

NACIONES UNIDAS

CONSEJO  
ECONOMICO  
Y SOCIAL



LIMITADO

ST/ECLA/CONF.7/L.1.07  
14 de noviembre de 1960

ESPAÑOL  
ORIGINAL: INGLES

BIBLIOTECA NACIONES UNIDAS MEXICO

SEMINARIO LATINOAMERICANO SOBRE ENERGIA ELECTRICA

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

México, 31 de julio a 12 de Agosto 1961

PROPIEDAD DE  
LA BIBLIOTECA

C. /

CATALOGADO

METODOS DE PROYECTAR LAS NECESIDADES  
FUTURAS DE ENERGIA ELECTRICA

por

la División de Energía de la Comisión Económica  
para Europa de las Naciones Unidas

NOTA: Este texto será revisado editorialmente.

I N D I C E

|  | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| 1. Introducción.....   | 1             |
| 2. Métodos de proyección.....  | 2             |
| a) Elaboración de las estadísticas.....                                  | 2             |
| b) Clasificación de los métodos empleados.....                           | 4             |
| 3. Consideraciones que influyen sobre las necesidades de<br>consumo..... | 8             |
| 4. Bibliografía.....   | 11            |

## 1. Introducción

En muchos países del mundo, y por cierto en los de Europa, las tasas de crecimiento del consumo de energía eléctrica han sido casi uniformemente elevadas. En general, el consumo ha aumentado con mayor rapidez y uniformidad que la producción de bienes y servicios - aunque ésta ha crecido en forma sostenida - y su empleo en el hogar se ha ampliado con mayor celeridad que el número de consumidores residenciales. Como resultado de estas tendencias, una parte cada vez mayor de la energía primaria que emplean las diversas economías nacionales tiende a ser consumida en forma de electricidad. De ahí que en la mayoría de los países se registre un proceso a largo plazo de sustitución de energía procedente de otras fuentes por energía eléctrica, proceso que tiene distinto ritmo según la energía y los recursos naturales disponibles. Las proyecciones de las necesidades de energía eléctrica, expresadas en términos de consumo o del aumento de la carga, son por lo general a plazo mediano (5 ó 10 años) o a largo plazo. También se emplean los planes o pronósticos a corto plazo, en general para los programas de explotación o conservación.

En Europa existe una enorme diferencia en el grado de industrialización que han alcanzado los distintos países; en cuanto al grado de diversificación de los recursos naturales de energía que poseen; en la forma de organización económica; y en la etapa de electrificación en que se encuentran medida según el consumo medio por habitante. Las tasas características de crecimiento del consumo varían de acuerdo con lo anterior. La necesidad siempre presente de invertir juiciosamente en la ampliación de los sistemas de suministro de energía ha dado origen al empleo de diversas técnicas de proyección, de acuerdo con las distintas condiciones que rigen en cada país. A fin de difundir en la forma más amplia posible los diversos métodos, el Comité de Energía Eléctrica de la Comisión Económica para Europa ha designado a un Grupo de Expertos para estudiar los procedimientos empleados.

/Los resultados

Los resultados de esta investigación han sido publicados.<sup>1/</sup> También se han considerado las tendencias del consumo y su evaluación en un estudio sobre la situación del suministro eléctrico en Europa durante la post-guerra<sup>2/</sup> así como en informes anuales sobre el desarrollo de la industria abastecedora de energía eléctrica en Europa realizados recientemente por la Secretaría de la Comisión.<sup>3/</sup>

El informe que viene a continuación se divide en dos partes. La primera expone algunos aspectos sobresalientes de las técnicas principales de proyección empleadas de acuerdo con las condiciones imperantes en Europa y la segunda resume ciertas consideraciones básicas respecto de las proyecciones derivadas de un estudio de las tendencias de esa región. El documento mencionado y las referencias bibliográficas que se indican posteriormente entran en mayores detalles sobre las materias estudiadas.

## 2. Métodos de proyección

### a) Elaboración de las estadísticas

Todo plan o proyección se basa en último término en un conjunto de datos obtenidos mediante el estudio de acontecimientos pasados. Para usar ese tipo de series estadísticas en general es necesario eliminar los efectos de influencias extrañas - influencias económicas o estacionales debidas a huelgas o feriados, por ejemplo, o factores climáticos debidos a las fluctuaciones de temperatura o a las condiciones de luminosidad o a condiciones hidráulicas que influyen sobre la producción y determinados tipos de consumo.

---

1/ Methods Employed for the Determination of Electric Power Consumption Forecasts (E/ECE/224).

2/ Developments in the Situation of Europe's Electric Power Supply Industry During the Post-War Period (E/ECE/367), capítulo 1.

3/ Véase The Electric Power Situation in Europe in 1957 (E/ECE/359) The Electric Power Situation in Europe in 1958/59 and its Future Prospects (ST/ECE/EP/2), capítulo II.

Un método de reducir la dispersión entre distintas tasas de variación correspondientes a diferentes épocas y países consiste en reunir una serie de tendencias a largo plazo trazadas sobre la base de datos correspondientes a años consecutivos y trazarlas conjuntamente a partir del mismo punto de origen. El "haz" de tendencias que resulta puede resumirse trazando la mediana y los cuartiles inferior y superior, y por lo tanto puede usarse como punto de partida para el cálculo por extrapolación simple.<sup>4/</sup>

También se emplea el método de derivar un "intervalo de confianza" a partir de las tendencias estadísticas anteriores, especialmente en aquellos casos en que se incluyen series estacionales. En este caso el objeto es determinar los límites inferiores y superiores dentro de los cuales se puede suponer que estarán incluidos los valores reales de las series empíricas siguientes.

En algunos países europeos se calculan los promedios simples del consumo medio mensual o por día hábil de cada mes, dividiéndose el consumo real por el número de días hábiles. Para este objeto se pueden tomar en consideración los sábados, domingos y feriados legales mediante el empleo de un factor apropiado.

El empleo de los promedios móviles para reducir las fluctuaciones a corto plazo tiene la desventaja de introducir rezagos en las series. Por esta razón UNIPEDE recomienda el empleo del consumo mensual corregido y del promedio móvil correspondiente y publica para algunos países las tendencias mensuales normales del consumo y las tendencias corregidas que eliminan las fluctuaciones estacionales regulares y el efecto de los feriados. En la forma empleada por UNIPEDE, los coeficientes para las variaciones estacionales se obtienen dividiendo el consumo mensual (corregido para los días hábiles) por el valor correspondiente

---

<sup>4/</sup> El método se analiza en la Circulaire Periodique N° 19 de la Unión Internacional de Productores y Distribuidores de Energía Eléctrica (UNIPEDE) París, 1952.

del promedio móvil. Se obtiene el consumo corregido dividiendo la cifra correspondiente al consumo de cada mes por el coeficiente de variación estacional media correspondiente. La tendencia así obtenida refleja con mayor exactitud la influencia de las variaciones de la actividad económica sobre el desarrollo del consumo de electricidad.

En algunos países de Europa que dependen en forma más directa de la energía térmica se considera el efecto de las desviaciones con respecto a la temperatura y condiciones de luminosidad medias sobre la carga diaria. En lo que se refiere al consumo anual la influencia de las condiciones climáticas fluctuantes en los meses de invierno tiene especial importancia en algunos países. Por primera vez se analiza el problema mencionado en lo que se refiere a los países de Europa, en el documento ST/ECE/EP/9. Para poder estimar la influencia de una desviación de la temperatura media de  $1^{\circ}$  C (T) durante un período de larga duración sobre una serie de datos consecutivos sobre consumos (C) es necesario separar el factor mencionado del que se debe a cambios en la actividad económica. Si este último se ve reflejado, por ejemplo, por una tasa porcentual de variación en el índice de producción manufacturera (M), la influencia media que ejerce T se puede (en principio) deducir aproximadamente calculando una ecuación parcial de regresión del tipo general  $C = aM + bT + C$ . Dentro de las limitaciones de los datos, esto permite expresar por separado el porcentaje de cambio en C que corresponde a  $1^{\circ}$  de desviación del promedio T o a un uno por ciento de cambio en M, suponiendo que en cada caso el otro permanece constante.

b) Clasificación de los métodos empleados

Luego de haber tomado en consideración las conclusiones anteriores, el método principal empleado en Europa para hacer las proyecciones puede dividirse en dos categorías principales:

- los que se basan en la aplicación de una tasa (o tasas) media de variación;
- los que consisten en sumar las necesidades de los distintos sectores consumidores.

i) Los métodos que se basan en la determinación de una tasa media de variación

En Europa es bastante común el empleo de métodos de este tipo. Los supuestos empleados pueden llevar a una tasa de variación exponencial constante aplicable a un período limitado; a una tasa gradualmente regresiva; o a tasas de variación basadas en la evolución de los diferentes factores que rigen el consumo, derivadas de fórmulas empíricas bastante complejas.

La conocida tasa constante que se basa en la duplicación del consumo en cada decenio (que equivale al 7.2 por ciento anual) caracteriza en términos generales las condiciones imperantes en Europa Occidental en la actualidad. De las proyecciones calculadas para los cinco años próximos en diversos países se deducen tasas medias de aumento similares (véase documento ST/ECE/EP/9). Hay ciertos países que se caracterizan por ser inferiores las tasas a largo plazo; por ejemplo, en Suiza fluctúan alrededor del 4 por ciento. Sin embargo estas tasas medias constantes sólo dan informaciones muy amplias y generales.

Como no pueden perdurar indefinidamente las tasas exponenciales de crecimiento, algunos países consideran que el desarrollo futuro del consumo eléctrico debe ser de naturaleza regresiva, ajustándose en términos generales a una tendencia logística que al ser expresada en una escala aritmética normal resulta en una curva en forma de S.<sup>5/</sup> Este tipo de desarrollo, por ejemplo, es el que se toma como base en Austria. Al emplear la curva teórica en forma de S se tropieza con el problema de que el parámetro esencial - el punto de inflexión que define la transformación en una tasa de aumento decreciente - no ha podido ser determinado con precisión para ningún país. En el caso del Reino Unido una sencilla fórmula que las cifras han corroborado a lo largo de los últimos cincuenta años da una tasa regresiva porcentual de

5/ La fórmula general de una tendencia logística es:

$$\log E = \frac{C}{1 + me^{-at}}$$

en que (en este caso) E representa el consumo de electricidad; C representa la asíntota superior que corresponde a la "saturación"; a y m son las constantes; y t representa el tiempo.

/aumento derivada

aumento derivada de la expresión:

$$\frac{4.92}{t - 1878}$$

en que t representa el año correspondiente a la tasa que se desea conocer y 1878 corresponde al año en que se comenzaron a recopilar las estadísticas de consumo en el Reino Unido.<sup>6/</sup> También se ha elaborado una fórmula similar para las tendencias del consumo mundial.

Sobre la base de un estudio de las tasas de crecimiento futuro deducidas de las últimas proyecciones y planes preparados por muchos países europeos hasta 1975, se puede observar que algunos de los países que han alcanzado una etapa superior de electrificación están en realidad suponiendo una tasa de crecimiento más lento para el futuro. No obstante esto no surge necesariamente del empleo de fórmulas regresivas, ya que es posible aumentar gradualmente las proyecciones sucesivas a largo plazo, de acuerdo a la experiencia posterior. Los datos apropiados aparecen en el citado documento ST/ECE/EP/9 (sobre todo en el capítulo II) donde también se da un ejemplo detallado de una proyección regresiva para Austria.

Estas consideraciones han inducido a M.P. Ailleret a sugerir una expresión en que se supone que el consumo aumenta como resultado de dos factores, uno que es proporcional a la tendencia de la producción (es decir  $P^n$ , en que P representa el índice de la producción industrial y n está comprendido entre 0.33 y 0.50); y el otro es un factor de la tendencia que refleja el proceso de electrificación a lo largo del tiempo y que aumenta exponencialmente a una tasa que equivale a duplicarse en 13 ó 14 años.<sup>7/</sup> Se han obtenido expresiones de naturaleza similar para proyecciones a mediano y largo plazo del consumo industrial. Así las

6/ La fórmula deriva de:  $E = 58.8 \frac{(t - 1878)^{4.92}}{(74)} \times 10^9 \text{ kWh}$

Véase G.H. Daniel, "Las Necesidades Energéticas del Reino Unido", La Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos, Actas de la Conferencia Internacional de Ginebra, Vol. 1 (Naciones Unidas, agosto de 1955).

7/ Véase UNIFEDE, Circulaire Périodique N° 18.

/funciones exponenciales

funciones exponenciales de la fórmula anterior han sido en un caso reemplazadas por funciones lineales y en el otro por un nuevo miembro que representa el empleo de la fuerza de trabajo.<sup>8/</sup>

En algunos países, como Italia, las autoridades públicas han empleado como base de sus proyecciones las tasas de aumento de población y de consumo por usuario. Aunque se pueden distinguir muchas correlaciones económicas diferentes de consumo de energía eléctrica, la mayoría de las fórmulas del tipo estudiado se basan en el índice de producción industrial. En un ejemplo aplicado a las condiciones imperantes en Bélgica se emplea la expresión:

$$E = k:M^{0.6} \times 2^{0.465 t}$$

donde E = consumo de electricidad

M = índice de producción manufacturera

t = tiempo, y

k = factor de ajuste

ii) Método que se basa en la evaluación de las necesidades totales de los distintos grupos de consumidores

Entre los métodos generales de este tipo se pueden distinguir tres categorías. Algunos ejemplos se describen someramente en la Parte II del documento E/ECE/224 a que se hizo referencia anteriormente. En primer lugar muchos países realizan estudios intermitentes que se basan en parte en cuestionarios, a fin de evaluar las necesidades futuras de los principales sectores consumidores, como la industria. Los estudios de esta naturaleza pueden descomponerse en una serie de estudios regionales que se valen de experiencias locales especiales. Al sumar los resultados de los cálculos obtenidos por separado para los diferentes grupos de consumidores se obtiene un pronóstico que por lo general se coteja por comparación con pronósticos generales calculados mediante otros métodos.

---

<sup>8/</sup> Véase UNIPED, Economie électrique N° 4 (que se refiere a un estudio realizado por la Union pour l'étude du marché de l'électricité).

Un procedimiento afín que se ha empleado en algunos países, incluso Italia, consiste en aplicar el método de la matriz insumo-producto de Leontief. Esta matriz indica las interrelaciones que existen entre las compras y las ventas de todos los sectores económicos y a partir de ellas se han calculado en algunas oportunidades los porcentajes de aumento de las necesidades de electricidad de acuerdo con las consecuencias que derivan de las estimaciones del crecimiento de la economía en su conjunto.<sup>9/</sup>

El tercer tipo de análisis por sectores es el que se hace cuando se preparan los planes económicos de carácter general para los países que poseen una economía centralmente dirigida o planificada. Sobre la base de los planes estimados de producción de los diferentes sectores de la industria, y para varias necesidades agrícolas, de transporte y residenciales, se calculan los promedios de producción de energía eléctrica a partir de datos concretos sobre los kWh requeridos por unidad de producto, por ton/km, por hectárea de tierra arable, etc. Estas normas toman en consideración diversas influencias que ejercen una acción modificadora, incluyendo aquellas que se deben al progreso técnico y a las economías progresivas en el consumo. También se hacen los cálculos correspondientes a las necesidades futuras, sobre la base de los coeficientes de demanda para los diversos tipos de consumidores en distintos distritos.

### 3. Consideraciones que influyen sobre las necesidades de consumo

En la práctica se aplican dos o más de los métodos anteriores simultáneamente a fin de cotejar los resultados. El procedimiento empleado va a depender en cierta medida de la organización de la economía interna y de la industria abastecedora de energía, así como de la duración del período al cual se aplica el pronóstico. Otro factor que tiende a influir en forma variable en los distintos países sobre las evaluaciones es el

---

<sup>9/</sup> Empleando un método econométrico similar para hacer proyecciones económicas de carácter general, recientemente se han hecho varios ensayos a fin de pronosticar el desarrollo a corto plazo de toda la economía interna de un país, construyendo "modelos" basados en las interrelaciones que existen entre algunas variables económicas cuantificables.

efecto limitante de las posibilidades de producción. En algunos países menos electrificados, en que las interconexiones no son completas, es posible que esos límites determinen el ritmo de desarrollo del consumo. Además en países que usan predominantemente la hidroelectricidad y atraen a determinados tipos de usuarios por su demanda de electricidad barata en horas que no son de punta, es probable que la estructura de la industria difiera bastante de la que se registra en países con distintos recursos naturales. El tamaño del sector industrial consumidor en relación con el consumo total puede también ser un factor que haya que considerar cuando se opta por el análisis por sectores separados debido a la mayor dificultad que presenta el estudio de las necesidades de los consumidores residenciales y otros usuarios de energía de bajo voltaje.

Por último, los pronósticos relativos a las necesidades de energía eléctrica deben tomar en consideración el papel que desempeña la energía eléctrica en relación con el empleo total de distintas formas de energía primaria para tener en cuenta las perspectivas de reposición o sustitución. Varios países europeos, entre ellos Austria, Bélgica, Italia y Suiza, han comenzado a preparar balances de energía; estas investigaciones ofrecen la posibilidad de corregir las estimaciones de las necesidades de energía eléctrica calculadas por otros medios.

Europa comprende muchos tipos de economías nacionales, que se encuentran a niveles muy distintos de electrificación y poseen variados recursos naturales. Al estudiarlas en conjunto, sus distintas tendencias a largo plazo de empleo de la energía arrojan alguna luz sobre las características de las tendencias del consumo en diferentes etapas del proceso de electrificación y del proceso de desarrollo económico. Estas investigaciones son muy útiles cuando establecen comparaciones entre la evolución del consumo en relación con el producto nacional bruto, la producción industrial, la ocupación dentro de la industria, la construcción de vivienda, el empleo total de energía primaria comercial y otros índices conexos.

/Un estudio

Un estudio comparativo de esta naturaleza proporciona algunas directivas de mucha utilidad. A corto plazo, las relaciones que existen entre el consumo y sus correlaciones económicas principales cambian en forma más lenta y sistemática que cada una de esas variables por sí sola. Además estas relaciones tienen un carácter muy similar tanto en los países de economía planificada como en los países de economía no planeada. A plazo más largo, al comparar el desarrollo de estas relaciones en países que están en etapas muy distintas del proceso de electrificación - por ejemplo en lo que se refiere a las tasas de aumento del consumo, al consumo por unidad de producto nacional, a la sustitución de otras fuentes de energía por electricidad dentro del abastecimiento total de energía, etc. - se obtienen informaciones sobre la probable evolución a largo plazo de las necesidades de energía eléctrica.

En todos los países de Europa es indudable que la evolución de la energía en aquellos países que tienen un consumo específico muy elevado como Noruega y Suecia constituye un índice de gran utilidad, y en algunos casos se emplean estudios comparativos más completos para completar los pronósticos.

Desde hace algún tiempo la Secretaría de ECE estudia algunos aspectos de esta materia en relación con las condiciones que imperan en Europa. Un análisis más completo del problema se encuentra en algunos de los estudios citados anteriormente.<sup>10/</sup>

---

<sup>10/</sup> Documentos E/ECE/359 (Capítulo I); ST/ECE/EP/2 (Capítulo II); ST/ECE/EP/9 (Capítulo II); y E/ECE/367 (Capítulo I).

#### 4. Bibliografía

Además de las referencias que en el texto se hace a los documentos pertinentes de CEE, las fuentes que a continuación se citan tienen interés en relación con las materias estudiadas:

1. H.J. Beard y A.W. Pedder: Forecasting Electricity Requirements; Conferencia Mundial de Energía, (Documento N° IB/7), Madrid, 1960.
2. H. Steiner: Energieprognosen in Theorie und Praxis; Elektrizitätswirtschaft, Frankfurt/Main, N° 17, Septiembre de 1959.
3. F. Petri: Forecasts of Power Consumption; Skandinaviska Banken, Quaterly Review, Vol. XXV, N° 3, Estocolmo, 1954.

