

# UN MODELO PARA ESTIMAR LA DEMANDA POR ELECTRICIDAD EN PUERTO RICO\*

MARK SCHAEFER  
JOSÉ A. HERRERO

## *Introducción*

PUERTO Rico es un caso interesante para el estudio del crecimiento económico logrado mediante la planificación gubernamental en coordinación con la actividad privada. En este trabajo utilizamos algunas técnicas econométricas para analizar los factores que determinan la demanda por energía eléctrica.

Nuestro estudio puede ser provechoso por dos razones. En primer lugar desde el punto de vista metodológico hemos desarrollado un modelo teórico explícito con una hipótesis de trabajo estable. Este nos proporciona el instrumento necesario para cualquier interpretación significativa de los datos. Sin un modelo explícito uno no puede decir que acepta o rechaza una hipótesis aún cuando ésta esté de acuerdo con los hechos. El solo descubrimiento de un conjunto de variables con un alto grado de correlación o aún de significación estadística carece de valor sin un modelo que nos ayude a interpretar los coeficientes.<sup>1</sup> En segundo lugar, desde el punto de vista de la aplicación

---

\* El Prof. Franklin M. Fisher revisó y comentó este trabajo en su forma preliminar. El, sin embargo, no es responsable de ningún error que persista. Traductor M. Cárdenas.

<sup>1</sup> En un estudio previo de la demanda por electricidad efectuado por la Autoridad de las Fuentes Fluviales (referencia 4) aparecen errores de esta naturaleza. En él no se estableció ningún modelo explícito así que las regresiones fueron estimadas sobre los valores absolutos de las series en lugar de las primeras diferencias de las series. Como todas las series económicas usadas tales como el ingreso y la población tienen una fuerte tendencia no es de sorprender el que se encontrase un alto grado de correlación. Si se hubiese introducido un modelo explícito, éste habría hecho claro que el elemento tendencia debería estar expresado en términos constantes como se debe hacer y la atención hubiese estado centrada sobre la desviación de dicha tendencia. Un grave problema en el trabajo de la A.F.F. es que no indica qué estructura de relaciones de conducta generan las series económicas que son usadas en las regresiones. No se indica por qué se usan unas series y no otras diferentes. Ese estudio no nos da base sobre la cuál comprender el que un cambio ocurra en la estructura del sistema, y si éste sucediese no nos indica cómo evaluarlo. Un cambio en la es-

práctica, la presentación de un modelo muestra claramente nuestro conocimiento (o nuestra ignorancia) y además, nos da una idea de la exactitud con que podemos predecir la demanda futura por electricidad.

El uso del modelo que se discute a continuación puede darnos también una idea del impacto de las diferentes medidas gubernamentales sobre esta demanda. De hecho, nuestro modelo provee una interpretación explícita de las medidas gubernamentales de bienestar que subsidian el consumo de electricidad para los grupos de bajos ingresos.

Nuestro estudio comienza en 1951, ya que en este año el gobierno de Puerto Rico integró la producción, distribución y sistema de precios de la energía eléctrica y estableció las normas generales que han estado vigentes hasta el presente. Para efectos administrativos la demanda por electricidad está dividida en cuatro categorías: residencial, industrial, comercial y otros (los más importantes el gobierno insular y el gobierno de EE. UU.). Nosotros consideramos solamente las dos primeras categorías.

El precio de la electricidad para los consumidores residenciales está establecido por el gobierno de acuerdo, aunque sea indirectamente, al ingreso de los consumidores, siendo el precio más elevado para aquellos que tienen más altos ingresos en términos generales. Nosotros hemos desarrollado unas ecuaciones para estimar la demanda por grupo de ingresos (ecuación 1 abajo) en las que se presentan la elasticidad precio e ingreso para cada grupo. Sin embargo, los datos disponibles nos fuerzan a efectuar las regresiones a un alto nivel de agregación lo cual nos trae algunos problemas de estimación que discutiremos más adelante.

En el sector industrial no hay subsidio directo, y el precio de la energía eléctrica ha sido constante en el agregado durante el período en estudio.<sup>2</sup>

La ganancia procedente de la categoría no residencial se ha usado parcialmente para compensar las pérdidas del sector residencial. A causa de esta política de precios, es necesario encontrar el efecto del precio de la electricidad sobre la demanda industrial de manera distinta a la que comúnmente se usa en los libros de texto. Hemos desarrollado un modelo para el sector industrial que utiliza los salarios en la manufactura como la variable apropiada para medir el costo

---

estructura, cambiará la demanda por electricidad y no podemos "explicar" este desplazamiento de la demanda sin conocer el desplazamiento estructural.

<sup>2</sup> Los precios han sido constantes sólo en términos agregados. Los precios para las firmas particulares dentro de la categoría industrial pueden haber variado pero el precio agregado, que es un promedio ponderado de los precios individuales, no ha cambiado.

relativo de la electricidad. Desde que el salario mínimo se determina por un comité gubernamental el cual revisa los costos y beneficios de la producción industrial periódicamente, aquél se ha incrementado constantemente durante los últimos quince años. Las industrias que se han movido a Puerto Rico ante la expectativa de que los salarios se incrementasen han instalado plantas de capital intensivo. Como los salarios han satisfecho las expectativas, las industrias han respondido usando más del insumo que ha llegado a ser relativamente barato, por ejemplo, la electricidad. Así la demanda industrial por electricidad depende de los salarios en la industria.<sup>3</sup>

### *Consideraciones preliminares*

Puesto que el gobierno tiene un monopolio de la producción de electricidad, la cantidad ofrecida es una función no sólo del precio sino también de la función de demanda en general. En un estudio de demanda, tal como el presente, hay siempre problemas en cuanto a la identificación de la curva. Si el monopolio gubernamental estuviese maximizando el beneficio, éste estaría situado en un punto de la curva de demanda donde el ingreso marginal se igualaría al costo marginal y la curva de demanda por electricidad no se podría estimar. Puesto que el gobierno busca el equilibrio en sus operaciones, lo hace fijando el precio y permitiendo que la producción varíe. Por tanto el precio está determinado exógenamente y la curva de demanda puede ser estimada.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> R. Castañeda y J. A. Herrero han confirmado esta hipótesis en un trabajo publicado recientemente. Encontraron que cuando el nivel de salario mínimo se incrementa rápidamente, tiene lugar la intensificación de capital a expensas del empleo.

<sup>4</sup> Dos consideraciones inmediatas son relevantes en relación a este punto. En primer lugar el gobierno podría maximizar los beneficios en el largo plazo de una manera indirecta, transfiriendo recursos monetarios a "fondos contables" expresados como costos en el sistema contable; segundo, el gobierno podría saber cuál es el punto de equilibrio y producir hasta ese punto. Bajo estas circunstancias, la función de demanda no es identificable a menos que la curva de costo marginal se desplace más rápidamente que la curva de demanda. Este parece ser el caso de la economía de Puerto Rico. Es decir, se presenta el caso de la demanda por electricidad relativamente estable durante un largo período de tiempo y la curva de costo marginal que se desplaza rápidamente en el largo plazo, debido a la innovación técnica y a cambios en la calidad y capacidad de producción del equipo de capital y mejoras en las instalaciones eléctricas.

Por tanto, si uno está dispuesto a admitir que la curva de demanda por electricidad es más estable que la curva de costo marginal en el corto plazo, entonces la función de demanda es identificable y puede ser estimada por los métodos clásicos.

El lector no debe confundirse cuando hablamos de cambios en la curva de costo marginal de largo plazo y en la curva de costo marginal de corto plazo. Si CMLP cambia, a fortiori CMCP necesita desplazarse a otra escala de producción la cual hace a CMCP lo más bajo posible para esa escala de producción dada.

En el caso de discontinuidades en la escala de producción, aunque puedan ser

Debido a continuos incrementos en la producción de electricidad, se han realizado grandes economías. El precio promedio agregado para el consumidor ha descendido anualmente aunque el precio del kilovatio-hora no haya variado. Esto se debe al hecho de que como el ingreso ha aumentado las familias de Puerto Rico consumen más electricidad y dado que la estructura de precios de aquella es regresiva, conforme el consumo se incrementa el precio promedio agregado decrece sin que ocurra cambio estructural alguno en los precios. En ausencia de otras dificultades, podríamos esperar que esos cambios anuales de precios nos permitirán ver claramente el efecto del precio sobre la demanda y así obtener un estimado de la elasticidad precio de la misma. Sin embargo, como hemos dicho anteriormente, el sistema de precios para los consumidores residenciales está basado fundamentalmente en el ingreso de las familias y actualmente hay una gran diferencia de precios de acuerdo a la posición de ingreso. Las series de precios publicadas son un promedio ponderado de esos diferentes niveles de precios y sería irrazonable esperar que las variaciones en estos precios expliquen las variaciones en la cantidad de energía eléctrica demandada, medida en kilovatios-hora. De hecho, encontramos que se ha perdido mucha información debido al nivel de agregación a que nos han forzado los datos. En la discusión del modelo, más abajo, el nivel apropiado de desagregación está indicado por la ecuación (1).

*Un modelo para la demanda residencial por energía eléctrica*

En el corto plazo, el conjunto de todos los aparatos que utilizan electricidad es fijo, y la variación en el consumo de electricidad procede de la variación de la tasa de utilización de aquel conjunto. Como el precio de la electricidad está determinado de acuerdo a los niveles de ingreso, tenemos que

$$d_{it} = K_{it} W_{it} \quad (1A) \quad \begin{array}{l} t = 1, \dots, T \\ i = 1, \dots, n \end{array}$$

donde  $d_{it}$  es la demanda por electricidad de todos los consumidores del nivel de ingreso  $i$ ésimo en el tiempo  $t$ ,  $K_{it}$  es un parámetro de utilización y  $W_{it}$  es el conjunto de aparatos para el nivel de ingreso  $i$ ésimo. Hablando estrictamente, podríamos admitir un parámetro de

---

puntos de indeterminación en los desplazamientos, se puede decir que para incrementos razonablemente grandes de la producción el anterior razonamiento es adecuado completamente. El gran incremento de la producción de energía eléctrica en Puerto Rico también confirma este posible caso extremo.

utilización diferente para cada aparato eléctrico. Pero como subdividimos el consumo por clases de ingreso, es muy conveniente —y no mala aproximación— suponer que los cambios en la composición de  $W_{it}$  en el tiempo son pequeños en relación a las diferencias entre clases de ingresos y por esto podemos usar una sola  $K_{it}$  para representar la intensidad del uso del conjunto  $W_{it}$ . La demanda total por electricidad es así

$$D_t = \sum_{i=1}^n d_{it} = \sum_{i=1}^n K_{it} W_{it} \quad (1B)$$

donde  $n$  es el número de clases diferentes de ingreso.

Suponemos que los determinantes más importantes de  $K_{it}$  son el precio real de la electricidad  $P_{it}$ , y el ingreso real por persona  $Y_{it}$ , correspondiente a la clase de ingresos  $i$ ésima en el tiempo  $t$ . Los datos indicados los vamos a utilizar en la forma especial

$$K_{it} = A_i P_{it}^{\alpha_i} Y_{it}^{\beta_i} \quad (1C)$$

lo cual nos permite interpretar  $\alpha_i$  y  $\beta_i$  como las elasticidades de la demanda por electricidad con respecto al precio y al ingreso.

La estimación en tal forma también nos pone en términos constantes el período de tendencia exponencial y asimismo nos da un estimado de la tasa de tendencia del crecimiento. Poniendo la tendencia en esta forma tenemos un mejor cuadro de la relación entre la variación en precio e ingreso y un cambio en la demanda por electricidad. Así nosotros tenemos

$$d_{it} = \left\{ A_i P_{it}^{\alpha_i} Y_{it}^{\beta_i} \right\} W_{it} \quad (1)$$

Si los datos estuviesen disponibles, podríamos estimar esta ecuación y juzgar la efectividad del programa de subsidios, observando el patrón de  $\alpha_i$  y  $\beta_i$  para las distintas clases de ingreso.<sup>5</sup> Sin embargo los datos para este propósito no están asequibles fácilmente y por ello necesitamos construir nuestra estimación con un alto nivel de agregación, con la consecuente pérdida de información. Así vamos a considerar la ecuación

<sup>5</sup> De hecho los datos podrían ser reunidos después de considerable esfuerzo. El Departamento del Trabajo, la Oficina de Planificación y la Autoridad de las Fuentes Fluviales conservan récord de los diferentes precios. Limitaciones de tiempo y recursos financieros no nos permiten perseguir esos rastros tan interesantes.

$$D_t = \sum_{i=1}^n A_i P_{it}^{\alpha_i} Y_{it}^{\beta_i} W_{it} \quad (2)$$

como nuestra ecuación básica y pasemos pues a examinar el conjunto de supuestos necesarios para ponerla en la forma en que pueda ser estimada.

Sea  $P_t$  el precio promedio de la electricidad para los consumidores y  $Y_t$  el ingreso promedio por cabeza en el tiempo  $t$ , de forma tal que

$$\bar{P}_t = \frac{\sum_{i=1}^n P_{it} d_{it}}{\sum_{i=1}^n d_{it}} \quad (3)$$

$$\bar{Y}_t = \frac{\sum_{i=1}^n Y_{it} F_{it}}{\sum_{i=1}^n F_{it}} \quad (4)$$

donde  $F_{it}$  es la población del grupo de ingreso  $i$ ésimo. Entonces, la ecuación (1) se convierte en

$$= D_t \sum_{i=1}^n A_i \bar{P}_t^{\alpha_i} \bar{Y}_t^{\beta_i} \left(\frac{P_{it}}{\bar{P}_t}\right)^{\alpha_i} \left(\frac{Y_{it}}{\bar{Y}_t}\right)^{\beta_i} W_{it} \quad (5)$$

Esta ecuación ahora puede ser reinterpretada en términos de lo que el gobierno persigue por medio de subsidiar la electricidad. Ajustando  $P_{it}$  de acuerdo a los niveles de ingresos lo que logramos es hacer  $\alpha_i$  igual para cada grupo de ingreso, y por consiguiente un juicio sobre el éxito de ese programa se deduce al factorizar  $P_t$  en la ecuación. Un supuesto similar es el que  $\beta_i$  son iguales para algunas  $\beta$ . Al factorizar  $Y_t$ , se introducen algunos sesgos para los resultados como se discute más abajo. Tenemos ahora:

$$D_t = \bar{P}_t^{\alpha} \bar{Y}_t^{\beta} \sum_{i=1}^n A_i \left(\frac{P_{it}}{\bar{P}_t}\right)^{\alpha} \left(\frac{Y_{it}}{\bar{Y}_t}\right)^{\beta} W_{it} \quad (6)$$

La fracción  $P_{it}/P_t$  es una indicación de la estructura de precios de la electricidad y es razonable asumir que ésta ha sido aproximadamente

constante durante el período bajo examen. En forma similar el término  $Y_{it}/Y_t$  representa la estructura de ingresos y suponemos que también es constante. De hecho, la estructura de ingresos no ha sido constante, los grupos de ingresos bajos han experimentado un deterioro en su participación en el ingreso total con relación a los grupos de ingreso medio y alto. Esta redistribución del ingreso, aunque no lo suficientemente importante para imposibilitar nuestro estudio, ha tenido repercusiones en otros aspectos de la vida económica en Puerto Rico.<sup>6</sup> Aún así, este empeoramiento en la redistribución del ingreso introduce un sesgo en nuestros resultados.

Puesto que los grupos de altos ingresos es muy probable que tienen una  $\beta_1$  más baja que otros grupos debido al uso de electrodomésticos de lujo, los cuales tienen una tasa más baja de utilización, al incrementar aquellos grupos los gastos fuera de casa como por ejemplo, restaurantes, vacaciones, hay una excesiva ponderación de aquella  $\beta$  dado que nuestro supuesto es el de que  $\beta$  uniformes, lo cual impartirá un sesgo hacia abajo respecto de la  $\beta$  que nosotros estimemos. De otro lado, como hay una distribución bi-modal del ingreso entre los grupos de altos y medio y bajos ingresos, el sesgo en la  $\beta$  uniforme será reforzado hacia abajo por el hecho de que para el grupo de bajos ingresos los electrodomésticos son necesidades (tales como los refrigeradores, luz) los cuales están plenamente o muy cercanos al máximo de utilización. Así no debemos esperar que una elevación de su ingreso incremente grandemente el consumo de electricidad en el corto plazo.

Otro punto sobre este argumento aparece debido al carácter extremadamente agregado de los datos con los cuales nos vemos forzados a trabajar. A causa de la característica bi-modal de la distribución del ingreso apuntada anteriormente, podemos esperar que la macroecuación<sup>7</sup> tenga una  $R^2$  más baja que las microecuaciones. Esta ausencia parcial de lo que Griliches llama efecto de "sincronización"<sup>8</sup> no está directamente causada por una falta de correlación entre las variables independientes de los diferentes individuos o "unidades de conducta" sino que se debe a la polarización de la función de probabilidad de la distribución del ingreso. Un enfoque desagregado del problema mediante la dispersión de la función de probabilidades en dos distribuciones polares se admite que puede incrementar el grado de variación explicada de la regresión con respecto a la variación total de ambas macroecuaciones.

<sup>6</sup> Véase, por ejemplo, *Informe Económico al Gobernador*, 1964. Junta de Planificación. San Juan, Puerto Rico, 1965, segunda parte.

<sup>7</sup> Véase H. Theil, *Linear Aggregation of Economic Relations*. North Holland Publishing Co., Amsterdam, 1954.

<sup>8</sup> Véase Z. Griliches, M. Grunfeld, Is aggregation necessarily bad? *Review of Economics and Statistics*, Vol. 42, N° 1, pág. 1-13, 1960.

Ahora veamos

$$B_t = \sum_{i=1}^n A_i \left( \frac{P_{it}}{\bar{P}_t} \right)^\alpha \left( \frac{Y_{it}}{\bar{Y}_t} \right)^\beta \quad (7)$$

$$y \quad \lambda_{it} = \frac{A_i \left( \frac{P_{it}}{\bar{P}_t} \right)^\alpha \left( \frac{Y_{it}}{\bar{Y}_t} \right)^\beta}{B_t} \quad (8)$$

donde  $\lambda_{it}$  son unidades constantes libres e independientes de  $t$ , así como  $P_{it}/\bar{P}_t$  se asume como constante en el tiempo.

Entonces tenemos

$$D_t = B_t \frac{\bar{P}_t}{\bar{Y}_t} \sum_{i=1}^n \lambda_{it} W_{it} \quad (9)$$

Dado que  $\lambda_{it}$  es independiente de  $t$  la ponderación de los electrodomésticos en los distintos grupos de ingreso son constantes en el tiempo y como los desplazamientos en la composición de  $W_{it}$  son pequeños en relación a las diferencias entre grupos de ingreso, podemos considerar aproximadamente a  $\sum \lambda_{it} W_{it}$  como el conjunto total de los electrodomésticos en el tiempo  $t$ . En la medida en que cambie la ponderación o la composición, podemos esperar un cambio hacia electrodomésticos que usan la electricidad menos intensamente. Así nuestra función es una de corto plazo puesto que consideramos la composición de aquellos como fija. Por tanto, en la medida en que éstas son tendencias exponenciales en la composición de los electrodomésticos, la forma de la ecuación pone esa tendencia en términos constantes y confirma nuestra aproximación. Así, tenemos la ecuación

$$D_t = B_t \bar{P}_t^{-\alpha} \bar{Y}_t^{-\beta} W_t \quad (10)$$

Tomando logaritmos naturales en ambos lados de (10)

$$\ln D_t = \ln B_t + \alpha \ln \bar{P}_t + \beta \ln \bar{Y}_t + \ln W_t \quad (11)$$

sustrayendo  $\ln W_t$  de ambos lados, tomando primeras diferencias y sumando un término de error  $U_t$  da la ecuación que se puede estimar.

$$\begin{aligned} \ln D_t - \ln D_{t-1} - \ln W_t + \ln W_{t-1} = & \ln B_t - \ln B_{t-1} + \\ & + \alpha (\ln \bar{P}_t - \ln \bar{P}_{t-1}) + \beta (\ln \bar{Y}_t - \ln \bar{Y}_{t-1}) + U_t \end{aligned} \quad (12)$$

La estimación de  $W$  tiene algunos problemas estadísticos serios.  $W$  es un stock y la información disponible se refiere a un

flujo de bienes. Usando medios no muy complicados, hemos construido un valor inicial para 1951. Desde esa fecha y por medio de añadir nuevos flujos y sustrayendo las sustituciones y desusos, hemos obtenido las series temporales para este stock. Para la depreciación del equipo hemos utilizado un modelo del tipo de "deterioro radioactivo". No hemos introducido ningún ajuste para la durabilidad, mejoras de calidad, cambios institucionales o en preferencias.<sup>9</sup>

Usamos diferencias por distintas razones. Primera, las series temporales económicas tienden a estar seriamente correlacionadas y usando primeras diferencias damos un mejor cuadro de la precisión de los resultados. En general la mejor proposición parece ser no las primeras diferencias sino algo menos, dependiendo del grado de correlación de los residuales de los valores originales. Esto mejoraría los resultados siempre y cuando uno sepa el valor verdadero del coeficiente de correlación. En nuestro caso dada la fuerte tendencia de las series, usamos primeras diferencias directamente. De hecho el valor estimado de autocorrelación para nuestros datos está cercano a 0.9 ó 1.0.

Segunda, las variables independientes tienen fuertes elementos de tendencia y están altamente correlacionadas. Usando primeras diferencias el problema de multiplicidad colineal puede ser reducido y la estimación del modelo por métodos clásicos mantiene sus propiedades de coexistencia. Finalmente, el hecho de que  $W_{it}$  esté influenciado por  $P_{it}$  y  $Y_{it}$  en una manera no expresada en (12) llevaría a la autocorrelación a las dispersiones  $-u_t$  y por tanto los mínimos cuadrados no sería un estimador consistente. Las primeras diferencias utilizan la independencia de las pasadas  $P_t$  y  $Y_t$  sobre el presente  $W_{it}$  y así reducen la fuente de inconsistencia en la estimación que se introduce cuando los valores pasados y presentes de las variables independientes están correlacionados.

El resultado de la estimación es:

$$\begin{aligned} (D'_t - D'_{t-1}) - (W'_t - W'_{t-1}) &= 0.0140 - 0.2566 (P'_t - P'_{t-1}) + \\ &\quad (0.0210) \quad (0.4661) \\ &\quad + 0.3808 (Y'_t - Y'_{t-1}) \\ &\quad (0.2436) \end{aligned}$$

donde los prima indican logaritmos naturales.<sup>10</sup> Nuestros argumentos anteriores indican que en la medida en que nuestras aproximaciones

<sup>9</sup> Una de las características más restrictivas que tienen los datos disponibles sobre la economía de Puerto Rico es la casi completa ausencia de información relativa a los stocks. En vista de eso el trabajo de investigación tiene necesariamente que hacer algunas delicadas maniobras, lo cual introduce un cierto grado de arbitrariedad en el procedimiento de estimación.

<sup>10</sup> Las cifras en paréntesis debajo de los estimados indican el error estándar de cada uno de ellos.

no sean adecuadas completamente para el período, el error tendería a sesgar  $\beta$  hacia abajo. Puestos así, el hecho de que nuestros estimados sean de un nivel aceptable indicaría que nuestras aproximaciones no han sido tan rudimentarias.

*Algunas generalizaciones sobre la demanda por electricidad a largo plazo*

En la consideración a largo plazo de la función de demanda del "stock" de electrodomésticos poseídos por las familias se espera que juegue un papel importante en la explicación de la conducta de los consumidores respecto a la demanda por electricidad.

Para describir el crecimiento del stock de electrodomésticos en el período bajo estudio se requiere ajustar el monto de aquellos usando un método de contabilidad por depreciación. Fisher<sup>11</sup> usa un modelo para describir este factor con buenos resultados. Dado que no hay información precisa sobre la depreciación de electrodomésticos consideramos aquel modelo como una adecuada aproximación en nuestro caso.

La razón de utilizar  $W_t$  con respecto a  $W_{t-1}$  es una medida de la tasa neta de crecimiento de dichos utensilios. Para explicar este crecimiento incluimos la tasa de crecimiento de la población  $F_t/F_{t-1}$  y el número de hogares con servicios eléctricos y los mencionados utensilios domésticos,  $H_t/H_{t-1}$ . Como la decisión de comprar éstos puede suponer comprometer una parte substancial del ingreso podríamos suponer que dicha decisión estaría relacionada con un incremento en el ingreso esperado por el consumidor. Así incluimos  $Y^E_t/Y^E_{t-1}$  como una variable. Un incremento en el ingreso esperado puede ser necesario para incitar al consumidor la compra de un electrodoméstico pero como la compra actual necesita ser financiada al margen del ingreso presente nosotros incluiremos el nivel absoluto de ingreso per cápita  $Y_t$ , como una variable. Por razones teóricas incluimos también el precio real de los aparatos eléctricos  $E_t$ , pero obviamente sujeto a comprobación empírica. Asimismo incluimos el precio real de la electricidad  $P_t$  para obtener la influencia, si alguna, que los costos de operación de los electrodomésticos pudiesen tener sobre la decisión de comprar. Finalmente, como la compra de una casa nueva pudiera estar relacionada con la compra de nuevos aparatos eléctricos para el hogar, se incluye una variable  $C_t$  que considera la construcción de nuevas casas.

<sup>11</sup> F. M. Fisher en asociación con C. Kaysen, *A Study in Econometrics: The Demand for Electricity in the United States*, North Holland Publishing Co., 1962.

La ecuación de largo plazo sería entonces:

$$W' - W'_{t-1} = A + \alpha (Y^E_t - Y^E_{t-1}) + \beta Y'_t + \gamma E'_t + \delta (H'_t - H'_{t-1}) + \varepsilon (F'_t - F'_{t-1}) + \eta C'_t + \theta P^{E'}_t + U_t$$

donde los prima indican logaritmos naturales y  $U_t$  es una variable estocástica con las propiedades usuales. Los resultados que esperamos obtener de esta ecuación deben señalar una conducta paramétrica muy significativa del ingreso corriente y esperado y una baja significación sobre los precios. En primer lugar, la tasa de crecimiento del ingreso per cápita en Puerto Rico ha sido fuerte durante el período bajo consideración mientras que el precio de la electricidad ha decrecido consistentemente—como promedio—para el consumidor. En estas condiciones, no es difícil pensar que la determinación de comprar más equipo eléctrico para el hogar está fuertemente influenciada por el ingreso corriente y esperado y no por el precio de la electricidad. De otro lado, dado el nivel de agregación con el cual estamos trabajando, podríamos suponer que el efecto del ingreso esperado desaparece debido a la distribución bi-modal del ingreso y los efectos serán opuestos. Los grupos de altos ingresos no necesitan esperar un incremento de sus ingresos para adquirir aquellos bienes, mientras que los pobres consideran esos bienes que ellos no tienen como necesidades y que comprarán cuando el nivel de ingreso corriente o actual permita hacer el pronto pago.

En nuestra consideración de la demanda por electricidad en el corto plazo, supusimos que la estructura del ingreso  $Y_{it}/Y_t$  era constante en el período y apuntamos que en realidad cualquier desplazamiento que ocurriese, probablemente, acentuaría la distancia entre los grupos de medios y bajos ingresos, y los de altos ingresos. En la medida en que tal desplazamiento ocurra, los resultados estarán sesgados hacia abajo y así podemos considerar que  $\alpha$  y  $\beta$  tienen los límites por debajo de los verdaderos coeficientes.

Otras variables tales como el número de casas con aparatos eléctricos fijos  $H_i$ , la tasa neta de crecimiento de la población  $F_t$ , y la construcción de nuevas residencias, parecen tener variaciones cíclicas relacionadas con otros aspectos de la economía de Puerto Rico y no consideramos oportuno discutir las aquí.

Como el lector puede ver, la estimación de la demanda por electricidad en el largo plazo es un tema complicado, el cual requeriría un trabajo más extenso. Por tanto pensamos que las notas que hemos incluido en esta sección tratan con lo que podríamos llamar los aspectos centrales de la demanda por electricidad en el largo plazo.

### *La demanda industrial por electricidad*

La demanda por electricidad en el sector industrial es la suma de las demandas que proviene de los usos fijos necesarios para un cierto nivel de producción, y la demanda que procede del uso de los stocks de capital para producir un nivel variable de producción. Así, para el *i*ésimo sector industrial, tenemos

$$d_{it} = A_i + B_i K_{it} \quad (1)$$

donde  $d_{it}$  es la demanda por electricidad en el tiempo  $t$  y  $K_{it}$  es el stock de capital en el tiempo  $t$ . Si suponemos que la variación en producción durante el período estudiado, está en una posición cercana al óptimo, podemos entonces simplificar (1) bajo el supuesto de que el uso de la electricidad es proporcional al monto de capital; por ejemplo

$$d_{it} = C_i K_{it} \quad (2)$$

Así la demanda industrial total es:

$$D_t = \sum_i^n d_{it} = \sum_i^n C_i K_{it} \quad (3)$$

Esta relación no toma en cuenta el efecto de los cambios en la demanda que podrían surgir de cambios en los precios relativos de los insumos para la producción. En cualquier caso consideremos este efecto como no muy significativo debido al considerablemente bajo costo relativo de la energía eléctrica con respecto a cualquier otro tipo posible de fuente de energía. El precio de la electricidad para la industria ha sido constante para ayudar, en todo ese tiempo, a subsidiar el consumo residencial de electricidad para los grupos de bajos ingresos. Así, examinemos los cambios en el precio del otro insumo importante, el trabajo. Tomemos una función de producción monótona creciente de la forma

$$Q_{it} = A_i K_{it}^{\alpha_i} L_{it}^{\theta_i} \quad (4)$$

donde  $Q_{it}$  es el valor añadido en la industria  $i$  en el período  $t$ ,  $K_{it}$  y  $L_{it}$  son los montos de capital y trabajo, y  $A_i$ ,  $\alpha_i$  y  $\theta_i$  son constantes. Podemos invertir esta función para obtener

$$K = \frac{1}{A_i} Q_{it}^{1/\alpha_i} L_{it}^{-\beta_i/\alpha_i} \quad (5)$$

así la demanda total por electricidad es

$$D_t = \sum_i^n \frac{C_i}{A_i} Q_{it}^{1/\alpha_i} L^{-\beta_i/\alpha_i} \quad (6)$$

Usando un método similar al empleado en las ecuaciones residenciales, tenemos

$$\bar{Q} = 1/\eta \sum_i^n Q_{it}, L_t = 1/\eta \sum_i^n L_{it} \quad (7)$$

entonces

$$D_t = \sum_i^n \frac{C_i}{A_i} Q_t^{1/\alpha_i} \frac{Q_{it}}{Q_t} \bar{L}^{-\beta_i/\alpha_i} \frac{L_{it}}{\bar{L}_t} \quad (8)$$

Ahora supongamos que la participación del producto de la industria  $i$ ésima en el producto total de la manufactura es constante y que así mismo es constante la participación del empleo en la industria  $i$ ésima con relación al empleo total en la manufactura, y que  $\alpha_i$  y  $\beta_i$  son las mismas para todas las industrias, tenemos

$$D_t = H_t Q_t^{1/\alpha} \bar{L}^{-\beta/\alpha} \quad (9)$$

donde

$$H_t = \sum \frac{C_i}{A_i} (Q_{it}/\bar{Q}_t)^{1/\alpha} (L_{it}/\bar{L}_t)^{-\beta/\alpha}$$

Discutimos esta aproximación más abajo. Entonces tomando primeras diferencias en logaritmos como antes

$$\ln \frac{D_t}{D_{t-1}} = \ln H_t/H_{t-1} + 1/\alpha \ln \bar{Q}_t/\bar{Q}_{t-1} - \left( \frac{-\beta}{\alpha} \right) \ln (\bar{L}_t/\bar{L}_{t-1}) \quad (10)$$

Sea

$$L_{it} = a - b W_{it}$$

donde  $W_{it}$  es el salario promedio para el sector  $i$ ésimo. Esta ecuación explica la conducta del empleo industrial por sectores cuando los salarios se incrementan. De hecho esto parece ser una hipótesis muy razonable para la economía de Puerto Rico. Dado que hay una fuerte legislación sobre salario mínimo, los empresarios en anticipación de salarios más elevados así como por la facilidad de introducir la tec-

nología norteamericana en Puerto Rico, tenderían a intensificar su función de producción en términos de capital y reducir la cantidad absoluta demandada de trabajo.

Así podemos sustituir en (10) y obtenemos la ecuación (11) la cual está sujeta a estimación de acuerdo con el método usado para estimar la demanda por electricidad de los hogares.

$$D'_t - D'_{t-1} = C' + 1/\alpha (\bar{Q}'_t - \bar{Q}'_{t-1}) + \beta/\alpha (W'_t - W'_{t-1}) + U_t \quad (11)$$

donde  $U_t$  es un término de dispersión con las propiedades usuales y los prima indican logaritmos.

Ahora notamos que el signo de  $(\beta/\alpha)$  ha llegado a ser positivo debido a la relación introducida por la demanda por trabajo. De hecho,  $\beta^*/\alpha^*$  es diferente del valor  $\beta/\alpha$  en términos absolutos pero esto se debe a que no podríamos suponer que la elasticidad de la demanda por trabajo con respecto a los salarios sea igual a 1.

Otras aproximaciones fueron necesarias para llegar a la ecuación (9). El supuesto de que la participación de las distintas industrias en el total del empleo de la manufactura ha sido constante durante los últimos 15 años no es enteramente verdad. Muchas industrias se han movido a Puerto Rico durante ese período para beneficiarse de las exenciones contributivas concedidas por el gobierno y su participación en el empleo total ha cambiado desde cero a alguna fracción positiva. De otro lado, las industrias con crecimiento más firme son aquellas que incrementan más rápidamente la intensidad del capital y esto tiende a compensar el incremento de la fuerza obrera requerida por la entrada de nuevas industrias. Entonces, si usásemos las dos clasificaciones de la clasificación industrial estándar (SIC) como apropiados niveles de desagregación, los efectos del crecimiento de nuevas industrias tenderían a neutralizar la baja en otras industrias de la misma clasificación. El supuesto de que las  $\beta_i$  son iguales a las  $\beta$  comunes es por tanto una buena aproximación. El incremento de los salarios en la manufactura se mueve sincronizadamente porque se establecen por la misma oficina gubernamental de revisión. Puesto que los incentivos fiscales para nuevas inversiones son plenamente favorables para la mayoría de las industrias extranjeras, es razonable estimar su respuesta a una alza de salarios mediante un solo y uniforme parámetro. El supuesto de que las participaciones en el producto industrial son constantes queda violado en el sentido de que las nuevas industrias han incrementado su proporción en dicho producto a expensas de las viejas industrias intensivas en trabajo. Esto sesgaría  $Q_t/Q_{t-1}$  en



la función de demanda con el pequeño esfuerzo de suponer que el precio es diferente para los diferentes grupos de ingreso. Así el ingreso  $Y_i$  determina el precio  $P_i$  y éstos determinan  $\alpha_i$  y  $\beta_i$  que son las elasticidades precio e ingreso de la demanda. Puesto que el gobierno establece  $P_i$  para cada  $Y_i$  es natural preguntar cuál es el  $P_i$  apropiado para  $Y_i$ . Si la meta del bienestar fuese, igual distribución del ingreso entonces la  $Y_i$  sería igual a cualquier  $Y$ . Así  $P_i$  sería igual a cualquier  $P$  y  $\alpha_i$  y  $\beta_i$  serían iguales respectivamente a cualquier  $\alpha$  y  $\beta$ . Puesto que de hecho las  $Y_i$  no son iguales unas a las otras, podríamos preguntar qué relación es deseable entre  $\alpha_i$  y  $\beta_i$ . Hemos dicho en el texto que si se fija  $P_i$  lo deseable es que  $\alpha_i = \alpha$  para todo  $i$  y que  $\beta_i = \beta$  para todo  $i$ .<sup>12</sup>

La justificación intuitiva para esto puede proceder del hecho de que si los precios de todos los bienes (no sólo de la electricidad) dependiesen del ingreso del consumidor, la meta, entonces, de la distribución igual del ingreso se obtendría cuando las elasticidades  $\alpha_i$  y  $\beta_i$  fuesen iguales a las  $\alpha$  y  $\beta$  para cada bien demandado. Tal sistema eliminaría el significado de los diferentes ingresos. Así es posible, conceptualmente, que dado  $\gamma_i$  el gobierno pueda escoger valores socialmente deseables para  $\alpha_i$  y  $\beta_i$  y determinar el cuadro de precios  $P_i$  para los consumidores de acuerdo con aquellos. Así el modelo nos lleva a pensar en  $\alpha$  y  $\beta$  como parámetros de la política del bienestar.

<sup>12</sup> Claro, tal como hemos definido el modelo  $\alpha_i$  y  $\beta_i$  son constantes de conducta y no cambiarían al variar  $P_i$  y  $Y_i$ . De hecho la ecuación  $D_i = A_i P_i^{\alpha_i} Y_i^{\beta_i}$  es correcta. Para  $P'_i$  y  $Y'_i$  ampliamente diferentes de  $P_i$  y  $Y_i$  serían apropiados  $\alpha_i$  y  $\beta_i$  diferentes. Así\* podemos pensar que los exponentes cambian en respuesta a diferentes  $P_i$  y  $Y_i$ .