFCE



4.6.3 Industrias livianas y/o de bajo consumo de energía

En esta categoría se incluyen normalmente la industria de los materiales de construcción diversos y productos de primera transformación de metales, las industrias mecánicas, textiles, agro-alimenticias y otras. Para la proyección de la demanda podría utilizarse el enfoque del uso final desarrollado más arriba; sin embargo, ello es posible solamente en aquellos países que dispongan de una gran cantidad de información de base acerca de la utilización de la energía en las distintas ramas industriales y mineras.

Dado que ésta no es la situación en la mayoría de los países de la Región, se deberá adoptar enfoques metodológicos que respondan a esa realidad. Una propuesta coherente con esta situación consiste en adoptar una metodología híbrida, que se apoye en el uso de los modelos econométricos y los elementos conceptuales derivados del enfoque del uso final de la energía.

RECUADRO IV-3
Enfoque metodológico para la previsión de la demanda energética de la industria de bajo consumo de energía

En la medida que se disponga de información respecto del consumo de energía de las distintas ramas de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), lo que normalmente llevan a cabo las oficinas nacionales de estadísticas y/o las oficinas de planificación nacional o sectorial, se pueden establecer series para un número suficiente de años, que relacionen el consumo de energía con el valor agregado de la rama. En forma extraordinaria se podrán establecer correlaciones con el valor de las ventas de las ramas, si las cifras de valor agregado no están disponibles o no son confiables.

Como las empresas que concentran parte importante del consumo de energía (IFCE) pertenecen a unas pocas ramas y son responsables de un elevado porcentaje de su consumo, se sugiere excluir del análisis la rama correspondiente.

Normalmente, las funciones que explican el consumo de energía del sector manufacturero y de sus componentes pueden tener distinta estructura y variables explicativas; los tests estadísticos correspondientes permitirán establecer las mejores funciones de causalidad.

Conviene señalar que algunas experiencias demostrarían una tendencia a una reducción de la elasticidad ingreso de la demanda de energía en la medida que aumenta el ingreso⁵⁴ y que la elasticidad precio, para los usos específicos de la electricidad, es muy baja.

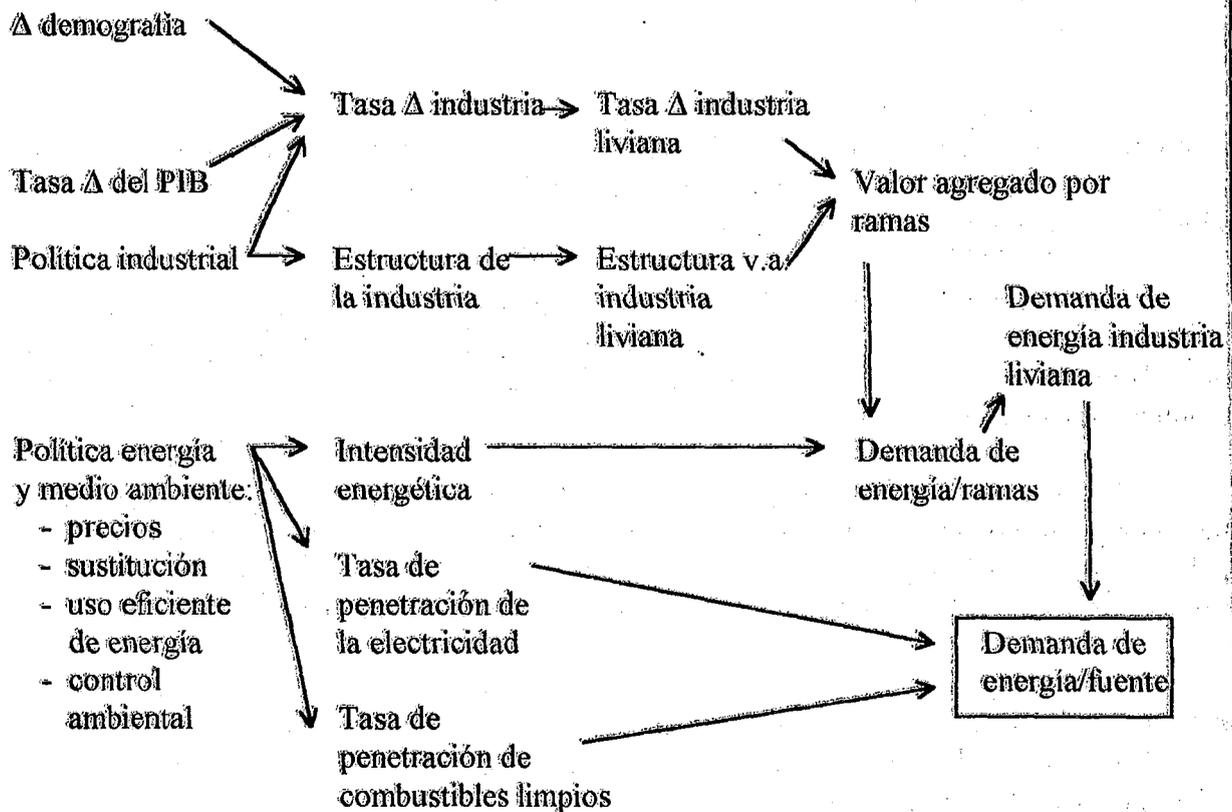
La previsión de la demanda de las industrias livianas presupone establecer escenarios alternativos respecto de:

- la demografía
- el crecimiento económico
- las políticas industrial, ambiental y energética
- las políticas de precios de la energía
- el crecimiento de los distintos sectores de la economía
- el crecimiento de la industria y sus distintas ramas
- las tendencias de sustitución entre las distintas fuentes de energía
- la evolución de la intensidad energética de la industria y de las distintas ramas.

Sobre la base de los escenarios anteriores y las correlaciones definidas a partir de los consumos históricos se proyectará la demanda de energía para la industria liviana. Dada la posible evolución de la elasticidad ingreso, conviene estimar la elasticidad para series de tiempo de duración decreciente; por ejemplo, 35, 25 y 15 años, en la medida que los años de crisis o bonanzas anormales no pesen demasiado en el periodo considerado.

El gráfico que se presenta a continuación permite visualizar el proceso de previsión de la demanda de energía para las industrias ligeras.

Modelo de Previsión de la Evolución de la Demanda de Energía de la Industria Liviana



4.7. SECTOR PUBLICO Y COMERCIAL

En general, los consumos de energía de los sectores público y comercial son menos significativos que los correspondientes a la industria, el transporte y el sector residencial. Ello explica que las previsiones de demanda, en su caso, tengan un tratamiento metodológico menos elaborado. La presente guía no es una excepción.

Para proyectar la demanda de estos sectores se sugiere establecer regresiones entre sus consumos históricos y algunos indicadores macroeconómicos tales como el Producto Interno Bruto, total o per cápita, la población ocupada en la actividad comercial o pública, etc.

Aún cuando los requerimientos energéticos del sector comercial aparecen más directamente vinculados con esos indicadores macroeconómicos, la demanda del sector público pareciera tener una adecuada correlación con esos indicadores de acuerdo con estudios realizados por los autores.

El resultado de las regresiones deberá ajustarse para incorporar algunos cambios estructurales, tales como: la reducción del aparato del Estado y el desarrollo de los centros comerciales y tiendas por departamentos. En el área comercial, ello significa un aumento significativo de los requerimientos de iluminación y climatización de locales.

Desde el punto de vista de la eficiencia energética, estos cambios estructurales acarrearán la introducción de tecnologías de iluminación más sofisticadas y, normalmente, más eficientes, y una visión sistémica entre los requerimientos de climatización y la racionalización del diseño arquitectónico y de las cargas internas del edificio.

Aún cuando en el sector público este fenómeno presenta menos dinamismo, no puede ignorarse lo ineludible de la introducción masiva de luminarias eficientes en el caso del alumbrado público, la racionalización de la iluminación de las oficinas, las mejoras de los sistemas de calefacción y la optimización en el uso de los motores eléctricos (ascensores y bombas).

Desde el punto de vista de los usos finales, los requerimientos energéticos de estos sectores se limitan, salvo excepciones, a la iluminación y acondicionamiento ambiental de los locales. Incluso en el caso del comercio minorista, sus consumos son similares a los residenciales, salvo que limitados a los usos recién mencionados.

NOTAS Y BIBLIOGRAFÍA

¹ Crousillat, Enrique O, "La incorporación del riesgo y de la incertidumbre en la planificación de sistemas eléctricos", OLADE, Revista Energética, Año 15, N° 2, mayo-agosto, 1991, pp.147-161.

² CEPAL. El Desarrollo Sustentable: Transformación productiva, equidad y medioambiente, Santiago de Chile, 1991.

³ Colby, M., "The Evolution of Paradigms of Environment Management in Development", Strategic Planning and Review, The World Bank, Washington, 1988.

⁴ Peña Sánchez de Rivera, Daniel. Estadística, Modelos y Métodos, segunda edición, Editorial Alianza Universitaria Textos, Madrid, 1992. Una rigurosa exposición de los factores que deben ser considerados al seleccionar el método de pronóstico, es efectuado a partir del estudio realizado por Whellwright y Clarke ("Corporate Forecasting: Promise and Reality", Harvard Business Review, Noviembre-Diciembre 1976, pp. 40-60). Si bien dicho estudio fue elaborado teniendo en mente a las empresas, parte de estos factores se revelan válidos para las previsiones de la demanda de energía o de uno o varios productos energéticos, aun cuando éstas sean realizadas por entes gubernamentales.

⁵ Peña Sánchez de Rivera (1992), Capítulo 3, *op. cit.*

⁶ Un interesante aporte al uso de este método, es el realizado en un proyecto destinado a evaluar la viabilidad de aumentar el abastecimiento nacional de bienes y servicios para la minería en Chile. Véase, "Chile: Desarrollo de encadenamientos productivos en torno al abastecimiento de la actividad minera", Pedro Maldonado, América Latina. Inversión y Equidad. OIT-PREALC, 1990.

⁷ CEPAL. "Short-Term Energy Forecasting Using Time Series Techniques: Chile, A case study", October 3, 1988. Gran parte de este capítulo está basado en este estudio, que constituye una acabada revisión del uso de series de tiempo más utilizadas en la predicción de la demanda de algunos productos energéticos en el país en cuestión.

⁸ Véase además: Wonnacott, Thomas H. y Wonnacott, Ronald J. Introductory Statistics for Business and Economics, New York, 1990, Capítulo 24, dedicado a Serie de Tiempo.

⁹ Makridakis, Spyros, et al. Forecasting: Methods and Applications. John Wiley & Sons, New York, 1983.

¹⁰ Una evaluación respecto a la precisión de las proyecciones obtenidas con este método es la expuesta en el estudio CEPAL, 1988, *op. cit.*

¹¹ *Ibid.*

¹² ARIMA: AR: autoregresivo; MA: promedio móvil; I: integrado.

¹³ MAPE: Error porcentual absoluto promedio, definido por:

$$MAPE = 1/n \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_i - F_i}{X_i} \right|$$

en que:

X_i : ventas reales en el período i .

F_i : predicción de ventas para el período i .

i : horizonte de predicción.

¹⁴ CNE (Comisión Nacional de Energía). Aplicación de Modelos de Box-Jenkins a la predicción de corto plazo de ventas de hidrocarburos y derivados. Santiago, Chile, 1981.

¹⁵ Girod, Jacques. La Demande d'Énergie. Méthodes et techniques de modélisation. Energie et Société. Centre Nationale de la Recherche Scientifique (CNRS), 1977.

¹⁶ Véase Gujarati, Damodar N. Econometría. McGraw-Hill, 1990.

¹⁷ Hemos excluido del análisis relativo a las regresiones las estimaciones por intervalos y prueba de hipótesis. Esta última permite responder a la pregunta ¿es un determinado resultado compatible con cierta hipótesis enunciada? Por su parte, la estimación por intervalos se puede definir como un rango construido de tal manera que tiene una probabilidad específica de incluir dentro de sus límites el verdadero valor del parámetro desconocido.

¹⁸ También llamada variable ficticia o "dummy". Se refiere a aquellas variables que representan categorías y pueden asumir el valor de "0" ó "1".

¹⁹ Gujarati, D., *op. cit.*, IV Parte Modelo de ecuaciones simultáneas.

²⁰ Si bien la literatura es prodiga en lo que al uso de la elasticidad precio se refiere, es también frecuente el uso de la llamada elasticidad cruzada que mide la variación porcentual de la demanda de una forma de energía cuando varían los precios -porcentualmente- de otras formas de energía.

- ²¹ PRIEN, "Estimación de la demanda por electricidad en el Sistema Interconectado Central - 1992-2002" Centro Económico de Despacho de Carga, Santiago, Chile, octubre, 1993.
- ²² Gujarati, D., *op.cit.*, Capítulo 11 relativo a especificación de modelos.
- ²³ *Ibid.*
- ²⁴ Goldemberg, J., Johansson, Th., Reddy, A. y Williams, R. "Energy for a Sustainable World", Wiley, 1988.
- ²⁵ OLADE. "La Década de los Ochenta", Revista Energética, Quito, enero-abril de 1990.
- ²⁶ Sánchez, Gabriel. "La Deuda Externa de América Latina y El Caribe: Un Obstáculo al Desarrollo Energético Regional". Primer Congreso Nacional de Energía-Chile, Santiago, Chile 1990.
- ²⁷ Girod, J., *op.cit.* p.8.
- ²⁸ OLADE. Enclac '93. Estadísticas e Indicadores Económico-Energéticos de América Latina y el Caribe, Quito, mayo, 1993.
- ²⁹ Maldonado, P. "Uso eficiente de energía; Situación actual y perspectivas" Primer ciclo de trabajo, CNE, Santiago, Chile, mayo, 1993.
- ³⁰ Valdés, F. "Saving Energy in Chile: An Assessment of Electricity Use and Potential Efficiency Improvements". Natural Resources Defense Council & International Institute for Energy Conservation, Washington, USA, May 1993.
- ³¹ PRIEN, "Estimación del potencial de ahorro de energía en el sector industrial y minero". Informe preparado para la Comisión Nacional de Energía/Comisión de las Comunidades Europeas, Santiago, Chile, septiembre 1993.
- ³² Maldonado, P., Miranda, R. y Sánchez, W. "Gestión de los requerimientos eléctricos municipales: un área privilegiada para el uso eficiente de la energía" Actas del Segundo Congreso Nacional de Energía, Concepción, Chile, abril, 1993.
- ³³ PRIEN, "Identificación y evaluación de las oportunidades de ahorro de energía térmica en el Palacio de la Moneda". Informe preparado para la Comisión Nacional de Energía/Comisión de las Comunidades Europeas, Santiago, Chile, julio 1993.
- ³⁴ Levine, Geller, Koomcy, Nadel y Price. "Electricity End-Use Efficiency", Washington, 1992.
- ³⁵ Kamimura, A. y Rodrigues, D., "Estrutura do Uso Final da Energia para os Principais Consumidores de Óleo Combustível no Estado de Sao Paulo", Anais do III Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, Outubro, 1984.
- ³⁶ Dutt, Gautam S. "Techniques for End-Use Electricity Analysis and Conservation Program Design and Evaluation", volume A: Technical and Economic End-Use Analysis, The Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University, Princeton, USA, June 1992.
- ³⁷ Socolow, R., "The coming age of conservation", Annual Review of Energy, vol.2, 1977.
- ³⁸ Alvarado, S. y Durán H. "An end-use oriented energy scenario country study: Chile 2020", Global Workshop on end-use oriented energy strategies. San Pablo, Brasil, 4-15 June 1984
- ³⁹ PRIEN, "Requerimientos energéticos en zonas rurales", Comisión Nacional de Energía, Santiago, Chile, enero 1994.
- ⁴⁰ No se considera en la formalización del método de previsión de la demanda de energía para iluminación, las alternativas no eléctricas. Ello no implica ignorar su importancia y la necesidad de incorporarlas al análisis como parte de un proceso de sustitución de fuentes.
- ⁴¹ En la Región existe un porcentaje significativo de planchas que no son eléctricas, metodológicamente la previsión de la demanda supone un proceso de sustitución de los sistemas convencionales de planchado a el planchado eléctrico.
- ⁴² SINERGOS/PRIEN, "Mejoramiento energético de Chiloé, en la perspectiva de su desarrollo sustentable", Santiago, Chile, julio 1993.
- ⁴³ Fuentes, C. "Requerimientos Energéticos en las Zonas Rurales Pobres de la Provincia de Cauquenes, VII Región", memoria para optar al título de Ingeniero Industrial, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, Santiago, Chile, 1994.
- ⁴⁴ La mecanización de la agricultura es discutida por algunos especialistas, que promueven los fertilizantes orgánicos y la tracción animal.
- ⁴⁵ Alvarado, S. y Durán, H., *op.cit.*

⁴⁶ Château, B. y Lapillonnc, B. La prévision à long terme de la demande d'énergie, propositions méthodologiques, Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 1977.

⁴⁷ Goldemberg, J., Johansson, T., Reddy, A., Williams, R. Energy for a Sustainable World, Wiley, 1988.

⁴⁸ La experiencia de la ciudad de Curitiba en Brasil demostró que una adecuada política de transporte público puede desplazar al automóvil manteniendo o incluso ganando en eficiencia.

⁴⁹ O'Ryan, R. , "Energía y transporte de pasajeros en Santiago: impactos de una gestión integrada", tesis para optar al grado de magister en Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, Santiago, Chile, 1986.

⁵⁰ Château, B. y Lapillonnc, B., 1977, *op.cit.*

⁵¹ PRIEN, octubre, 1993, *op.cit.*

⁵² PRIEN, septiembre, 1993, *op. cit.*

⁵³ Kamimura, A. y Rodrigues, D., *op.cit.*

⁵⁴ PRIEN, octubre, 1993, *op.cit.*