



UNIVERSITAT DE BARCELONA

DEPARTAMENT DE POLÍTICA ECONÒMICA I ESTRUCTURA
ECONÒMICA MUNDIAL

**LA DEMANDA RESIDENCIAL DE
ELECTRICIDAD EN ESPAÑA: UN
ANÁLISIS MICROECONOMÉTRICO**

Laura Fernández

Laura Fernàndez Villadangos

Programa de Doctorat en Economia: Govern i Mercats

Bienni 1998-2000

Abril 2006

Director: Dr. Joan-Ramon Borrell i Arqué

“En lugar del gran número de preceptos que encierra la lógica, creí que me bastarían los cuatro siguientes: el primero consistía en no admitir jamás como verdadera cosa alguna sin conocer con evidencia que lo era, es decir, evitar cuidadosamente la precipitación y la prevención... El segundo, en dividir cada una de las dificultades que examinara en tantas partes como fuese posible y en cuantas requiriese su mejor solución. El tercero, en conducir ordenadamente mis pensamientos, comenzando por los objetos más simples... para ir ascendiendo poco a poco... hasta el conocimiento de los más compuestos.... Y, el último, en hacer en todo enumeraciones tan completas y revisiones tan generales que estuviera seguro de no omitir nada”.

Descartes. Discurso del Método

Agradecimientos

La realización de este trabajo se ha beneficiado de la contribución, el apoyo y la comprensión de muchas personas. Estoy segura de que sin alguna de ellas habría sido muy difícil llegar al final. Por ello, es muy complicado que en tan sólo unas líneas pueda expresar mi gratitud infinita a todas ellas o, incluso, que pueda nombrarlas a todas.

En primer lugar me gustaría agradecer toda la ayuda que he recibido en estos años de dos personas: el Dr. Antón Costas y el Dr. Joan-Ramon Borrell. El Dr. Costas, como responsable del Grupo de Investigación en Políticas Públicas y Regulación Económica ha sido para mí una persona de referencia, académica y personalmente. De él he aprendido muchas cosas y nunca podré agradecerle lo bastante la confianza que siempre ha depositado en mí, y a la que siempre he intentado corresponder tan bien como he sabido.

Mi director de tesis, el Dr. Borrell, es en buena parte responsable del resultado de este proyecto. Su entusiasmo, su predisposición a ayudarme siempre, su rigor en el trabajo y la motivación que siempre me ha transmitido han sido imprescindibles en los buenos y en los malos momentos. Es una persona que me ha enseñado a trabajar sin precipitación, a ordenar mis ideas y a exponerlas con más claridad de lo que era capaz al principio. Mi deuda de gratitud con él es muy grande.

En segundo lugar no puedo más que agradecer el apoyo, el cariño y el ánimo de todos y cada uno de mis compañeros en el Grupo de Investigación en Políticas Públicas y Regulación Económica. Gracias a ellos he tenido la enorme fortuna de poder trabajar en estos años rodeada de excelentes personas, compañeros y en muchos casos, grandes amigos.

Algunos de ellos han tenido la generosidad de leer algunas partes de este trabajo y me han hecho comentarios muy útiles, de fondo y de forma, para que el resultado final haya mejorado con respecto a las primeras versiones. Entre ellos están el Dr. Germà Bel, el Dr. Joan Calzada y el Dr. Àlex Estruch, tres personas a las que respeto y admiro enormemente.

Otros, como el Dr. Xavier Fageda y Jordi Perdiguero han estado implicados en mi trabajo desde el primer día, lo han vivido muy de cerca y han cumplido a la perfección la definición de compañeros, cómplices y amigos, porque no sólo han estado ahí cuando las cosas han sido difíciles, eso puede llegar a ser muy sencillo, sino que se han alegrado más que yo misma por mis alegrías y me han demostrado una generosidad y una empatía nada frecuentes hoy en día.

El resto de compañeros no han sido menos importantes y me han apoyado y respetado siempre, como la Dra. Montserrat Termes, la Dra. Raquel Insa, Antonio Miralles, Laia Domènech, Carme Vicens, la Dra. Rosa Nonell, la Dra. María Callejón o la Dra. Elena Giráldez. Muchísimas gracias a todos.

En el ámbito más personal han sido muchos los damnificados por mis estados de mal humor, nerviosismo y hasta enajenación transitoria que han sido cada vez más habituales en los últimos meses. Ellos han estado siempre ahí y me han brindado su amistad y su cariño de una forma totalmente desinteresada que nunca podré agradecer lo bastante. Entre ellos no puedo dejar de acordarme de Maribel, Susanna, Xavi L., Lluís, Marta, Txus, Sofía, Dani, Raúl, Quim y de la pequeña Aina, que siempre ha sido capaz de hacerme sonreír por muy contrariada que estuviera.

A Paulino y a Tere les debo también muchas cosas: su confianza, su amor, su comprensión y una generosidad sin límites. Son dos personas realmente extraordinarias a quienes considero mis segundos padres.

A mis padres les debo todo lo que soy. Ellos han sido mi referencia vital todos los años de mi vida y desde muy pequeña me han inculcado valores de esfuerzo, honestidad, coherencia y superación, además de ofrecerme su apoyo incondicional y su amor y su cariño sin límites. Ojalá mis hijos me quieran y me respeten tanto como yo os quiero.

Por último, aunque no en último lugar, hay alguien a quien tengo que darle las gracias con mayúsculas: has estat el millor amic, el més generós, el més exigent i el més benevolent, qui més m'ha recolzat i a qui li dec la meva il·lusió per treballar i per viure, la meva felicitat i la persona que em dóna la certesa que no em fallarà mai, a un èsser senzillament extraordinari, gràcies, gràcies, gràcies,....

ÍNDICE GENERAL

Introducción: Motivación y objetivos.....	xv
Capítulo 1	
Fundamentos microeconómicos de la demanda residencial de electricidad en España	1
1. Introducción	2
2. Fundamento teórico.....	3
2.1. La función de demanda eléctrica residencial	8
2.1.1. El punto de partida: la teoría neoclásica del comportamiento del consumidor.....	8
2.1.2. Derivación analítica de la demanda residencial de electricidad en España....	15
3. Discusión de los determinantes de la demanda.....	22
3.1. El debate sobre la especificación del precio en la ecuación de demanda eléctrica residencial: ¿precio medio o precio marginal?	22
3.2. El nivel de renta	28
3.3. Características del hogar y de los individuos	35
4. Conclusiones	40
Capítulo 2	
Revisión de los modelos y resultados empíricos sobre la demanda doméstica de electricidad.....	43
1. Introducción	44
2. Revisión de los modelos que estiman el comportamiento de los consumidores residenciales de electricidad.....	45
2.1. La distinción entre el corto y el largo plazo	46
2.1.1. Modelos de corto plazo: Un problema de elección continua	48
2.1.2. Modelos de elección discreta-continua.....	56
3. Revisión de la literatura empírica	64
3.1. Evidencia empírica sobre la demanda eléctrica condicionada	66
3.1.1. Los determinantes fundamentales de la demanda residencial de electricidad: Primeras aproximaciones	72
3.1.2. Aportaciones metodológicas en la estimación de la demanda residencial de electricidad condicionada.....	78
3.2. Evidencia empírica en el largo plazo	84

3.2.1. Los orígenes: La especificación del precio importa.....	89
3.2.2. Los avances metodológicos de la década de los ochenta	96
3.2.3. La literatura reciente: más allá de la sofisticación metodológica	98
4. Conclusiones.....	103

Capítulo 3

Estimación de los determinantes de la demanda eléctrica residencial de corto plazo en España

109

1. Introducción	110
2. Metodología	112
2.1. Análisis no paramétrico	113
2.2. Análisis paramétrico	114
2.2.1. Naturaleza del diseño muestral	116
2.2.2. La potencial endogeneidad de algunas de las variables explicativas.....	117
3. Datos.....	120
3.1. Consecuencias del diseño de la ECPF	120
3.2. Construcción de algunas variables de análisis	122
3.2.1. Variables relacionadas con el consumo de electricidad	122
3.2.2. Variables de características de los individuos	129
3.2.3. Variables climáticas	130
4. Estimación y resultados	133
4.1. Aplicación del análisis <i>kernel</i> a la ECPF	133
4.2. Estimación paramétrica	139
5. Conclusiones	146
Anexo 3A	148
Anexo 3B	152

Capítulo 4

Opciones tarifarias en el sector eléctrico

155

1. Introducción	156
2. El dilema entre la eficiencia y la equidad	157
2.1. Demandas que responden al precio o cómo garantizar equilibrios de mercado eficientes	159
3. Tipos de tarifas	161
3.1. La tarifa en dos partes	163
3.2. Tarifación por bloques: ¿Decrecientes o invertidos?	166

3.3. Peak load pricing y tarificación en tiempo real	171
3.3.1. Tarifas por tiempo de uso	173
3.3.2. Tarificación en tiempo real	176
3.3.3. Tarifas interrumpibles y tarifas por punta crítica	178
3.3.4. Programas de reducción de la demanda	179
4. La aplicación de modelos tarifarios alternativos: algunas experiencias.....	182
4.1. Los experimentos de precios: El caso de las tarifas por tiempo de uso	184
4.2. El impacto de los nuevos modelos tarifarios	190
5. Conclusiones	198
 Capítulo 5	
Análisis microeconómico de la elección y los efectos de la tarifa doméstica de electricidad en España	201
1. Introducción	202
2. Metodología	205
2.1. Un modelo de elección discreta sobre la contratación de potencia eléctrica residencial	207
2.1.1. Naturaleza del diseño muestral	209
2.1.2. Los problemas de endogenidad.....	210
2.2. Análisis no paramétrico	211
2.2.1. Los problemas de endogeneidad.....	213
3. Datos	214
3.1. Construcción de algunas variables de interés	214
3.1.1. Variables relacionadas con el consumo de electricidad	214
3.1.2. Variables de características de los individuos y del hogar	218
4. Estimación y resultados	220
4.1. Un modelo de elección discreta sobre la contratación de potencia eléctrica residencial	221
4.2. Relación no paramétrica entre el precio medio y la potencia contratada: ¿Un sistema de tarificación eficiente y progresivo?	229
5. Conclusiones.....	236
Anexo 5A	239
Anexo 5B	242
Resumen y conclusiones.....	245
Bibliografía.....	261

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Gráfico 1.1	
El conjunto presupuestario del consumidor maximizador de la utilidad	5
Gráfico 1.2	
Árbol de utilidad de un procedimiento de presupuestación en dos etapas	12
Gráfico 1.3	
Curvas de precio medio y marginal en España por nivel de potencia contratada.....	26
Gráficos 3.1a-3.1f	
Regresiones <i>kernel</i> sobre el consumo eléctrico residencial	136
Gráficos 3.2a-3.2d	
Regresiones <i>kernel</i> sobre el precio medio eléctrico residencial	138
Gráfico 4.1	
Variabilidad del precio y la demanda de electricidad en el mercado mayorista español	160
Gráfico 4.2	
Restricción presupuestaria bajo una tarifa en dos bloques decrecientes	168
Gráfico 4.3	
Restricción presupuestaria bajo una tarifa en dos bloques crecientes	169
Figura 5.1	
Relación entre las variables latente y observada de potencia	208
Gráfico 5.1	
Histograma del nivel de potencia contratado en los hogares de la muestra	227
Gráfico 5.2	
Funciones de densidad del precio medio eléctrico residencial por potencia contratada	232
Gráfico 5.3	
Funciones de densidad del consumo eléctrico residencial por potencia contratada	232
Gráfico 5.4	
Relación no paramétrica <i>spline</i> entre el precio medio eléctrico residencial y la potencia contratada	234
Gráfico 5.5	
Relación no paramétrica <i>spline</i> entre el precio medio y el consumo eléctrico residencial por potencia contratada	235

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	
Evidencia empírica de la especificación de la variable de renta en la estimación de la demanda eléctrica residencial	30
Tabla 1.2	
Evidencia empírica de la especificación de variables demográficas en la estimación de la demanda eléctrica residencial	38
Tabla 2.1.	
Resultados en términos de elasticidad precio y elasticidad renta bajo un enfoque de corto plazo	68
Tabla 2.2	
Resultados en términos de elasticidad precio y elasticidad renta bajo un enfoque de largo plazo	86
Tabla 3.1	
Potencia contratada en función del equipamiento doméstico	123
Tabla 3.2	
Desglose de una factura eléctrica doméstica de 1999	125
Tabla 3.3	
Variables de características de los individuos construidas	129
Tabla 3.4	
Descripción de las variables utilizadas en la estimación de la ecuación (3.9)	139
Tabla 3.5	
Descripción de las variables utilizadas como instrumentos del precio medio	140
Tabla 3.6	
Resultados de la estimación de la ecuación de demanda.....	141
Tabla 3.7	
Algunos resultados de elasticidades precio y renta en la literatura empírica	145
Tabla 3A.1	
Construcción de la variable CDD	148
Tabla 3A.2	
Construcción de la variable HDD	150
Tabla 3B.1	
Resultados de la regresión auxiliar de VI	152
Tabla 4.1	
Ejemplo de un programa tarifario por tiempo de uso	174
Tabla 4.2	
Características de experimentos de precios seleccionados.	185

Tabla 4.3	
Evidencia empírica seleccionada sobre la aplicación de tarifas por TDU y TTR	192
Tabla 5.1	
Potencia contratada en función del equipamiento electrodoméstico	215
Tabla 5.2	
Desglose de una factura eléctrica doméstica de 1999	216
Tabla 5.3	
Variables construidas de características de los individuos y del hogar	219
Tabla 5.4	
Descripción de las variables utilizadas en la estimación de la ecuación (5.8)	221
Tabla 5.5	
Descripción de las variables utilizadas en como instrumentos del consumo	222
Tabla 5.6	
Resultados de la estimación del modelo <i>probit</i> ordenado con variables instrumentales.....	223
Tabla 5.7	
Probabilidad de contratación de cada nivel de potencia para el conjunto de la muestra	227
Tabla 5.8	
Probabilidad de contratación de cada nivel de potencia para un consumo inferior a la media	228
Tabla 5.9	
Probabilidad de contratación de cada nivel de potencia para un consumo superior a la media	228
Tabla 5.10	
Distribución del precio y el consumo eléctrico por segmentos de potencia	230
Tabla 5A.1	
Resultados de la regresión auxiliar de VI	239
Tabla 5B.1	
Resultados de la aplicación del procedimiento de <i>bootstrap</i> sobre el modelo ...	242

Introducción

Motivación y objetivos

El objetivo de esta investigación es analizar la demanda residencial de electricidad en España en el corto plazo. En particular, estudiaremos la función de demanda y el comportamiento de los consumidores, dada la estructura tarifaria existente, ante cambios en el nivel de precios de la electricidad o en el nivel de renta de los individuos. Asimismo abordaremos las implicaciones de una tarifa en dos partes sobre el consumo de electricidad en términos de eficiencia y progresividad.

La tesis que se sostiene consta de tres hipótesis fundamentales: en primer lugar argumentamos que los consumidores son sensibles tanto a variaciones en el nivel de precios de la electricidad, como a variaciones en la renta que poseen, contraviniendo la creencia de que la demanda de electricidad es muy rígida y no experimenta apenas cambios ante variaciones en los precios y la renta.

En segundo lugar pretendemos contrastar que la demanda de electricidad no sólo depende de su precio y de la renta de los consumidores, sino también de las características de los individuos, así como de características de las viviendas que habitan éstos y de su ubicación geográfica.

En tercer lugar sostenemos que una tarifa en dos partes no es una forma eficiente ni progresiva de tarifar la electricidad, puesto que esta estructura de precios no ofrece señales adecuadas a los consumidores para que consuman y gestionen su demanda de una forma que evite la congestión en el mercado.

La aportación de evidencia sobre las tres hipótesis anteriores se realizará mediante el uso de técnicas microeconómicas, utilizando datos desagregados a nivel de hogar de un corte transversal en el año 1999. Estos datos provienen de la Encuesta Continua de Presupuestos Familiares, en adelante ECPF, elaborada por el Instituto Nacional de Estadística de España.

Este trabajo es esencialmente un análisis profundo de demanda en el contexto teórico de la teoría de la elección del consumidor. Los resultados del trabajo, por su parte, tendrán implicaciones sobre las medidas que puedan tomarse en el futuro encaminadas a mejorar el bienestar de los consumidores y la eficiencia del sistema ante una posible reestructuración del sector. Al respecto, debemos hacer las consideraciones siguientes.

En primer lugar, el estudio del comportamiento del consumidor se ha abordado tanto desde la perspectiva teórica como empírica en multitud de mercados, ámbitos geográficos y momentos del tiempo.

Este tipo de estudios buscan conocer los determinantes de la demanda de un bien o servicio por parte de un consumidor individual o por un conjunto de consumidores agregados en un mercado, así como las reacciones de dichos consumidores, en términos de variaciones en sus cantidades demandadas, cuando se modifica alguno de estos determinantes.

A partir de aquí las particularidades de cada mercado condicionan en mayor o menor grado el tipo de análisis a realizar. En este sentido no es lo mismo derivar la demanda de un bien homogéneo y con un precio único, que otro que presente variedades distintas o cuyo precio responda a un programa tarifario no lineal, como acostumbra a ser el caso cuando hablamos de servicios tales como la electricidad, el gas o las telecomunicaciones.

Asimismo debemos tener en cuenta qué tipo de consumidor va a ser el sujeto del análisis, pues parece claro que las características y motivaciones de los individuos serán diferentes en función de si queremos estudiar la demanda de un bien utilizado en la producción industrial o de otro que se utilice como un bien de consumo en el hogar.

Adicionalmente deberemos tener en cuenta la dimensión temporal y el ámbito geográfico en que se enmarcará el estudio, decidiendo si considerar un horizonte temporal de corto o de largo plazo, así como si abordamos el estudio de un mercado concreto en un país o región o bien un conjunto de mercados en distintos países. La combinación de las coordenadas de tiempo y lugar supondrá la obtención de conclusiones cualitativamente distintas.

Por último, deberemos tener en cuenta la estructura de mercado bajo la que se intercambiará el bien objeto de análisis y el grado en que este mercado está regulado o liberalizado. Esto es importante puesto que no será lo mismo analizar la demanda de un bien cuya producción o suministro se encuentra sujeto a regulaciones estrictas, por ejemplo en términos de precios y calidad, que otro que se intercambie libremente en un mercado concreto.

El conjunto de elementos anteriores se tendrán en cuenta en este trabajo que, como hemos señalado, analizará la demanda del consumo residencial de electricidad en el corto plazo en España. Este mercado tiene una estructura que se ha ido abriendo a la liberalización a lo largo de los últimos años. Asimismo, su importancia estratégica y económica parece estar fuera de toda duda.

En efecto, la electricidad es un bien vital para la economía. Por un lado, es un *input* para la producción de, prácticamente el resto de bienes y servicios, y por otro, es también un importante bien final consumido por los usuarios residenciales de un país.

Independientemente de quien sea el usuario final de la electricidad, hay una serie de características que confieren un carácter muy particular a este bien.

En primer lugar, la electricidad es un bien no almacenable, lo cual hace que oferta y demanda deban ajustarse de forma continua en el tiempo y que el tamaño del mercado se determine por la demanda instantánea. En consecuencia, es más probable que una única empresa pueda suministrar a los consumidores el bien a una escala mínima eficiente en un mercado dado.

En segundo lugar, la demanda de electricidad está sujeta a una gran variación cíclica, estacional y aleatoria, tanto en el corto como en el largo plazo.

En tercer lugar, si se pretenden satisfacer las expectativas de los consumidores, el suministro de electricidad debe ser continuo y de frecuencia y voltaje sostenidos.

La conjunción de demanda variable y oferta continua requiere que los suministradores mantengan un exceso de capacidad para enfrentarse a los picos de demanda, salvo que el regulador o el mercado ofrezcan unas señales de precios adecuadas a los consumidores que les lleven a consumir de forma menos estacional y aleatoria en el tiempo.

Asimismo, el conjunto de actividades que comprenden la industria eléctrica forman un entramado complejo y van desde la generación de la electricidad a su transporte y distribución. Recientemente se ha añadido a las anteriores la actividad de comercialización, en aquellos mercados eléctricos que se han abierto a la competencia, permitiéndose el suministro de electricidad a los usuarios finales a través de agentes distintos de la tradicional empresa distribuidora única.

De hecho, durante las dos últimas décadas el entorno regulador de la industria eléctrica ha empezado a cambiar. Algunos países de la OCDE, de entre los que Estados Unidos y el Reino Unido son pioneros, han abierto sus sectores eléctricos a un proceso de liberalización inexorable, a la vez que han introducido nuevas medidas regulatorias con el objetivo de estimular la competencia en un sector que

se ha caracterizado tradicionalmente por tener rasgos de monopolio natural, principalmente en las actividades de transporte y distribución.

A pesar de los esfuerzos del proceso de liberalización, incluso en el caso de los primeros reformadores, la implementación de estas políticas ha sido un proceso lento, de forma que sólo unos pocos países pueden apuntar una progresión real hacia la competencia.

Este proceso de liberalización, que en buena parte ha venido motivado por avances tecnológicos en el sector, donde se ha pasado del uso de tecnologías generadoras de carácter térmico, cuyo coste es muy elevado, a tecnologías mucho más baratas, con el desarrollo de la turbina de gas de ciclo combinado y otras fuentes de energía alternativas, ha buscado la promoción de la eficiencia, la reducción de costes, el incremento de la capacidad de elección del consumidor frente a la oferta, la movilización de la inversión privada y la consolidación de las finanzas públicas.¹

En este sentido muchos países han optado por la introducción de competencia en los segmentos de actividad del negocio eléctrico que no presentan características de monopolio natural, como la generación y la comercialización, a través de la creación de mercados mayoristas de electricidad y el libre acceso de terceros a las redes, al objeto de suministrar este bien a los consumidores finales, así como el paso de estructuras tarifarias reguladas a otras alternativas que han perseguido resultados más competitivos en el mercado.

En este último aspecto se ha pretendido que los precios del mercado ofrezcan un reflejo más fiel de los costes de producción, reduciendo el volumen de los subsidios y tarifas compensatorias para los productores y previniendo el subsidio cruzado entre segmentos de actividades del sector, con la finalidad de reducir las distorsiones en los mercados eléctricos, al pretender que los precios actúen como una señal adecuada de los movimientos del mercado.

Por su parte, los consumidores han percibido estas reformas a través del paso de sistemas de fijación de precios en dos partes o en bloques, a nuevos sistemas de tarificación eléctrica siguiendo la teoría del *peak load pricing*, que discrimina el precio de la electricidad en función del momento de uso de la misma, básicamente los períodos pico de demanda y los períodos valle, o a sistemas de tarificación

¹ Müller-Jentsch (2001).

dinámica. Bajo estas estructuras el precio de la electricidad varía de forma continua a lo largo del tiempo, reflejando de forma fiel el coste de producción de este suministro energético.

La implantación de estructuras tarifarias como las anteriores ha permitido una mejor gestión de la demanda por parte de los consumidores y ha supuesto un aplanamiento de las curvas de carga estacionales que existían hasta ese momento. La estabilidad en la demanda ha permitido reducir la capacidad instalada para generar electricidad, y en consecuencia, ha reducido los costes de producción de este bien.

En este contexto parece lógico pensar que es necesario conocer el comportamiento de los individuos, la estructura de la demanda y sus determinantes, para poder tomar medidas como las anteriores con un cierto conocimiento de causa y con la previsión de las repercusiones que tales medidas pueden suponer en el mercado.

No obstante, los trabajos empíricos y de análisis de la respuesta de los consumidores finales a este cambio en las reglas del juego del sector no se han prodigado de la misma forma en todos los mercados nacionales.

Esta asimetría en el análisis, mucho más prolífico en el caso de Estados Unidos, responde sin duda a la gran disponibilidad de datos del país anglosajón, que ha permitido llevar a cabo trabajos de análisis muy detallados de la sensibilidad de la demanda a cambios en los precios del sector.

Al respecto destacan los trabajos pioneros de Houthakker (1951a), Fisher y Kaysen (1962) o Houthakker y Taylor (1970), que fueron los primeros en enfocar su objeto de estudio hacia el análisis del consumo residencial de electricidad en Estados Unidos. Estos estudios, previos al proceso de liberalización del sector, ofrecieron un conocimiento profundo del comportamiento de los consumidores en el mercado que sirvió de guía a la hora de introducir cambios en las reglas de juego por parte de la oferta.

Más recientemente podemos referirnos a trabajos como los de Silk y Joutz (1997), Patrick y Wolak (2000), Bushnell y Mansur (2004) o Reiss y White (2005a, 2005b), por citar sólo algunos ejemplos de entre los cuantiosos estudios que han abordado estas cuestiones para el caso concreto de Estados Unidos.

La literatura europea, por el contrario, se ha centrado mucho más en el análisis del proceso de liberalización desde el punto de vista de la oferta, Green y Newbery (1992), Helm y Powell (1992) y von der Fehr y Harbord (1993) son buenos ejemplos al respecto. Estos trabajos se centran, básicamente, en el proceso de liberalización desde el punto de vista de la industria, analizando el desarrollo de los mercados mayoristas de electricidad en Europa, así como la implementación de nuevos mecanismos que reduzcan la incertidumbre de los oferentes en el nuevo contexto liberalizado.

Por el lado de la demanda, las aportaciones de la literatura europea han sido mucho más escasas. Como ejemplos podemos citar los trabajos de Nesbakken (1999), Leth-Petersen (2002) y Hondroyiannis (2004). Si nos centramos en el caso particular del mercado español de electricidad, el panorama es mucho más desesperanzador. Hay muy pocos trabajos que se hayan preocupado de cuantificar la respuesta de los consumidores a cambios en los precios de la electricidad o al análisis de la incidencia de la estructura tarifaria existente sobre el consumo de este bien. De estos pocos, creemos que los más relevantes son el de Buisán (1992), el de Red Eléctrica de España (1998) y el de Castro-Rodríguez (1999).

Esta ausencia de literatura teórica y empírica llama la atención en el contexto actual de liberalización que vive el sector. El impulso definitivo de este proceso vino de la mano de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico, que entró en vigor el 1 de enero de 1998. Mediante esta ley se creó un mercado mayorista de electricidad organizado y se impulsó la desintegración vertical de actividades en el mercado. Por el lado de la demanda el avance más significativo fue el establecimiento de un calendario de elegibilidad, que se ha concretado para la totalidad de los consumidores el 1 de enero de 2003.

Es decir, esta ley preveía que en esta última fecha todos los consumidores en el mercado tendrían la posibilidad de elegir su suministrador eléctrico y la tarifa que gravara su consumo de electricidad, en lugar de someterse en exclusiva a la tarifa regulada en dos partes que existía en ese momento, y que aun continúa existiendo en la actualidad.

En cualquier caso llama la atención el hecho de que el proceso de liberalización del sector no se viera acompañado de estudios sobre la demanda que avalaran la idoneidad de esas medidas, o al menos, que estudiaran el comportamiento de los consumidores ante tarifas alternativas o ante cambios en la tarifa existente.

Más allá de lo anterior, la situación del consumo doméstico de electricidad no ha cambiado de forma significativa respecto al año 1998, en el sentido de que la práctica totalidad de los consumidores domésticos continúan pagando su consumo eléctrico a tarifa regulada, por lo que la liberalización del sector en el segmento de la demanda residencial, *de facto* no se ha producido.

En este contexto es en el que se enmarca el presente trabajo y pretendemos obtener evidencia empírica sobre la conducta de los consumidores residenciales de electricidad y sobre las implicaciones de utilizar una tarifa en dos partes para facturar el consumo de este bien.

Para aproximarnos a este objetivo hemos estructurado esta investigación en cinco capítulos que, a su vez, pueden agruparse en dos partes diferenciadas.

En la primera parte del trabajo nos preocuparemos de obtener la estructura de la función de demanda doméstica de electricidad en el mercado español, aportar evidencia sobre la conducta de los consumidores en términos de elasticidades precio y renta del consumo de electricidad y contextualizar estos resultados en la literatura empírica y teórica internacional. Los capítulos 1, 2 y 3 se ocuparán de estas cuestiones.

En particular, en el capítulo 1 derivaremos la función de demanda eléctrica residencial en España y valoraremos y discutiremos la influencia de cada uno de sus determinantes, partiendo del enfoque de la teoría neoclásica del comportamiento del consumidor.

En el capítulo 2 revisaremos la literatura teórica y empírica que se ocupa de estas cuestiones, recogeremos los principales modelos, que partiendo de un enfoque microeconómico como el descrito en el capítulo anterior, se han propuesto para estimar la demanda doméstica de electricidad y daremos cuenta de los principales resultados que se han obtenido en la literatura, a lo largo de las últimas décadas, al estimar un tipo de función de demanda como la especificada, atendiendo a distintos modelos teóricos, dimensión temporal, mercado geográfico y resultados obtenidos.

En el capítulo 3 estimaremos la función de demanda residencial de electricidad en España y calcularemos las elasticidades precio y renta que se derivan de esta función, a partir de la especificación genérica obtenida en el capítulo 1. Para ello utilizaremos datos individuales de corte transversal, sobre un total de 9881

observaciones de la ECPF. El uso de datos desagregados, siempre que sea posible, ofrece un gran número de ventajas en el análisis empírico, pues supone la posibilidad de explotar una extraordinaria riqueza de información, junto con el hecho de poder gozar de un gran número de grados de libertad en el trabajo econométrico aplicado.

La metodología que utilizaremos para realizar esta estimación tendrá un componente no paramétrico, con el uso de análisis *kernel* de regresión, y otro paramétrico, en el que se utilizará una metodología de mínimos cuadrados en dos etapas. El uso de ambos enfoques reforzará la robustez de las conclusiones obtenidas.

A su vez, la segunda parte del trabajo se preocupará de valorar las alternativas de tarificación del consumo doméstico de electricidad, sus ventajas e inconvenientes, así como de obtener evidencia de las implicaciones de una tarifa en dos partes sobre el consumo de electricidad, en términos de eficiencia y progresividad. Este será el objetivo de los capítulos 4 y 5 de la investigación.

En el capítulo 4 describiremos los principales rasgos y valoraremos las implicaciones del sistema tarifario adoptado en España, contextualizándolo en el menú de políticas de precios que se aplican sobre el segmento minorista del sector eléctrico a nivel internacional. Asimismo revisaremos algunas evidencias empíricas sobre las consecuencias sobre la demanda de adoptar programas de precios alternativos.

Por su parte, en el capítulo 5 llevaremos a cabo un análisis microeconómico de la tarifa en dos partes en el mercado residencial español de electricidad. Este análisis tendrá dos partes diferenciadas. En primer lugar, y dado que como veremos, en una tarifa en dos partes regulada, el único elemento discrecional para los consumidores es la elección de potencia en el hogar, estimaremos la probabilidad de contratar cada uno de los niveles de potencia disponibles para los consumidores, así como los determinantes de esta elección. A partir de aquí, la segunda parte del capítulo se dedicará al análisis de los efectos de la tarifa en dos partes sobre la distribución del precio pagado por los consumidores residenciales españoles en función de su nivel de consumo. Este análisis nos aportará evidencia sobre el grado de eficiencia y progresividad que se consigue con esta estructura tarifaria.

La metodología utilizada en este capítulo constará de nuevo de una parte paramétrica y de una sección no paramétrica. En la primera utilizaremos un modelo *probit* ordenado con variables instrumentales para estimar los determinantes de contratar una potencia eléctrica concreta en el hogar. Por su parte, en la estimación no paramétrica aplicaremos la metodología de regresiones *spline* para obtener evidencia del grado de eficiencia y progresividad de la tarifa en dos partes.

Al finalizar el trabajo dedicaremos una sección a resumir el contenido del mismo y a comentar las principales conclusiones obtenidas en cada uno de los cinco capítulos de la investigación.

Capítulo 1

Fundamentos microeconómicos de la demanda residencial de electricidad en España

1. Introducción

El estudio de la demanda de un mercado, de sus determinantes y de las variaciones que experimentarán las cantidades demandadas ante una variación en alguno de los determinantes necesita del conocimiento de la forma funcional que relaciona las cantidades compradas de un bien, su precio y el resto de los elementos que influyen en esa relación y que motivan las decisiones de cada consumidor individual en el mercado.

Nuestro objeto de estudio es el análisis de la demanda residencial de electricidad en España en un período de corto plazo, acotado temporalmente al año 1999.

El objetivo de este capítulo es obtener una especificación teórica de la función de demanda residencial de electricidad y discutir sus determinantes. Este será el primer paso para llevar el modelo teórico a los datos en los capítulos posteriores.

Para conseguir derivar esta forma funcional partiremos de las consideraciones presentes en la teoría neoclásica del comportamiento del consumidor. En este sentido, pretendemos llevar a cabo un análisis de tipo deductivo. La lógica de nuestro razonamiento radica en partir de los postulados de que se sirve la teoría económica para analizar el comportamiento del consumidor individual en cualquier mercado. Bajo esta teoría un consumidor racional determina las cantidades que comprará de un bien siguiendo un proceso de maximización de su utilidad sujeto a una restricción presupuestaria.

A partir de este marco teórico general, aplicaremos esta metodología al caso concreto de la derivación de la demanda doméstica eléctrica en España. Para ello, será necesario adoptar algunos supuestos respecto a las preferencias de los consumidores residenciales de electricidad y a la expresión de su función de utilidad. Asimismo, tendremos en cuenta la forma en que se factura la electricidad doméstica en España, para que la restricción presupuestaria individual refleje de la forma más fiel posible la estructura de precios eléctricos a la que se enfrentan los individuos.

Una vez que contemos con una especificación teórica de la función de demanda eléctrica residencial valoraremos la idoneidad de esta especificación a través de la discusión de sus determinantes, que básicamente son el nivel de precios de la electricidad, el volumen de renta de los individuos y un conjunto de características de los consumidores y de los hogares en que habitan.

Además de discutir la validez de nuestro resultado teórico, en base a los elementos que influyen sobre las decisiones de consumo eléctrico de los individuos, apoyaremos nuestras conclusiones recurriendo a la evidencia en la literatura del sector, con el objetivo de alcanzar una especificación de la función de demanda lo más sólida posible en términos teóricos.

En virtud de estos resultados formularemos las hipótesis que contrastaremos empíricamente en capítulos posteriores. Así, el presente capítulo contiene buena parte de la motivación del análisis empírico posterior.

El contenido del capítulo se organizará de la siguiente manera: En la sección dos se desarrollará el fundamento teórico que nos permitirá formular nuestra propia especificación de la función de demanda residencial de electricidad para el mercado español en el corto plazo. En la sección tres se discutirán los principales determinantes de esta función de demanda, se describirá cómo los ha considerado la literatura empírica a lo largo del tiempo y se formularán las hipótesis de trabajo del análisis empírico posterior. Por último, la sección cuatro desgana las principales conclusiones obtenidas en este capítulo, las cuales servirán de base y motivación para el trabajo empírico que desarrollaremos en capítulos posteriores.

2. Fundamento teórico

El punto de partida tradicional en los análisis aplicados de demanda es suponer que la cantidad consumida de un bien o servicio es una función del nivel de renta, del precio del bien y de los precios del resto de bienes consumidos. Este planteamiento viene motivado por la teoría neoclásica del comportamiento del consumidor, que ve a los individuos como maximizadores de una función de utilidad definida sobre el conjunto de bienes que tienen a su disposición, sujeta a una restricción presupuestaria lineal, en la que el elemento limitador es el nivel de renta de los consumidores.

Sin embargo, en el caso de la demanda de electricidad lo anterior no es directamente aplicable, puesto que en muchas ocasiones los consumidores de electricidad no se enfrentan a un precio único para este bien sino a un programa tarifario. Bajo estas estructuras complejas el precio de la electricidad se puede fijar por bloques de consumo de esta energía, por los momentos del tiempo en que tiene lugar el consumo, ya sean franjas horarias, días de la semana o estaciones del año, en función del coste que tiene la producción de electricidad en cada

momento, o a través de una cuota de acceso al uso del suministro más un precio marginal constante para las unidades consumidas.

En este caso, la estructura de precios anterior tiene consecuencias sobre el equilibrio del consumidor, sus funciones de demanda y sus *curvas de Engel*. Una curva de *Engel* no es más que la relación entre el nivel de consumo de un bien y el nivel de renta de un individuo que consume ese bien.¹

En particular, dada una estructura tarifaria no lineal la restricción presupuestaria tampoco lo es y, por tanto, el equilibrio del consumidor no puede derivarse utilizando el cálculo diferencial, sino la programación matemática. Esto implica que las funciones de demanda y las curvas de *Engel* existen, pero no pueden derivarse analíticamente.

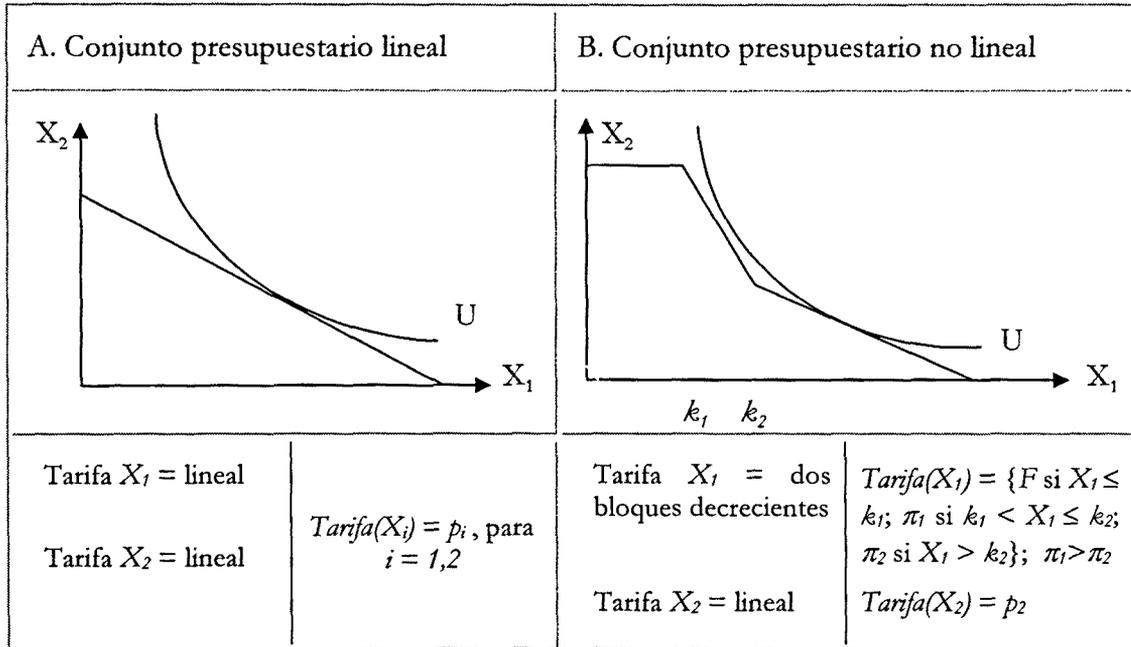
Otra consecuencia adicional del hecho de enfrentarse a la adquisición de bienes con programas tarifarios no lineales es que las funciones de demanda resultantes pueden ser discontinuas. Además puede haber configuraciones de precios que den lugar a múltiples equilibrios, por no hablar del problema que plantean estas estructuras tarifarias a la hora de escoger la mejor especificación del precio en el análisis empírico para derivar las funciones de demanda.²

Gráficamente, el problema básico de las estructuras tarifarias no lineales se resume en una situación como la siguiente:

¹ Taylor (1975) y McFadden, Kirshner y Puig (1977) ponen de manifiesto este hecho de forma explícita para el caso de la electricidad.

² Como veremos más adelante, cuando nos enfrentamos a un programa tarifario no lineal en el análisis empírico, no es intuitivo si el precio de la electricidad debe especificarse a través del precio medio, el precio marginal o una combinación de ambos en la función de demanda de electricidad.

Gráfico 1.1
El conjunto presupuestario del consumidor maximizador de la utilidad



Fuente: elaboración propia a partir de Taylor (1977a).

Donde $X_i = X_1, X_2$ son dos bienes de consumo, U representa un nivel de utilidad dado por una curva de indiferencia, p_i es el precio de cada bien bajo la tarifa lineal, k_1 y k_2 son los umbrales que delimitan los bloques de consumo, F es un importe fijo y π_1 y π_2 son los precios de cada bloque bajo la tarifa no lineal.

El gráfico 1.1A presenta el conjunto presupuestario de un consumidor que puede escoger entre dos bienes con un precio único, mientras que el gráfico 1.1B recoge el conjunto presupuestario de un consumidor que elige entre dos bienes, donde X_2 tiene un precio lineal y X_1 tiene una estructura de precios no lineal, en concreto un programa tarifario con una cuota fija y dos bloques de consumo con precios decrecientes, lo que da lugar a una restricción presupuestaria quebrada.

Lo anterior tiene también implicaciones econométricas. En el caso concreto de una estructura tarifaria en bloques,³ la estimación de las elasticidades de demanda puede dar lugar a un sesgo.⁴ Esto puede ser así, porque los hogares con un nivel de demanda más alto tenderán a situarse en un bloque tarifario más elevado que

³ La estructura tarifaria en bloques es el programa de fijación de precios más extendido a lo largo del tiempo y de los países en el consumo eléctrico residencial.

⁴ Herriges y Kuester (1984).

aquellos hogares que tienen un consumo de electricidad más modesto. En este caso, la estimación por mínimos cuadrados ordinarios dará lugar a parámetros estimados sesgados al alza.

En definitiva, una estructura de precios no lineal como la anterior llevaría a problemas de endogeneidad en la variable del precio.

Según Hall (1973), la manera de abordar económicamente este problema es linealizar la restricción presupuestaria. Para ello deberíamos trazar la tangente a la restricción presupuestaria no lineal del consumidor en la cesta de consumo óptima. De esta forma podemos expresar la función de demanda, bajo precios no lineales, en términos de la función de demanda ordinaria de la teoría neoclásica del consumidor, que supone una restricción presupuestaria lineal.⁵

Alternativamente, hay numerosos ejemplos de trabajos empíricos como los de McFadden, Kirshner y Puig (1977); Parti y Parti (1980); Barnes, Gillingham y Hagemann (1981); Bound, Jaeger y Baker (1995); Halvorsen y Larsen (2001) y Matsukawa (2004), entre otros, que han apostado por la estimación de la demanda de electricidad a través de la técnica de mínimos cuadrados en dos etapas, o variables instrumentales, para resolver este problema de endogeneidad.

Sin embargo, las particularidades de la derivación de la función de demanda eléctrica residencial no acaban aquí, puesto que a diferencia de otros bienes, de los cuales se obtiene directamente utilidad a partir de su consumo, la electricidad es una demanda de consumo derivada. Este hecho ha quedado patente de forma explícita en la literatura desde sus inicios. Fisher y Kaysen (1962); McFadden, Kirshner y Puig (1977); Parti y Parti (1980); Dubin y McFadden (1984); Dubin (1985) y Hsiao y Mountain (1985) son algunos ejemplos de trabajos de referencia obligada en el análisis de la demanda eléctrica que constatan este hecho.

En este sentido la electricidad puede verse como un insumo en la producción doméstica de servicios. Es decir, haciendo un símil con la teoría de la producción, el hogar, como cualquier empresa, produce una serie de servicios (lavar y secar la ropa, cocinar alimentos o lavar platos) utilizando un stock de capital, que en este caso serán las distintas variedades de electrodomésticos (lavadora, secadora, fogones eléctricos o lavavajillas). Para poder llevar a cabo esta producción las familias u hogares necesitarán de una serie de materias primas (la ropa, los

⁵ Reiss y White (2005a)

alimentos o la vajilla) y de un insumo o energía que permita el desarrollo del proceso, la electricidad.

Por tanto, podríamos pensar que la demanda de energía eléctrica es una demanda conjunta de un stock de aparatos y de su tasa de uso. Así, los cambios en los precios de este suministro energético deberían afectar tanto a la tasa de uso de un electrodoméstico (el propio consumo eléctrico), como a la decisión sobre la compra de este bien duradero.⁶

Asimismo parece claro que las características de los propios individuos o de la ubicación geográfica del hogar jugarán un papel determinante en la demanda de electricidad que se acabe materializando.

Al respecto podemos esperar que los hogares con varios miembros, de diferentes edades, tendrán unas necesidades eléctricas distintas que aquéllos que cuentan con un solo miembro, o que los individuos que viven en climas extremos tendrán unas necesidades energéticas superiores a aquellos que fijan su residencia en lugares con climas templados. A su vez, las características de los hogares en términos de aislamiento térmico, antigüedad de la construcción o superficie total, pueden influir de forma decisiva en el consumo de energía, en general, y de electricidad en particular.

Por tanto, a la hora de abordar la derivación de la función de demanda eléctrica residencial deberemos tener muy presente la manera de resolver todas las cuestiones anteriores.

A partir de aquí propondremos un modelo para obtener la ecuación de demanda eléctrica residencial en España y en el corto plazo. Para ello partiremos del fundamento teórico que nos ofrece la teoría neoclásica del comportamiento del consumidor.

Una vez que obtengamos la especificación teórica de la función de demanda, abordaremos la discusión de sus determinantes principales y los contextualizaremos en términos de las principales aportaciones que nos brinda la literatura existente.

⁶ Baker, Blundell, Micklewright (1989) contrastan esta hipótesis y obtienen evidencia favorable a ella en un trabajo para 80.000 familias en el Reino Unido.

2.1. La función de demanda eléctrica residencial

Con el objetivo de derivar la función de electricidad de los consumidores residenciales expondremos, en primer lugar, el contexto teórico en que se enmarca nuestro análisis y que parte de la teoría neoclásica del comportamiento del consumidor.⁷

2.1.1. El punto de partida: la teoría neoclásica del comportamiento del consumidor

El fundamento teórico neoclásico del comportamiento del consumidor parte de la base de que los individuos maximizan una función de utilidad sujeta a una restricción presupuestaria lineal, es decir:

$$\text{Max} U(q) \quad \text{s.a.} \quad \sum p_k q_k = x \quad \text{donde } k=1, \dots, n. \quad (1.1)$$

donde $U(q)$ es la función de utilidad del consumidor, p_k es el precio de cada bien y q_k son los bienes que consume el individuo. En este caso se supone que las preferencias satisfacen los axiomas estándar de la utilidad: reflexividad, universalidad, transitividad o consistencia, continuidad, monotonicidad y convexidad.⁸

La solución a este problema pasa por la construcción del *Lagrangiano* correspondiente y la obtención de las condiciones de primer orden según:

$$\Phi = U(q) + \lambda(x - \sum p_k q_k). \quad (1.2)$$

Las condiciones de primer orden para $\forall i = 1, \dots, n$ son:

$$\frac{\partial U(q)}{\partial q_i} = \lambda p_i \quad (1.3)$$

$$x = \sum p_k q_k \quad (1.4)$$

⁷ La subsección 2.1.1 se basa en gran parte en la estructura teórica adoptada en Deaton y Muellbauer (1980a), excepto en aquellas partes en que se indique expresamente otra referencia.

⁸ Para el detalle de cada una de estas propiedades y su demostración ver Deaton y Muellbauer (1980a).

Donde λ es el multiplicador de *Lagrange*, que representa la cantidad en que aumentaría la utilidad si relajamos en una unidad la restricción presupuestaria y, por tanto, puede interpretarse como la utilidad marginal del gasto total.

Resolviendo las condiciones de primer orden anteriores, obtendremos el sistema de ecuaciones de demanda *marshallianas* del tipo:

$$q_i = g_i(x, p). \quad (1.5)$$

La ecuación (1.5) es una función continua diferenciable, cuyos argumentos son el precio y el gasto total.

Dado este sistema de funciones de demanda, la derivada de su especificación logarítmica respecto a sus argumentos, nos proporciona las elasticidades precio y renta totales, lo cual nos permitirá valorar las reacciones de los consumidores, en términos de cantidades demandadas, a una variación en el nivel de precios del bien y en su nivel de renta, respectivamente.

$$\varepsilon_x = \frac{\partial \log g_i(x, p)}{\partial \log x}, \quad (1.6)$$

$$\varepsilon_p = \frac{\partial \log g_i(x, p)}{\partial \log p_j}. \quad (1.7)$$

En definitiva, por tanto, podemos decir que el objetivo del análisis de demanda neoclásico es identificar las respuestas del consumidor, a través de la demanda, a cambios en los precios y en el nivel de renta.

Si ahora sustituimos las cantidades demandadas que maximizan la utilidad ($q_i = g_i(x, p)$) en la propia función de utilidad, tenemos que:

$$U^* = (q_1, q_2) = U(g_1(p_1, p_2, x), g_2(p_1, p_2, x)) = \psi(p_1, p_2, x). \quad (1.8)$$

Es decir, que la utilidad real que obtiene el consumidor después de elegir las cantidades que maximizan su utilidad depende de los precios de los bienes y de su nivel de renta. La función que pone de manifiesto esta relación, ψ , se denomina función de utilidad indirecta.

Cabe recordar aquí que las preferencias de un consumidor pueden representarse de forma equivalente, tanto a través de una función de utilidad directa (como $U(\cdot)$), como de una función de utilidad indirecta (como $\psi(\cdot)$).

Esta equivalencia es importante porque normalmente estamos interesados en estudiar la función de utilidad del consumidor para poder determinar la forma funcional de su demanda de bienes y no para estudiar la forma de la propia función de utilidad. Si esto es así, para derivar funciones de demanda es mucho más fácil trabajar con la función de utilidad indirecta que con la función de utilidad directa.

Bajo el análisis estándar del comportamiento del consumidor, las curvas de demanda se derivan de la función de utilidad directa resolviendo el problema de maximización restringida (1.1). Este problema de maximización, excepto en el caso de funciones de utilidad directa muy simples, suele ser muy complejo y, en algunos casos irresoluble, por lo que no es posible derivar las funciones de demanda específicas.

Sin embargo, la derivación de funciones de utilidad a partir de funciones de utilidad indirecta es mucho más sencilla si utilizamos la identidad de Roy.⁹

Esta forma alternativa de derivar las funciones de demanda *marshallianas* se ha plasmado en la literatura de la demanda eléctrica residencial en distintos trabajos. De entre los más relevantes podemos destacar el de Hanemann (1984), como ejemplo de trabajo teórico, el de Dubin y McFadden (1984), como referente para los trabajos empíricos en este ámbito y el de Caves, Christensen y Herriges (1987), un trabajo eminentemente metodológico con una aplicación empírica al caso de un tipo de tarificación eléctrica concreta: el cobro del consumo de electricidad por tiempo de uso.

Hasta aquí, nos hemos centrado en el análisis del comportamiento del consumidor bajo los supuestos estándar de la teoría neoclásica de las preferencias. Sin embargo, las características particulares de la demanda doméstica de electricidad hacen que resulte conveniente discutir la posibilidad de imponer algún

⁹ La Identidad de Roy establece que:

$$q_i = -(\partial \psi / \partial p_i) / (\partial \psi / \partial x) = g_i(p_1, p_2, x).$$

Es decir, la demanda de un bien es el cociente, con signo negativo, de las derivadas de la función de utilidad indirecta respecto al precio del bien y el nivel de renta, respectivamente. (Train, 1986).

tipo de restricción sobre las preferencias, dados los efectos que estas restricciones tendrán sobre la derivación de las funciones de demanda.

En particular, discutiremos las implicaciones de la imposición de la condición de separabilidad y de que las preferencias sean homotéticas.

Separabilidad de las preferencias

El teorema de agregación de Hicks afirma que si un grupo de precios de distintos bienes experimenta variaciones simultáneas, el grupo de bienes correspondiente puede tratarse como un único bien.

En este contexto, la separabilidad de las preferencias permite que los bienes puedan dividirse en grupos, de forma que las preferencias de cada grupo puedan describirse independientemente de los bienes presentes en otros grupos. De esta forma podemos tener funciones de subutilidad de cada grupo, que combinadas entre sí darán lugar a la utilidad total.

La forma en que combinamos estas funciones de subutilidad da lugar a los conceptos de separabilidad fuerte y débil.

La separabilidad fuerte es la modalidad más restrictiva de separabilidad, puesto que exige que las funciones de subutilidad de los grupos de bienes se combinen de forma aditiva para dar lugar a la utilidad total. En cambio, la separabilidad débil no exige que las funciones de subutilidad se sumen entre sí para dar lugar a la utilidad total, permitiendo otro tipo de combinaciones.

En términos de especificación y derivación de las funciones de demanda de los bienes, a través de la maximización de la función de utilidad sujeta a una restricción presupuestaria por parte de los individuos, la adopción del supuesto de separabilidad tiene una implicación importante.

En concreto la separabilidad hará que la función de demanda de un bien sólo dependa de su propio precio y de un índice de precios del resto de bienes.¹⁰ En el caso de que contemos con información específica sobre la forma en que los precios del resto de bienes entran a formar parte de la función de demanda no

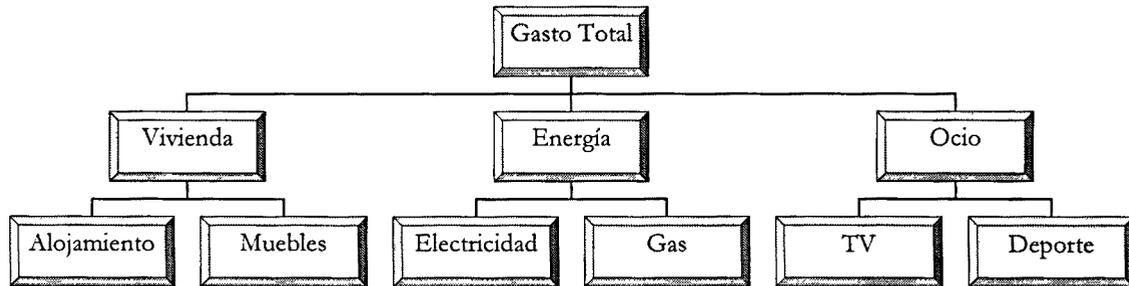
¹⁰ El trabajo de Pollak (1972) demuestra qué tipo de funciones cumplen esta propiedad y formaliza las implicaciones que ello tiene sobre la especificación de las funciones de demanda de los bienes.

debemos dudar en utilizarla, pero si esta información no está disponible, el concepto de separabilidad nos ofrece una especificación que permite que nos concentremos exclusivamente en los efectos renta y precio del propio bien.

A partir de aquí podemos crear un árbol de utilidad:

Gráfico 1.2

Árbol de utilidad de un procedimiento de presupuestación en dos etapas



Fuente: elaboración propia a partir de Deaton y Muellbauer (1980a)

Este diagrama sugiere un segundo concepto importante: el de la presupuestación en dos etapas. Mediante este mecanismo el consumidor toma sus decisiones de consumo en dos etapas. En la primera, el gasto total se asigna entre grupos amplios de bienes, mientras que en la segunda el gasto destinado a cada grupo amplio se asigna a cada uno de los bienes individuales. La ventaja de este mecanismo es que sólo se necesita conocer la información relevante de cada etapa y no la información total.

En cualquier caso, los resultados de la presupuestación en dos etapas deben ser idénticos a lo que ocurriría si la asignación del gasto total se hiciera en una única etapa con información completa.

El concepto de presupuestación en dos etapas implica que debemos ser capaces de agregar los distintos bienes para construir grupos amplios, así como la separabilidad de la toma de decisiones, ya que deben poderse tomar decisiones independientes de consumo entre los distintos grupos.

Sin embargo, aunque la idea de separabilidad de las preferencias y la de presupuestación en dos etapas están íntimamente relacionadas no son equivalentes, ni es cierto que una implique a la otra. Lo que sí es cierto es que la separabilidad es la condición necesaria y suficiente para poder acceder a la segunda fase de la presupuestación en dos etapas.

El problema de la separabilidad es que impone severas restricciones sobre el grado de sustitución que puede aplicarse entre los bienes de grupos distintos, aunque no así entre bienes dentro de cada grupo.

Esto es así en la medida en que la consideración de separabilidad supone que las decisiones de elección entre grupos de bienes se hacen de manera independiente, lo que implica que el consumidor no contempla que el cambio en el índice de precios de un grupo de bienes tenga repercusiones sobre la cantidad consumida de bienes en otro grupo.

En el ámbito de la estimación de la demanda residencial de electricidad, son muchos los ejemplos que podemos encontrar en la literatura en que se ha optado por suponer separabilidad de las preferencias y/o presupuestación en dos etapas.

Al respecto, podemos destacar el trabajo de Hausman, Kinnucan y McFadden (1979) que es uno de los estudios pioneros que aplicaron la metodología de la presupuestación en dos etapas en la modelización de la demanda eléctrica residencial.

La misma metodología se aplicó en el trabajo de Caves y Christensen (1980b), que desarrollaron un procedimiento para estimar las elasticidades del consumo eléctrico por tiempo de uso basándose en la separabilidad de las preferencias.

Baker, Blundell y Micklewright (1989) apostaron por un modelo teórico de presupuestación en dos etapas. En la primera etapa el hogar elige cómo distribuir su renta entre consumos energéticos y el resto de bienes, mientras que en la segunda elige sus gastos desagregados por tipo de energía. El modelo se aplica sobre una serie temporal de datos de hogares individuales en el Reino Unido, entre 1972 y 1983.

Filippini (1995) derivó un modelo del tipo *AIDS* (*Almost Ideal Demand System*), de Deaton y Muellbauer (1980b), bajo una tarifación por tiempo de uso, a través de un proceso de presupuestación en dos etapas. Estas dos etapas atienden a la asignación del presupuesto de los consumidores de electricidad entre el período de fijación de precios pico y el período valle para hogares suizos en 1991. En la misma línea metodológica discurre el trabajo de Matsukawa (2001) con hogares de Japón en 1993.

Por su parte, Leth-Petersen (2002) contrastó la existencia de separabilidad entre el consumo de gas y electricidad en la demanda energética residencial en el área que rodea el norte de Copenhague, obteniendo evidencia a favor de la separabilidad entre ambos insumos energéticos.

Por último, Halvorsen, Larsen y Nesbakken (2003) estimaron la demanda doméstica de electricidad para un conjunto de hogares noruegos, suponiendo de nuevo preferencias separables.

Dada la evidencia empírica anterior, en nuestra derivación analítica de la función de demanda residencial de electricidad en España, en la siguiente sección, supondremos que las preferencias de los individuos son débilmente separables entre el consumo de electricidad y el resto de bienes adquiridos por el hogar.

Preferencias homotéticas

Se dice que las preferencias son homotéticas si, para alguna normalización de la función de utilidad, doblar las cantidades que se consumen de cada bien supone doblar el nivel de utilidad, es decir, sería una situación equivalente a aquélla en que la utilidad estuviera sujeta a rendimientos constantes a escala.

Bajo este supuesto, la demanda de un bien se explica solamente por su precio y nivel de renta, excluyendo cualquier otra característica del individuo o de su entorno.

Sin embargo, parece intuitivo que la aparente simplicidad de este supuesto impone restricciones desde el punto de vista explicativo en el trabajo empírico, pues si bien puede ser útil en aquellos casos en que no se disponga de suficiente información acerca de las características personales y del hogar, resta riqueza de información al análisis econométrico y, por tanto, tiene un efecto directo sobre la precisión de los resultados finales obtenidos.

En este sentido, el trabajo de Caves, Christensen y Herriges (1987) contrastó de forma explícita la idoneidad de suponer preferencias homotéticas. En este trabajo se estimó la demanda residencial de electricidad en el estado de Wisconsin, en Estados Unidos, durante un programa de tarifación eléctrica experimental bajo dos modelos alternativos: un modelo básico y un modelo extendido.

En el primero se suponía que las preferencias eran homotéticas, mientras que en el segundo se relajó este supuesto. Por ello, en el modelo extendido se incluyeron

como variables explicativas del consumo eléctrico, además de las del modelo básico (precios de la electricidad y nivel de renta de los individuos), características demográficas, como el número de miembros en cada hogar y características de la propia vivienda, como las distintas variedades de electrodomésticos en cada hogar. Los resultados de la estimación confirmaron la idoneidad del modelo extendido y rechazaron, por tanto, la adopción del supuesto de preferencias homotéticas.

Por su parte, Filippini (1995) también obtuvo evidencia favorable al uso de una especificación de la demanda de electricidad donde las preferencias no fueran homotéticas, al igual que lo hizo posteriormente Matsukawa (2001, 2004).

La acumulación de evidencia empírica a favor de especificaciones no homotéticas de las preferencias se extiende a otros trabajos, de entre los que destacan: Parti y Parti (1980), Barnes, Gillingham y Hagemann (1981), Dubin y McFadden (1984), Baker, Blundell y Micklewright (1989), Mountain y Lawson (1992), Branch (1993), Baker y Blundell (2001) o Reiss y White (2005a).

Dado que la literatura ha contrastado y verificado de forma consistente la conveniencia de utilizar una especificación no homotética a la hora de estimar la demanda de electricidad, éste será el enfoque que adoptaremos en la próxima sección del trabajo.

2.1.2. Derivación analítica de la demanda residencial de electricidad en España

Una vez que hemos descrito el marco teórico en el que se enmarca nuestro estudio y tras haber considerado los principales supuestos que atañen a la derivación de la especificación de la demanda eléctrica residencial, vamos a obtener esta función en el caso del mercado eléctrico español.

Tal y como hemos señalado en la sección anterior, adoptaremos un enfoque basado en la teoría neoclásica del comportamiento del consumidor, es decir que consideraremos que el consumidor doméstico de electricidad en España se enfrenta a un problema de maximización de su función de utilidad, sujeto a una restricción presupuestaria.

Dado un enfoque como el anterior, nuestro análisis se basará en dos supuestos.

En primer lugar, supondremos que las preferencias de los individuos entre la electricidad y el resto de bienes son débilmente separables, por lo que los determinantes en términos de precios de la función de demanda obtenida serán el propio precio de la electricidad y un índice de precios para el resto de bienes de consumo del individuo.

En cuanto al precio de la electricidad, lo especificaremos según la estructura tarifaria que existe en España. Esta estructura es la de una tarifa en dos partes, en la que se paga una cuota fija en función de la potencia que contrata el hogar para abastecerse de energía eléctrica y un precio marginal constante por kilovatio hora (*kwh*) consumido, que es independiente de la cantidad que se consuma del bien.

De esta forma, la tarifa eléctrica residencial tiene la siguiente expresión:

$$G_e = (p_F \cdot F) + (p_{ma} \cdot q_e), \quad (1.9)$$

donde G_e es el gasto en electricidad, p_F es el precio por cada unidad de potencia contratada, F es la potencia que contrata cada hogar y que como veremos más adelante es exógena dado el período analizado,¹¹ p_{ma} es el precio marginal constante por unidad consumida del bien y q_e es el número de *kwh* consumidos por el hogar.

El primer término entre paréntesis de la ecuación (1.9) se conoce como término de potencia, mientras que el segundo recibe el nombre de término de energía.

Cabe decir que en España el precio de la potencia y el precio marginal por *kwh* consumido están regulados y que, a pesar de que a partir del 1 de enero de 2003 la totalidad de los consumidores residenciales son elegibles,¹² el porcentaje de consumidores que ha accedido en la actualidad al mercado liberalizado es muy bajo.¹³ Dado que al estimar empíricamente la demanda eléctrica residencial, en el capítulo 3, tomaremos datos de 1999, utilizamos una estructura tarifaria como la

¹¹ A pesar de que la potencia contratada varía de hogar a hogar, el hecho de que esta potencia sea exógena en el corto plazo nos permite simplificar su nomenclatura, de modo que prescindimos de su valor individual (F_i) y tomamos esta variable simplemente como F . Definir la variable de esta manera no afecta en modo alguno al análisis realizado.

¹² La elegibilidad implica que el consumidor puede optar entre consumir la energía eléctrica bajo la tarifa regulada o bien acceder al mercado libre de suministro de electricidad con precios liberalizados.

¹³ De los 23,3 millones de consumidores con suministros de baja tensión (domésticos y pequeñas y medianas empresas) que existían en el mercado español de electricidad, en marzo de 2005, tan sólo 1,3 millones facturaban su consumo de electricidad en el mercado liberalizado (CNE, 2005).

que describe la ecuación (1.9) a la hora de derivar de forma analítica esta función de demanda.

En segundo lugar, supondremos que las preferencias de los individuos no tienen una estructura homotética. Este supuesto implica que la función de demanda doméstica de electricidad dependerá, no sólo del precio de este bien y del nivel de renta de los individuos, sino también de un conjunto de características personales de los consumidores, así como de características del hogar que estos individuos habitan.

A la hora de escoger la forma en que estas características entrarán a formar parte de la función de utilidad hemos optado por una especificación aditiva de estas peculiaridades de los individuos, igual que la que se ha utilizado para caracterizar la influencia de los rasgos personales de los consumidores sobre la demanda de bienes duraderos, tal y como hicieron Deaton y Muellbauer (1980a).

Asimismo, cabe señalar que la función de demanda que obtendremos se enmarca en una perspectiva de corto plazo. Como ya señalamos en la introducción de la sección 2, la demanda de electricidad es una demanda derivada, lo que hace que los electrodomésticos de los que dispone el hogar sean realmente los que demanden energía eléctrica para producir distintos servicios para las familias.

En este contexto, decimos que el corto plazo se caracteriza por ser aquel período en que esta configuración de aparatos electrodomésticos es fija, y por tanto, ante cualquier variación en el precio de la electricidad, los individuos responden a él ajustando la intensidad de uso de estos aparatos. Por el contrario el largo plazo será aquel período en el que los electrodomésticos son un elemento variable, y en consecuencia, el consumidor puede ajustar el número de equipos de que dispone en su hogar a la hora de reaccionar a una variación del precio de la energía eléctrica. De este modo podemos decir que en el largo plazo el elemento relevante para el consumidor es la propia demanda de electrodomésticos, más allá de la variación en el uso de electricidad.

Por tanto, en el presente trabajo consideraremos que el número de electrodomésticos en el hogar es fijo y que los consumidores sólo pueden reaccionar a variaciones en el precio ajustando el uso que hacen de este stock de capital que permanece constante.

El hecho de que el número de electrodomésticos del hogar sea fijo tiene consecuencias importantes sobre la obtención de la función de demanda eléctrica residencial y van más allá de la intuición.

De hecho, cuando hemos descrito la estructura tarifaria doméstica española, hemos considerado el término de potencia y el término de energía. La variabilidad en el gasto en concepto del término de potencia dependerá, básicamente, de la potencia contratada por el hogar, puesto que el precio de esta potencia está regulado. Esta potencia contratada se escogerá dependiendo del número de aparatos electrodomésticos que existen en el hogar, de forma que a mayor número de aparatos, mayor será la potencia que se necesita para que éstos funcionen, puesto que la potencia es una medida de capacidad, mientras que el consumo de energía es una medida de flujo.¹⁴

Si consideramos que el stock de electrodomésticos es fijo podremos concluir que la potencia contratada por el hogar en el período analizado es exógena. Este hecho es muy importante, puesto que si la potencia contratada fuera endógena, es decir, si dependiera de la elección sobre la adquisición de nuevos equipos de electrodomésticos en el hogar, el problema de maximización restringida que resolveremos a continuación no tendría solución de forma analítica.

Lo anterior tiene una relación directa con la discusión que hacíamos en la introducción de la sección 2 sobre las implicaciones que tiene la falta de un precio unitario para tarifar la electricidad. En particular, los programas tarifarios no lineales, por tramos de consumo o por tiempo de uso de la energía eléctrica, impiden derivar funciones de demanda de electricidad, puesto que se generan discontinuidades en dicha función de demanda. Sin embargo, en este caso, la existencia de un precio marginal constante independiente de la cantidad de electricidad consumida, y de una cuota fija que si bien permitimos que varíe entre individuos es exógena para todos ellos, permite que podamos derivar analíticamente la función de demanda eléctrica residencial.

Una vez hechas las consideraciones anteriores, especificaremos el problema de optimización concreto al que se enfrenta el consumidor residencial español de

¹⁴ De forma más precisa podemos decir que la potencia es la capacidad de desarrollar trabajo mecánico y se mide en vatios (W), mientras que la energía es el uso o generación de potencia en un período de tiempo y se mide en vatios por hora (Wh). Así, por ejemplo, una bombilla de 100 W de potencia consume 50 Wh de energía si está encendida media hora.

energía eléctrica. Dicho problema se caracteriza por el siguiente programa de maximización restringida:

$$\begin{aligned} \text{Max} U &= (q_e + \varepsilon)^{\alpha_1} \cdot q_R^{\alpha_2} \\ \text{s.a. } G_T &= (F \cdot p_F + q_e \cdot p_{ma}) + q_R \cdot p_R \end{aligned} \quad (1.10)$$

Donde U es una función de utilidad de tipo *Cobb-Douglas*, en que α_1 y α_2 son los parámetros de la función. De momento no impondremos ninguna restricción sobre el valor que tomarán estos parámetros, aunque siguiendo el supuesto estándar consideraremos que toman valores entre 0 y 1.

Por su parte q_e es la cantidad de electricidad consumida en *kwh* por hogar, q_R es la cantidad que se consume del resto de bienes y ε es un vector de parámetros que difiere de hogar a hogar y que recoge las diferencias en los gustos y características personales y demográficas, como la composición familiar, la edad de los individuos, factores relacionados con el clima o la antigüedad de la vivienda, que no aparecen reflejados en la restricción presupuestaria.

En la restricción presupuestaria, G_T es el gasto total en bienes y servicios que el individuo consume en un período. Dada la alta correlación que acostumbra a existir entre esta variable de gasto y el nivel de renta, podríamos aproximar esta última variable por la primera. F es la potencia eléctrica contratada por el hogar, p_F es el precio regulado de esta potencia, p_{ma} es el precio marginal regulado por *kwh* y p_R es un índice de precios para la cesta de consumo del resto de bienes que adquieren los individuos en un período.

A efectos de simplificar el análisis, podemos suponer que este índice de precios p_R es un numerario, de forma que podremos ver la expresión de la tarifa eléctrica en relación con el precio del resto de bienes.

Para resolver este problema de maximización restringida debemos construir la función de *Lagrange* correspondiente.

$$\Phi = (q_e + \varepsilon)^{\alpha_1} \cdot q_R^{\alpha_2} - \lambda [(F \cdot p_F + q_e \cdot p_{ma}) + q_R \cdot p_R] - G_T \quad (1.11)$$

Las condiciones de primer orden que satisfacen las condiciones de óptimo del problema anterior son:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial q_e} = \frac{\partial \Phi}{\partial q_R} = \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda} = 0. \quad (1.12)$$

En este caso concreto estas condiciones de primer orden tienen la siguiente expresión:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial q_e} = \alpha_1 \cdot (q_e + \varepsilon)^{\alpha_1 - 1} \cdot q_R^{\alpha_2} - \lambda \cdot p_{ma} = 0, \quad (1.12.a)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial q_R} = (q_e + \varepsilon)^{\alpha_1} \cdot \alpha_2 \cdot q_R^{\alpha_2 - 1} - \lambda p_R = 0, \quad (1.12.b)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \lambda} = -F \cdot p_F - q_e \cdot p_{ma} - q_R \cdot p_R + G_T = 0. \quad (1.12.c)$$

Para obtener la cantidad de electricidad consumida resolvemos el anterior sistema de ecuaciones para q_e . Para ello, igualamos λ en las dos primeras ecuaciones, despejamos q_R de esa expresión y lo sustituimos en (1.12c). Finalmente despejamos de esa ecuación q_e .

Así, la expresión que obtenemos para la demanda doméstica de electricidad es:

$$q_e = \frac{G_T \cdot \alpha_1}{p_{ma} \cdot (\alpha_1 + \alpha_2)} - \frac{F \cdot p_F \cdot \alpha_1}{p_{ma} \cdot (\alpha_1 + \alpha_2)} - \frac{\varepsilon \cdot \alpha_2}{(\alpha_1 + \alpha_2)}. \quad (1.13)$$

En el caso en que la función de utilidad de los individuos tenga rendimientos constantes a escala, es decir, si $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$, podemos describir la expresión anterior de forma más simple según:¹⁵

$$q_e = \frac{G_T \cdot \alpha_1}{p_{ma}} - \frac{F \cdot p_F \cdot \alpha_1}{p_{ma}} - \varepsilon \cdot (1 - \alpha_1). \quad (1.14)$$

Dado el resultado en (1.13) podemos concluir que la demanda residencial de electricidad depende positivamente del nivel de renta de los individuos, de una serie de características personales y demográficas, y del precio del propio bien, aunque en este último caso no podemos afirmar con certeza si la relación entre el precio de la electricidad y su consumo es positiva o negativa y, además, no está claro qué elemento del precio es el determinante del consumo, el precio medio, el

¹⁵ Sin embargo en lo sucesivo no adoptaremos esta especificación empírica, puesto que ésta se correspondería con unas preferencias del consumidor de carácter homotético, supuesto que hemos descartado utilizar. Ver sección 2.1.1.

precio marginal o una combinación de ambos. En la sección 3.1, a continuación, dilucidaremos esta cuestión.

En cualquier caso, la expresión de la función de demanda residencial de electricidad es coherente con la evidencia empírica internacional, ya que es comúnmente aceptado que esta demanda depende de estas tres variables, siendo la especificación del precio la que ha suscitado mayor controversia. De hecho nuestro resultado está en la línea de multitud de trabajos. Por citar sólo algunos ejemplos podemos mencionar los de Acton, Mitchell y Mowill (1976), Fuss, Hyndman y Waverman (1977), McFadden, Kirshner y Puig (1977), Parti y Parti (1980), Branch (1993), Matsukawa (2004), Reiss y White (2005a), o el trabajo de Gaudin (2005) en el sector de la demanda doméstica de agua.

Adicionalmente existen autores que en su interés por calcular el grado de sustitución que existe entre los distintos insumos energéticos domésticos, fundamentalmente la electricidad y el gas natural, incluyen en la especificación de la función de demanda eléctrica los precios de estos suministros alternativos. Al respecto, podemos señalar como ejemplos los trabajos de Houthakker (1951a), Halvorsen (1975), Roth (1981), Garbacz (1983, 1984), Silk y Joutz (1997) o el de Filippini y Pachauri (2002).

En nuestro caso, debido a los supuestos que hemos adoptado previamente, en términos de separabilidad de las preferencias y de su carácter no homotético, no tenemos una especificación donde aparezcan los precios de suministros alternativos. Además los datos con que contaremos para estimar la ecuación de demanda obtenida, no nos permiten utilizar una especificación en la que podamos usar el precio de otros insumos energéticos que no sea el de la electricidad, teniendo en cuenta que trabajaremos con microdatos de hogares.

Asimismo, cabe recordar que hemos derivado una ecuación de demanda doméstica de electricidad adoptando un enfoque continuo de corto plazo, es decir, que enfrentamos a los consumidores eléctricos residenciales a escoger la cantidad de electricidad que desean consumir, dado que su stock de aparatos electrodomésticos es fijo. Como veremos en la sección 1.1 del capítulo 2, éste no es el único enfoque posible.

En este sentido, cabe la posibilidad de enfrentar a los consumidores a la elección de su equipamiento de aparatos electrodomésticos y, una vez tomada esta

decisión, o simultáneamente a la misma, escoger la cantidad de energía eléctrica que esos electrodomésticos van a necesitar para producir servicios para el hogar. Tal enfoque recibe la denominación de modelo discreto-continuo, y el trabajo pionero de la literatura que lo recoge es el de Dubin y McFadden (1984), a partir de la propuesta teórica de McFadden (1974). Sin embargo, ahora no vamos a extendernos más en sus peculiaridades y, como hemos señalado, lo describiremos con más detalle en la sección 1.1 del capítulo 2.

Una vez que hemos conseguido derivar la función de demanda eléctrica residencial vamos a pasar a discutir la naturaleza de cada uno de sus determinantes.

3. Discusión de los determinantes de la demanda

El objetivo de esta sección es discutir la especificación de cada uno de los determinantes que aparecen en la ecuación de demanda doméstica de electricidad y establecer las hipótesis de trabajo que se contrastarán empíricamente en el capítulo 3.

Dada la forma más genérica de la ecuación de demanda derivada, según:

$$q_e = \frac{G_T \cdot \alpha_1}{p_{ma} \cdot (\alpha_1 + \alpha_2)} - \frac{F \cdot p_F \cdot \alpha_1}{p_{ma} \cdot (\alpha_1 + \alpha_2)} - \frac{\varepsilon \cdot \alpha_2}{(\alpha_1 + \alpha_2)}, \quad (1.13)$$

discutiremos la idoneidad de incluir cada una de las variables implicadas en su especificación: el precio de la electricidad, el nivel de renta de los individuos y las características personales y demográficas de los consumidores y del hogar.

3.1. El debate sobre la especificación del precio en la ecuación de demanda eléctrica residencial: ¿precio medio o precio marginal?

A lo largo del tiempo se ha suscitado un debate importante en la literatura sobre qué variable de precios era la más conveniente para explicar el consumo de electricidad.

En este sentido, la discusión fundamental es si debemos considerar como variable de precios relevante el precio medio o el precio marginal de la energía eléctrica. Creemos que se optará por uno u otro dependiendo de la estructura tarifaria de la electricidad a la que nos enfrentemos en cada caso.

Dada una estructura de precios, parece claro que si la energía eléctrica se tarifara con un precio único homogéneo por unidad consumida, desaparecería cualquier discrepancia, puesto que en este caso el precio medio y el precio marginal coincidirían, y estaríamos mayoritariamente de acuerdo en utilizar este precio marginal como la medida de precios relevante.

Sin embargo, como ya hemos señalado a lo largo de todo el capítulo, uno de los rasgos característicos de la energía eléctrica es que su uso no se tarifa con un precio único simple, sino a través de una estructura tarifaria compleja.

Por ello, si nos remontamos al trabajo de Houthakker (1951a), veremos que él fue el primer autor en afirmar que dada una estructura tarifaria por bloques de consumo, con una cuota fija de acceso al servicio independiente de la cantidad de electricidad consumida y tantos precios marginales como bloques de consumo existieran, la variable de precios relevante es el precio marginal del último bloque de consumo para cada uno de los individuos. Posteriormente, el *survey* de Taylor (1975) recogió las principales aportaciones de la literatura que siguieron esta argumentación y convino en ratificar la idea de Houthakker (1951a), en el sentido de que una estructura tarifaria por tramos de consumo se representaba de forma más fiel a través de un indicador del precio marginal y en ningún caso podía hacerse uso de un precio medio calculado *ex post*.

Más allá de lo anterior, Taylor (1975) sugirió en este *survey*, así como en trabajos posteriores,¹⁶ que además de un indicador del precio marginal sería conveniente utilizar un indicador de precio intramarginal. Es decir, además de considerar el precio del último bloque de consumo de cada individuo, la especificación de la ecuación de demanda doméstica de electricidad debería incluir un elemento que midiera el impacto de la cuota fija sobre el consumo, así como un precio intramarginal, calculado como el precio medio hasta el último bloque de consumo, no incluido, o como la diferencia entre el gasto real en electricidad del individuo y lo que se gastaría si esa misma electricidad se cobrara toda ella al precio marginal del último bloque de consumo.

Bajo esta metodología de especificación de la variable de precios podemos encontrar trabajos como los de Halvorsen (1975), Acton, Mitchell y Mowill

¹⁶ Ver Taylor (1977a, 1977b) para el detalle completo de esta argumentación.

(1976), McFadden, Kirshner y Puig (1977), Roth (1981), Dubin (1985), Herriges y Kuester (1994) o Reiss y White (2005a).

Sin embargo, no todos los trabajos de la literatura han apostado por esta forma de especificar el precio en la ecuación de demanda de electricidad y, en su lugar, se ha utilizado el precio medio calculado de forma *ex post*. Entre los trabajos que utilizan el precio medio encontramos a Parti y Parti (1980), Shin (1985), Dubin, Miedema y Chandran (1986), Fouquet (1995), Nesbakken (1999) y Zarnikau (2003). Las razones que explican esta discrepancia deben buscarse, o bien en la estructura tarifaria a la que está sujeta el consumo eléctrico o bien en el tipo de datos que se utilizan en la estimación.

En primer lugar, respecto a la estructura tarifaria, si bien las tarifas por bloques de consumo han sido las más utilizadas para tarifar la electricidad, desde finales de la década de los setenta y principios de los ochenta los gobiernos y organismos reguladores han optado por introducir otras estructuras, como las tarifas por tiempo de uso o las tarifas en tiempo real. En estos casos, no es posible obtener un precio marginal único como indicador resumen del programa tarifario y esto ha llevado al uso del precio medio o a una combinación de precios medios y marginales como variables descriptivas del programa de precios de que se trate.

Por su parte, las tarifas en dos partes, en que se paga una cuota fija para acceder a la provisión del servicio y un precio marginal constante por *kwh* consumido, animan a utilizar el precio medio como variable de precios, puesto que al ser el precio marginal constante para todos los individuos, si fuera ésta la variable utilizada no existiría variabilidad entre individuos, pues todos pagan el mismo precio marginal y, por tanto, no podrían obtenerse elasticidades precio para los consumidores.¹⁷

Esta estructura tarifaria es la que existía en España en 1999,¹⁸ el año para el que se estimará la ecuación de demanda residencial, y por ello en este trabajo se ha

¹⁷ La tarifa en dos partes ha sido, junto la tarifa por bloques, uno de los programas tarifarios más utilizados para facturar el consumo de electricidad desde los inicios de la provisión del servicio (Houthakker, 1951a). Estos dos programas tarifarios han tenido vigencia de manera muy extendida hasta hace un par de décadas.

¹⁸ La tarifa en dos partes, tal y como la conocemos actualmente, existe en España desde octubre de 1983.

optado por el uso del precio medio,¹⁹ al objeto de tener variabilidad entre individuos y, por tanto, poder calcular la elasticidad precio correspondiente.

En segundo lugar, el tipo de datos que se utilice en el análisis condicionará el indicador de precios que puede utilizarse. En particular, si utilizamos datos agregados en un contexto geográfico en que tenemos distintos programas tarifarios en bloques, no tiene sentido utilizar precios marginales distintos, puesto que no podremos adjudicar cada precio marginal a cada uno de los consumidores. Por otro lado, en el caso de que contemos con microdatos, no siempre se dispone de la información necesaria para poder discriminar el precio marginal que paga cada consumidor por la energía eléctrica.

En cualquier caso, no siempre debemos acudir a limitaciones empíricas para justificar el uso del precio medio como la variable relevante que describe el programa tarifario al que se enfrentan los consumidores. De hecho, el trabajo de Shin (1985) contrasta explícitamente si el consumidor responde a cambios en el precio medio o el precio marginal para ajustar su nivel de consumo eléctrico. En este trabajo, que utiliza datos agregados anuales de Ohio entre 1960 y 1980, el autor reconoce que, si bien la teoría clásica afirma que cuando existe información perfecta los consumidores responden al precio marginal, esto no tiene por qué ser así si la información es difícil de obtener.²⁰ Las conclusiones de Shin avalan que los individuos responden al precio medio cuando se enfrentan a un programa tarifario en bloques, razón por la que este autor recomienda revisar las estimaciones de elasticidades precio obtenidas con anterioridad en la literatura. El trabajo concluye, además, que el aumento esperado del consumo si el precio marginal se percibiera correctamente sería sustancial, puesto que el precio medio es mayor al precio marginal.²¹

Dada la argumentación anterior, formularemos la hipótesis de que en nuestro trabajo tiene sentido utilizar un indicador del precio medio como el descrito. Para ello, atenderemos a la estructura tarifaria a la que se enfrentaban los consumidores

¹⁹ El precio medio se calcula como el ratio *ex post* entre el gasto en energía eléctrica (término de potencia + término de energía) y el número de *kwh* consumidos en cada hogar.

²⁰ Éste podría ser el caso si introducimos el concepto de precio percibido de una factura eléctrica. En este sentido, Shin (1985) argumenta que el consumidor eléctrico no percibe con claridad, a partir de su factura, cuál es la diferencia entre el precio medio y el precio marginal.

²¹ Asimismo, Baker, Blundell y Micklewright (1989) afirman que aunque es cierto que la teoría económica indica que la medida correcta del precio es la marginal, el uso del precio medio podría justificarse porque los consumidores pueden estar más informados sobre éste. En el mismo sentido se expresa el trabajo de Watkins (1992, p. 36).

residenciales españoles en 1999 y a la ecuación de demanda de electricidad (1.13) que hemos derivado.

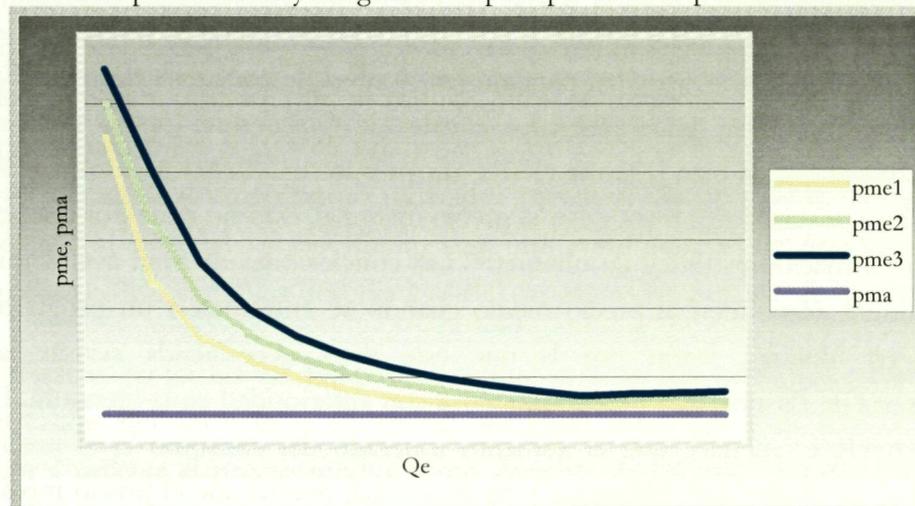
Dada una tarifa en dos partes como la considerada en (1.9):

$$G_{\epsilon} = (p_F \cdot F) + (p_{ma} \cdot q_{\epsilon}), \quad (1.9)$$

y teniendo en cuenta que nos centramos en un contexto de corto plazo, podemos afirmar que las curvas de precio marginal y de precio medio, por nivel de potencia contratada en el hogar, tienen la siguiente forma:

Gráfico 1.3

Curvas de precio medio y marginal en España por nivel de potencia contratada



Fuente: elaboración propia.

Donde p_{ma} es el precio marginal y p_{me1} , p_{me2} y p_{me3} son las curvas de precio medio para los consumidores que contratan el nivel de potencia más bajo posible y los dos siguientes.

Asimismo, según la ecuación (1.13), un aumento en el precio regulado de la potencia (p_F) debería llevar a una reducción en la cantidad consumida de electricidad.²²

Ligando las dos ideas anteriores tendríamos que:

²² Aquí debemos tener en cuenta de nuevo que esta afirmación responde a la formulación de una hipótesis de trabajo. Así, dependiendo del grado de la elasticidad precio de la demanda la variación de la cantidad consumida de la electricidad ante una variación en el precio, ya sea el precio marginal, o el de la potencia contratada, será de mayor o menor magnitud. Las respuestas a esta cuestión se ofrecen en la contrastación empírica de hipótesis que tendrá lugar en el análisis empírico posterior de esta investigación.

Dado un nivel de potencia F , si el precio de esta potencia se incrementa, pasando de p_{F1} a p_{F2} , el precio medio para cada uno de esos dos precios de la potencia sería:

$$\text{Para } p_{F1}: p_{me1} = \frac{F \cdot p_{F1} + q_e \cdot p_{ma}}{q_e} = \frac{F \cdot p_{F1}}{q_e} + p_{ma}; \quad (1.15)$$

$$\text{Para } p_{F2}: p_{me2} = \frac{F \cdot p_{F2} + q_e \cdot p_{ma}}{q_e} = \frac{F \cdot p_{F2}}{q_e} + p_{ma}. \quad (1.16)$$

Comparando la magnitud de ambos precios medios tenemos que:

$$\frac{F \cdot p_{F2}}{q_e} + p_{ma} > \frac{F \cdot p_{F1}}{q_e} + p_{ma},$$

$$\text{si } p_{F2} > p_{F1} \Rightarrow p_{me2} > p_{me1}.$$

$$\text{Por tanto, si } \Delta p_F \Rightarrow \Delta p_{me} \Rightarrow \nabla q_e.$$

De esta forma, formalizamos la hipótesis de que el uso del precio medio como variable representativa del precio recoge de forma apropiada el comportamiento de los individuos, en términos de consumo, tal y como podríamos predecir a partir de la ecuación de demanda (1.13).²³

Sin embargo, para completar el análisis debemos tener en cuenta que en la ecuación de demanda que hemos derivado aparece también un precio marginal. A partir de aquí formularemos la siguiente hipótesis: si la demanda de electricidad es elástica al precio, ante un aumento del precio marginal la cantidad consumida debe disminuir. Para ver la lógica de esta hipótesis, haremos el siguiente razonamiento:

Vamos a suponer una potencia contratada, F y un nivel de renta G_T dados cualesquiera, un valor dado de α_1 y α_2 y un aumento en el precio marginal de la electricidad. Este aumento de precios tendrá dos efectos en la ecuación de demanda (1.13), según:

²³ La misma conclusión se obtiene si, en lugar de considerar un aumento en el precio regulado de la potencia, consideramos el impacto sobre el precio medio de un nivel de potencia contratado superior, puesto que, obviamente, un mayor nivel de potencia contratada se corresponde con una curva superior en el gráfico 1.3 y, por tanto, con un mayor nivel de precio medio.

$$\frac{\partial q_e}{\partial p_{ma}} = -\frac{G_T}{(\alpha_1 + \alpha_2)} \cdot \frac{1}{p_{ma}^2} + \frac{F \cdot p_F \cdot \alpha_1}{(\alpha_1 + \alpha_2)} \cdot \frac{1}{p_{ma}^2};$$

$$\frac{\partial q_e}{\partial p_{ma}} = \left(-\frac{G_T}{(\alpha_1 + \alpha_2)} + \frac{F \cdot p_F \cdot \alpha_1}{(\alpha_1 + \alpha_2)} \right) \cdot \frac{1}{p_{ma}^2}; \quad (1.17)$$

$$\text{si } \frac{G_T}{(\alpha_1 + \alpha_2)} > \frac{F \cdot p_F \cdot \alpha_1}{(\alpha_1 + \alpha_2)} \Rightarrow \frac{\partial q_e}{\partial p_{ma}} < 0.$$

En la expresión (1.17) vemos que la variación en una unidad del precio marginal llevará a una variación en sentido contrario de la cantidad demandada. Esto es así en la medida en que el primer término entre paréntesis es mayor que el segundo, puesto que el numerador del primer cociente se corresponde con el nivel de renta del individuo, mientras que el numerador del segundo cociente es el gasto realizado en el término de potencia multiplicado por α_1 , que recordamos que oscila entre 0 y 1. De esta forma predecimos que, tal y como afirmaría la teoría económica convencional, la ecuación de demanda residencial que hemos derivado analíticamente refleja que un aumento del precio marginal de la electricidad llevaría a una reducción en el consumo de electricidad, siempre que esta demanda tenga una elasticidad precio suficiente.

En resumen, en esta sección hemos discutido las distintas especificaciones que adopta el precio residencial de la electricidad en la literatura empírica y hemos formulado la hipótesis, que contrastaremos en el análisis empírico posterior, de que el precio medio puede ser un buen indicador de la variable de precios en nuestro caso. En segundo lugar, hemos discutido la coherencia de la ecuación de demanda doméstica de electricidad que hemos derivado, pronosticando que un aumento del precio (medio y/o marginal) conduce a una reducción del consumo, siempre que exista una elasticidad precio suficiente de la demanda.

3.2. El nivel de renta

Nuestra derivación analítica de la función de demanda residencial de electricidad predice que existe una relación positiva entre el nivel de renta de los individuos y su consumo de electricidad.

De forma intuitiva esta relación, que se contrastará posteriormente en esta investigación, parece bastante razonable, pues es de esperar que los individuos que dispongan de un mayor poder adquisitivo sean a su vez los que realicen un

mayor consumo de energía eléctrica. De hecho, hasta donde llega nuestro conocimiento, no sabemos de ningún trabajo en la literatura que pronostique lo contrario.²⁴

Dado que no parecen existir dudas sobre la relación que existe entre la variable de renta y el consumo de electricidad, creemos que es útil discutir la forma en que esta variable debe formar parte de la ecuación de demanda doméstica.

Al respecto, cabe destacar que será importante tener en cuenta el tipo de información sobre la renta de que dispongamos en los estudios empíricos. En este sentido deberemos diferenciar entre los trabajos realizados con datos agregados y aquellos que usan microdatos, o datos desagregados.

En la Tabla 1.1 se resumen las contribuciones empíricas más destacadas, en términos de la especificación de la variable de renta en la ecuación de demanda eléctrica residencial, distinguiendo si los trabajos se realizan con datos agregados o desagregados.

En los primeros es habitual ver representada la renta como renta *per capita* o bien utilizando algún indicador del output del país o región de que se trate a lo largo del tiempo.²⁵ Así, el trabajo de Fisher y Kaysen (1962) estima la demanda de corto y largo plazo de electricidad en Estados Unidos utilizando la renta *per capita* real y corriente respectivamente; Mount y Chapman (1977) utilizan la renta *per capita* de 48 estados de Estados Unidos, entre 1963 y 1972; Fuss, Wyndman y Waverman (1977) hacen uso de la inversa de la renta personal disponible por hogar entre 1960 y 1971 en las provincias de Canadá; Shin (1985) utiliza la renta personal real *per capita* entre 1960 y 1980 en Ohio; Buisán (1992) utiliza el gasto total *per capita* por hogar en un trabajo para España entre 1977 y 1983. Por su parte, Fouquet (1995) utiliza la renta real personal disponible *per capita* trimestral, entre 1974 y 1994, en el territorio de Inglaterra y Gales; Hondroyannis (2004) apuesta por la

²⁴ Roth (1981) obtiene una correlación negativa entre el nivel de renta de los individuos y su consumo de electricidad. Sin embargo, en este trabajo el autor considera que las variaciones en el nivel de renta se producen de forma indirecta, como consecuencia de variaciones en el precio medio de la electricidad, de forma que un aumento del precio medio es equivalente a una disminución de la renta. Además, el autor aduce que la anomalía del signo del efecto renta puede deberse a la existencia de un problema autocorrelación en la función de demanda que no se ha tratado correctamente desde el punto de vista econométrico.

²⁵ En estos enfoques se utiliza habitualmente el producto nacional bruto del país o de la región o alguna otra medida similar, como por ejemplo en el trabajo de Benavente, Galetovic, Sanhueza y Serra (2005), que utilizan un promedio móvil del Índice Mensual de Actividad Económica regional en Chile.

Tabla 1.1

Evidencia empírica de la especificación de la variable de renta en la estimación de la demanda eléctrica residencial

	Trabajo	Variable renta utilizada	Descripción	Horizonte temporal	Ámbito Geográfico
Datos Agregados					
Fisher y Kaysen (1962)		Renta real p.c. / Renta corriente p.c.	Renta p.c. de los Estados de EE.UU.	ST: 1946-1957	EE.UU.
Mount y Chapman (1977)		Renta p.c.	Renta p.c. de 48 Estados	ST: 1963-1972	EE.UU.
Fuss <i>et al.</i> (1977)		Inversa renta p.c.	Inversa de la renta personal disponible por hogar.	ST: 1960-1971	Provincias Canadá
Shin (1985)		Renta p.c.	Renta personal p.c. real.	ST: 1960-1980	Estado Ohio
Buisán (1992)		Renta p.c.	Gasto total p.c.	ST: 1977-1983	España
Fouquet (1995)		Renta p.c.	Renta real personal disponible trimestral p.c.	ST: 1974-1994	Inglaterra y Gales
Hondroyannis (2004)		Renta p.c.	Renta real doméstica mensual	ST: 1986-1999	Grecia
Kamerschen y Porter (2004)		Renta p.c./PIB	Renta real esperada p.c. anual / PIB anual real.	ST: 1973-1998	EE.UU.
Benavente <i>et al.</i> (2005)		Output regional p.c.	Promedio móvil del Índice Mensual de Actividad Económica Regional.	ST: 1995-2001	Chile

Tabla 1.1 (Continuación)

Trabajo	Variable renta utilizada	Descripción	Horizonte temporal	Ámbito Geográfico
Datos Desagregados				
Barnes <i>et al.</i> (1981)	Gasto eléctrico total individual	Gasto total mensual en electricidad.	ST: 1972-1973	EE.UU
Caves <i>et al.</i> (1984)	Gasto eléctrico total individual	Gasto total mensual en electricidad.	ST: 1977-1979	EE.UU
Dubin y McFadden (1984)	Renta neta doméstica	Renta del hogar menos coste insumo energético.	CT: 1975	EE.UU
Baker <i>et al.</i> (1989)	Renta doméstica	Renta del hogar.	ST: 1972-1983	R.U.
Baker y Blundell (1991)	Renta neta hogar/precio y renta neta	Renta hogar neta de gasto suministros energéticos/variable de interacción precio eléctrico y renta neta.	ST: 1972-1978	R.U.
Branch (1993)	Renta nominal permanente	Gastos totales anuales domésticos promediados por los trimestres que el hogar permanece en la muestra.	CT: 1985	EE.UU.
Filippini (1995)	Gasto real en electricidad	Gasto real doméstico en electricidad.	CT: 1991	Ciudades suizas.
Matsukawa (2001)	Participación presupuestaria electricidad	Participación del gasto en electricidad en el gasto doméstico total.	CT: 1993	Japón.
Leth-Petersen (2002)	Renta neta doméstica	Renta neta doméstica del gasto en gas.	CT: 1996	Copenhague
Halvorsen <i>et al.</i> (2003)	Renta neta doméstica	Renta doméstica neta del gasto en suministros energéticos.	CT: 1993, 1994	Noruega.

ST: Serie temporal, CT: Corte transversal, p.c.: *per capita*, EE.UU.: Estados Unidos, R.U.: Reino Unido.

Fuente: Elaboración propia.

renta real doméstica mensual en su estimación de la demanda residencial de electricidad en Grecia, entre 1986 y 1999, y Kamerschen y Porter (2004) hacen uso de la renta real esperada *per capita* en un modelo de ajuste de flujo y del PIB anual real en un modelo de ecuaciones simultáneas, en su estimación con datos anuales, entre 1973 y 1998 en Estados Unidos.

Por su parte, los trabajos que utilizan datos desagregados eligen un indicador del nivel de renta de los individuos mucho más preciso, que normalmente proviene de la respuesta directa de los consumidores a alguna encuesta de carácter nacional aunque, como veremos, la variable elegida no acaba siendo tal cual el nivel de renta del hogar.

En este sentido, Barnes, Gillingham y Hagemann (1981) utilizan el gasto total en electricidad mensual por hogar entre 1972 y 1973 en Estados Unidos; Caves, Christensen y Herriges (1984) eligen el gasto en electricidad de los hogares en su estudio sobre los resultados del experimento de tarifación por tiempo de uso en el estado de Wisconsin en Estados Unidos, entre 1977 y 1979; Dubin y McFadden (1984), en un modelo de elección discreto-continuo en dos etapas sobre la elección y consumo del calentador de agua y el sistema de calefacción utilizan, en la segunda etapa, el nivel de renta del hogar menos el coste del suministro que se ha elegido consumir en la primera etapa, en 1975 en Estados Unidos; Baker, Blundell y Micklewright (1989) utilizan directamente el nivel de renta de cada hogar extraído de la *Family Expenditure Survey*, sobre un total de 80.000 familias en el Reino Unido entre 1972 y 1983; Baker y Blundell (1991) apuestan por el uso de la renta doméstica, neta del gasto en insumos energéticos y por una variable de interacción entre el precio de la electricidad y la variable de renta; Branch (1993) utiliza la renta nominal permanente, aproximada por los gastos totales en un trimestre del año que se estudia, 1985, y promediada por los trimestres que el hogar está en la muestra de estudio. Por su parte, Filippini (1995) utiliza el gasto real en electricidad en su trabajo sobre la demanda de energía eléctrica, sujeta a una tarifa por tiempo de uso en ciudades suizas; Matsukawa (2001) elige la participación del gasto en electricidad de las familias en el gasto total, ambos extraídos de una encuesta de 1993 en Japón; Leth-Petersen (2002) propone un modelo para la demanda de electricidad y gas, utilizando en cada ecuación el gasto total del hogar menos el gasto en gas y electricidad respectivamente. Por último, Halvorsen, Larsen y Nesbakken (2003) optan por utilizar el gasto total de cada

hogar neto del gasto en todos los suministros energéticos, información que se extrae de la encuesta de consumo noruega entre 1993 y 1994.

Asimismo, de la observación de la Tabla 1.1 llaman la atención algunas cosas. En primer lugar, la mayoría de trabajos con datos agregados se llevan a cabo sobre series temporales, mientras que los realizados con datos desagregados se aplican sobre datos de corte transversal. Quizás el hecho de que los datos desagregados de calidad tengan un origen relativamente reciente ha llevado a estudios sobre bases de datos de corte transversal.

En segundo lugar, llama la atención el hecho de que en la mayoría de estudios con datos desagregados, la inclusión de la variable renta no se haga en su forma más simple, sino que se construya una variable específica que contiene esa información de ingreso a través de una aproximación.

La razón de incluir una variable de renta transformada se deriva del hecho de que la variable original ocasiona problemas de simultaneidad o endogeneidad en la ecuación de demanda eléctrica a estimar.

Este fenómeno se explica por el hecho de que un hogar con un poder adquisitivo elevado tenderá a consumir una mayor cantidad de electricidad, pero a su vez, aquellos hogares que más energía eléctrica consuman serán, probablemente, los que tengan un mejor y más abundante equipamiento en términos de electrodomésticos y, por tanto, serán aquéllos que tengan un nivel de renta más alto.

De forma intuitiva, podríamos pensar que una buena manera de solucionar este problema sería recurrir a una estimación de la ecuación de demanda a través de una técnica de variables instrumentales. Sin embargo, la falta de buenos instrumentos que aproximen el nivel de renta de los individuos,²⁶ ha llevado a que esta técnica econométrica no se haya utilizado masivamente.

En su lugar, se ha optado por sustituir la variable de renta por otra variable similar que, en la medida de lo posible, elimine el problema de endogeneidad. En este sentido muchos trabajos empíricos han sustituido la variable problemática por

²⁶ Cuando decimos que no hay buenos instrumentos que aproximen el nivel de renta de los individuos no queremos decir que no exista información sobre variables que aproximen el ingreso, sino que estas variables existen, pero están correlacionadas con los elementos no observables de la ecuación de demanda.

otra que recoja el nivel de gasto del hogar en el período analizado, neto del gasto en suministros energéticos.

Esta aproximación se ha llevado a cabo con un éxito notable en la literatura, y por ello, en la estimación de la función de demanda residencial de electricidad que llevaremos a cabo en esta investigación hemos optado por un enfoque de este tipo.

Por último, cabe señalar que la forma en que dispongamos de la información sobre la variable de renta tendrá consecuencias econométricas no desdeñables sobre el resultado de la estimación de la ecuación de demanda eléctrica residencial.

El trabajo de Hsiao y Mountain (1985) se ha preocupado de esta cuestión. En particular estos autores señalan que el uso de una variable categórica de renta puede desvirtuar los resultados obtenidos.

Los autores apuntan que en muchas encuestas socioeconómicas y demográficas, las variables continuas como la edad o la renta acostumbran a recogerse de forma categórica. Si esta variable es la dependiente de la estimación y optamos por tratar el punto medio de una categoría como si fuera el valor observado de esa variable, el sesgo que podría generarse en la estimación, si existe, es negligible.

Sin embargo, si la variable categórica se usa como variable explicativa en la regresión, surgen problemas de sesgo en la estimación de los parámetros, aunque si la relación de regresión es no lineal el problema es, probablemente, menos serio.

Para solucionar este problema, Hsiao y Mountain (1985) proponen aproximar la distribución de la renta doméstica por una función de probabilidad continua para evaluar la media condicionada de la variable y, a partir de aquí, estimar la ecuación de regresión relevante, la demanda de electricidad, en dos etapas. En la primera, se aplica un método de *pseudo* variables instrumentales, mientras que en la segunda se opta por una estimación de media condicionada. Alternativamente, se propone asignar una variable *dummy* a cada categoría de renta.

Como veremos más adelante, en nuestra estimación de la demanda residencial de electricidad, a pesar de que dispondremos de información sobre la renta como variable continua desagregaremos esta variable por tramos para obtener una estimación de la elasticidad de la renta por deciles de ingreso. Para ello, siguiendo

las indicaciones de Hsiao y Mountain (1985), asignaremos una variable *dummy* para cada categoría de renta.

3.3. Características del hogar y de los individuos

Según la teoría neoclásica del comportamiento del consumidor podemos explicar las diferencias en las conductas de los individuos haciendo que la demanda de un bien dependa no sólo de los precios y del gasto total, sino también de un conjunto de características del hogar y de los individuos, como sería el caso si las preferencias de los consumidores no fueran homotéticas.

La primera evidencia en la literatura que considera la posibilidad de incluir características de los individuos en la toma de decisiones de consumo tiene su origen en lo que se conoce como el *enfoque de Engel*, en el trabajo de este autor de 1895.

Engel observó que los hogares con menos recursos económicos tenían una participación más alta en su gasto total del consumo en alimentos, respecto a los hogares más ricos. Asimismo, Engel observó que lo mismo ocurría con los hogares grandes respecto de los pequeños, para el mismo nivel de gasto total.

Esta observación le sugirió que la participación del gasto total en alimentos, y quizás en otros bienes cuyas participaciones variaban sistemáticamente con el gasto total entre hogares, podrían utilizarse como un indicador indirecto del bienestar.

Así, dos hogares con la misma participación de gasto en alimentos en el gasto total, deberían tener el mismo nivel de renta real independientemente de las diferencias en el tamaño. De esta forma, la comparación de sus rentas monetarias, cuando exista la misma participación del gasto en alimentos, ofrecería un índice del coste de mantener a la familia más grande con respecto a la pequeña. Esto es lo que se conoce como la escala de equivalencia.

Para ver lo anterior con claridad, expresaremos la escala de equivalencia matemáticamente, según:

$$m^b = m(a^b), \quad (1.18)$$

donde m^b representa el coste mínimo de mantener un hogar b en algún nivel de bienestar, y se expresa como un múltiplo del coste mínimo de mantener algún hogar de referencia estándar en el mismo nivel de bienestar. Por su parte a^b es un vector de características del hogar b .

De entre las características más habituales, podríamos considerar el número de personas que habitan en el hogar, aunque sin hacer un recuento simple de los individuos, sino considerando el número de adultos equivalentes, donde los niños cuentan como una fracción de adulto.

A partir de este enfoque, Deaton y Muellbauer (1980a) definen la función de demanda en términos de adultos equivalentes *per capita* según:

$$\frac{q_i^b}{m(a^b)} = g_i \left(\frac{G_T^b}{m(a^b)}, p \right); \quad (1.19)$$

donde la expresión anterior especifica cómo sería la demanda de un bien cualquiera, que dependa de una variable de renta y de precios, todo ello en términos *per capita*. Aquí, la obtención de la demanda *per capita* se consigue dividiendo la función de demanda por el número de adultos equivalentes en el hogar.

A partir de este enfoque inicial tan simple, la literatura sobre la toma de decisiones de consumo en general, y de la modelización de la demanda eléctrica en particular, ha evolucionado de forma considerable.

En el caso de la demanda en general, y siguiendo un trabajo de Pollak y Wales (1981), podemos decir que las cinco formas más habituales de incorporar variables que recojan características de los individuos y del hogar en los sistemas de demanda de bienes son las siguientes: la llamada *escala demográfica* de Barten recogida en el trabajo de este autor de 1964, la *especificación de Gorman*, propuesta por este autor en 1976, la *traducción demográfica* del estudio de Pollak y Wales de 1978, el *procedimiento modificado de Prais y Houthakker*, que parte de la propuesta en que Muellbauer, en sus trabajos de 1977 y 1980, reformula el procedimiento de los dos autores anteriores de 1955 y, por último, las *economías de escala en el consumo*, que es la forma más reciente en que la literatura ha explorado formas funcionales alternativas entre las variables demográficas y los sistemas de demanda.

Todos los procedimientos anteriores no dejan de ser enfoques más o menos refinados que discurren a partir del *enfoque de Engel* original.

En el caso de la demanda de energía eléctrica se ha recurrido con mucha frecuencia a la inclusión de variables que recojan características de los individuos y del hogar en la ecuación de demanda. Estas variables, más allá del número de miembros del hogar, han considerado también la estructura familiar, la edad de los individuos, su ocupación profesional o su formación intelectual.

Por su parte, las características del propio hogar han ocupado un papel importante en la especificación de la demanda de electricidad. Al respecto podemos señalar variables como el número de habitantes del municipio en que se localiza el hogar, la naturaleza rural o urbana del entorno, las dimensiones del hogar, el número de habitaciones de la vivienda, el equipamiento en electrodomésticos del hogar o variables relacionadas con el clima.

Respecto a las variables relacionadas con el clima, en un primer momento se optó por incorporar en la ecuación de demanda las temperaturas observadas en la ubicación geográfica del hogar.²⁷ Sin embargo, rápidamente empezaron a abundar los trabajos en que, en lugar de incorporar una medida absoluta de la percepción del clima, como es la temperatura observada, se intentó captar la sensibilidad de los consumidores ante la percepción de cambios en esas temperaturas. Esta es la razón por la que se empezaron a utilizar las variables de grados día,²⁸ que miden la diferencia entre la temperatura observada en un lugar y una temperatura umbral, a partir de la cual se cree que el consumidor tiene incentivos a consumir más energía, por ejemplo encendiendo la calefacción o poniendo en marcha un aparato de aire acondicionado.

En la Tabla 1.2 se recogen las principales variables demográficas que han considerado algunas de las aportaciones empíricas más destacadas en la literatura. Mediante la observación de esta tabla podemos comprobar que los trabajos empíricos realizados con datos desagregados permiten un uso mucho más rico de variables demográficas, lo cual redundará en una obtención más precisa de los parámetros estimados.

²⁷ Hausman, Kinnucan y McFadden (1979), Buisán (1992), Fouquet (1995), Henley y Peirson (1998) y Hondroyianis (2004) son ejemplos de esta aproximación a la observación del clima.

²⁸ Roth (1981), Garbacz (1984), Taylor y Schwarz (1990), Lee y Singh (1994), Nesbakken (1999), Leth-Petersen y Togeby (2001), Zarnikau (2003) y Reiss y White (2005a), son algunos ejemplos de este segundo enfoque.

Tabla 1.2

Evidencia empírica de la especificación de variables demográficas en la estimación de la demanda eléctrica residencial

Trabajo	Variables demográficas utilizadas	Horizonte temporal	Ámbito Geográfico
Datos Agregados			
Houthakker (1951a)	Tenencia media de grandes electrodomésticos, población regional	CT: 1937, 1938	R.U.
Fisher y Kaysen (1962)	Número de matrimonios, población regional, stock de electrodomésticos por hogar.	ST: 1946-1957	EE.UU
Fuss <i>et al.</i> (1977)	<i>Dummies</i> regionales, proporción de viviendas unifamiliares sobre el total.	ST: 1960-1971	Provincias Canadá
Shin (1985)	Variables de temperatura (grados día).	ST: 1960-1980	Ohio
Buisán (1992)	Temperatura máxima registrada por período.	ST: 1977-1983	España
Fouquet (1995)	Temperatura exterior media.	ST: 1974-1994	Inglaterra y Gales
Hondroyannis (2004)	Temperatura media mensual ponderada por la población.	ST: 1986-1999	Grecia
Kamerschen y Porter (2004)	Temperaturas (grados día), tamaño medio del hogar	ST: 1973-1998	EE.UU
Benavente <i>et al.</i> (2005)	Población regional.	ST: 1995-2001	Chile

Tabla 1.2 (Continuación)

Datos Desagregados

Barnes <i>et al.</i> (1981)	<i>Dummies</i> electrodomésticos, nº habitaciones, grados día, hogares con miembros >65 años, nº miembros hogar, empleados tiempo completo, hogar con múltiples empleados, <i>dummies</i> regionales.	ST: 1972-1973	EE.UU.
Dubin y McFadden (1984)	Nº miembros hogar, nº habitaciones, hogar en propiedad/alquiler.	CT: 1975	EE.UU.
Baker <i>et al.</i> (1989)	Tamaño del hogar, presencia de hijos, <i>dummies</i> por tramos de edad, ubicación geográfica, temperatura, posesión de algunos electrodomésticos, nº habitaciones.	ST: 1972-1983	R.U.
Baker y Blundell (1991)	<i>Dummies</i> regionales, grados día, edad, edad al cuadrado, <i>dummy</i> cohorte edad, nº habitaciones, hogar en propiedad/alquiler, hijos < 5 años, <i>dummies</i> propiedad lavadora, frigorífico, calefacción central, <i>dummy</i> época del año, nº habitaciones.	ST: 1972-1978	R.U.
Branch (1993)	Nº habitaciones, edad cabeza familia, tamaño hogar, <i>dummies</i> sexo y raza, estado civil cabeza familia, miembros >65 años, niños <6 años, <i>dummies</i> regionales, propiedad calefacción y refrigeración y su interacción con grados día, <i>dummies</i> resto de electrodomésticos.	CT: 1985	EE.UU.
Filippini (1995)	Nº miembros hogar, presencia de niños, <i>dummies</i> regionales, <i>dummies</i> tenencia de electrodomésticos, grados día.	CT: 1991	Ciudades suizas.
Matsukawa (2001)	m ² del hogar, nº de miembros del hogar, nivel de formación del cabeza de familia, <i>dummies</i> tenencia de electrodomésticos.	CT: 1993	Japón.
Halvorsen y Larsen (2001)	Grados día, <i>dummies</i> tenencia electrodomésticos, nº miembros hogar, edad, presencia de niños en el hogar.	ST: 1975-1994	Noruega
Leth-Petersen (2002)	m ² hogar, edad, edad al cuadrado, <i>dummies</i> de hijos de diferentes edades, <i>dummy</i> casa de dos plantas, <i>dummy</i> casa apareada.	CT: 1996	Copenhague
Reiss y White (2005a)	<i>Dummies</i> tenencia electrodomésticos, estructura del hogar por miembros, grados día, <i>dummies</i> regionales.	CT: 1993, 1997	California

ST: serie temporal, CT: corte transversal, EE.UU.: Estados Unidos, R.U.: Reino Unido

Fuente: Elaboración propia.

En este contexto, la estimación de la función de demanda eléctrica residencial en España, que realizaremos más adelante en esta investigación, toma como guía las especificaciones de los trabajos anteriores, incorporando variables de características de los individuos y del hogar como las señaladas. Por ello, nuestra hipótesis de trabajo es que el uso de estas variables de características permite la obtención de una estimación más precisa de los parámetros de la función de demanda, en línea con la evidencia empírica de la literatura previa.

4. Conclusiones

En este capítulo hemos descrito el fundamento microeconómico que subyace a la obtención de la función de demanda eléctrica residencial, hemos derivado analíticamente esta función para el corto plazo en el caso de España y hemos discutido sus determinantes fundamentales, poniendo nuestros resultados en el contexto de las especificaciones empíricas adoptadas por la literatura en las últimas décadas.

En este sentido podemos decir que la especificación de la función de demanda doméstica de electricidad que proponemos satisface las condiciones impuestas por la teoría neoclásica del comportamiento del consumidor. Los supuestos sobre la separabilidad de las preferencias y su naturaleza no homotética que hemos incorporado no nos parecen excesivamente restrictivos. En efecto, estos supuestos están en la línea del enfoque adoptado en la literatura internacional y redundan en una especificación satisfactoria de la función de demanda.

Además, la derivación analítica de esta especificación empírica de la demanda doméstica de electricidad es una contribución a la literatura existente, puesto que no conocemos ningún otro trabajo que haya derivado explícitamente una función de demanda de este tipo para el caso español. Asimismo, si bien en el ámbito internacional se han derivado funciones genéricas de este tipo, no se ha incorporado el detalle de la estructura tarifaria eléctrica en esta derivación, ni se ha obtenido una expresión explícita de la ecuación para el ámbito geográfico y el contexto histórico analizado.

En nuestro caso, la obtención de la expresión concreta de la función de demanda eléctrica residencial nos ha permitido discutir los determinantes de esta forma funcional. A partir de aquí hemos formulado las hipótesis que serán objeto de un contraste empírico posterior. En particular, que los factores que

influyen sobre esta ecuación, y que por tanto definen el comportamiento de los individuos son: el nivel de renta del consumidor, una serie de características de los individuos y del hogar y, por último, una expresión del precio de la electricidad que combinará elementos del precio medio y del precio marginal, tal y como argumenta la literatura internacional.

Las características personales y de la vivienda contribuyen a una estimación más precisa de los parámetros de la función de demanda y tienen un papel relevante a la hora de enriquecer el análisis y los resultados de la estimación. Esta riqueza de análisis se ve incrementada en el caso de que podamos llevar a cabo un estudio con microdatos, en lugar de optar por una estimación a partir de datos agregados.

Por su parte, en consonancia con la evidencia empírica existente, corroboramos que existe una correlación positiva entre el nivel de renta de los consumidores y su consumo de electricidad. Sin embargo, deberemos estar atentos en la estimación empírica a la hora de abordar los posibles problemas de simultaneidad que la variable de renta pueda ocasionar sobre la consistencia de la estimación de los parámetros correspondientes.

Por último, hemos abordado la influencia de la estructura tarifaria española sobre el consumo doméstico de electricidad. Al respecto concluimos que tanto el precio medio como el precio marginal tendrán un efecto relevante sobre el consumo eléctrico, en la línea de trabajos pioneros sobre esta cuestión, como los de Houthakker (1951a) y Taylor (1975), por citar sólo dos de los ejemplos más destacados.

Sin embargo, el hecho de que en España exista una estructura tarifaria en dos partes impone que no exista variabilidad entre individuos en términos de precios marginales, pues este precio es uniforme para todos los consumidores, independientemente de la cantidad de electricidad consumida.

Dado lo anterior, hemos demostrado que el precio medio será una buena medida de la sensibilidad de los consumidores a la estructura de tarifas en España. Más adelante abordaremos la construcción empírica de esta variable a partir de la base de microdatos de que dispondremos, así como el tratamiento de los problemas de endogeneidad que surgirán de su incorporación en la especificación empírica de la ecuación de demanda eléctrica residencial.

Una vez descrito el fundamento microeconómico de la demanda doméstica de electricidad y habiendo obtenido su expresión funcional y discutido sus determinantes, en el siguiente capítulo se repasarán los modelos que se han propuesto en la literatura para abordar la estimación de esta función de demanda, así como los principales resultados, en términos de elasticidades precio y renta, a nivel internacional.

Capítulo 2

**Revisión de los modelos y
resultados empíricos sobre
la demanda doméstica de
electricidad**

1. Introducción

En este capítulo pretendemos ofrecer una panorámica de las aproximaciones analíticas de las que se ha servido la literatura, en el marco de la teoría neoclásica del comportamiento del consumidor, para estimar la función de demanda doméstica de electricidad.

Asimismo repasaremos los principales resultados, en términos de elasticidades precio y renta, que se han obtenido en los trabajos empíricos realizados a lo largo de las últimas décadas.

El objetivo de este capítulo es, por tanto, revisar en detalle la literatura para establecer un marco de referencia, tanto teórico como empírico de nuestra investigación.

Es importante señalar que la revisión de los resultados de la literatura que realizaremos a continuación se referirá a mercados eléctricos con modelos tarifarios que podríamos denominar tradicionales. Básicamente revisaremos estudios en que la tarifa eléctrica adopta una forma en dos partes o en bloques.

Estas tarifas han sido las más utilizadas desde que empezó a suministrarse la energía eléctrica y su uso se ha extendido hasta la actualidad en países como el Reino Unido, Chile, algunos estados de Estados Unidos o la propia España.

Sin embargo, la corriente liberalizadora de los mercados eléctricos a nivel internacional en los últimos años ha llevado a que se haya planteado la posibilidad de utilizar regímenes tarifarios alternativos a estos dos tipos tradicionales. No obstante, dado que estas alternativas no se han implementado masivamente en la actualidad y a que la literatura entorno a estas cuestiones está centrada, todavía, en los programas tarifarios tradicionales, dejaremos estas nuevas formas tarifarias para el capítulo 4, donde las discutiremos y valoraremos las ventajas e inconvenientes de su aplicación.

Por otro lado, el hecho de que el cuerpo teórico de la literatura haya tenido un desarrollo común, independientemente del modelo tarifario adoptado, permite que podamos revisar la literatura teórica sin tener que distinguir por el programa de precios que se aplica sobre la electricidad residencial.

Dado lo anterior, el presente capítulo se divide en dos partes bien diferenciadas. En la primera, que se corresponde con la sección 2, abordaremos los dos tipos de modelos principales que se han utilizado para estimar la función de demanda residencial de electricidad. El criterio que distingue a ambos tipos de modelos es la consideración de un horizonte de corto o de largo plazo.

En este sentido, revisaremos las características principales de cada uno de estos dos modelos a partir de las contribuciones seminales a los mismos, junto con la evolución en el tiempo que han experimentado ambas propuestas y las mejoras metodológicas y conceptuales que han ido apareciendo en la literatura.

Por otro lado, en la segunda parte del capítulo, que se corresponde con la sección 3, revisaremos los principales resultados empíricos que se han obtenido en la literatura a la hora de estimar la demanda residencial de electricidad. En esta sección valoraremos y discutiremos la magnitud de las elasticidades precio y renta estimadas en los trabajos empíricos más importantes de las últimas décadas. Aquí distinguiremos de nuevo los resultados empíricos obtenidos a partir de un enfoque de corto plazo, de aquéllos otros estimados a partir de una aproximación de largo plazo.

Por último, la sección 4 recoge las principales conclusiones obtenidas en este capítulo.

2. Revisión de los modelos que estiman el comportamiento de los consumidores residenciales de electricidad

En esta sección abordaremos los modelos que se han utilizado para describir el comportamiento de los consumidores residenciales de electricidad, centrándonos en las principales aportaciones teóricas que han mejorado la estimación de su función de demanda. En este sentido pondremos el énfasis en la contribución de cada modelo a una estimación más precisa de la demanda eléctrica residencial y no tanto en las mejoras estrictamente relacionadas con la estimación econométrica de las funciones de demanda en general.¹

¹ Los avances econométricos más relevantes en este campo pueden consultarse en detalle en: Fisher y Kaysen (1962) para los modelos de ajuste parcial; Pollak (1972) para la formalización del supuesto de separabilidad aditiva generalizada; Feldstein (1972) y Leland y Meyer (1976) para aspectos relacionados con la maximización del bienestar de los consumidores bajo sistemas tarifarios eléctricos alternativos; McFadden (1974) para el desarrollo del modelo de elección *logit multinomial*; Auerbach y Pellechio (1978) para los modelos de simulación; Heckman (1979) y

Teniendo en cuenta lo anterior, cabe decir que la descripción del comportamiento del consumidor pasa por estimar su función de demanda eléctrica y calcular las elasticidades precio y renta correspondientes. Para ello, la literatura empírica se ha servido de distintos modelos, que se diferencian entre sí, atendiendo a los criterios metodológicos empleados en el análisis. El criterio fundamental radica en la distinción entre el corto y el largo plazo.

Tal y como señalamos anteriormente esta distinción se basa en si consideramos que el stock de electrodomésticos del hogar es fijo o bien se permite que varíe. A partir de aquí, las subsecciones siguientes de este apartado recogen la tipología de modelos más utilizados atendiendo a este criterio básico.

2.1. La distinción entre el corto y el largo plazo

Desde el análisis de Fisher y Kaysen (1962) de los stocks de electrodomésticos y el consumo de electricidad en Estados Unidos, la literatura económica ha reconocido que la demanda de un insumo energético dado (FE)² depende, en primer lugar, del stock de equipo duradero que consume ese suministro (S), así como de la eficiencia con que se utiliza ese insumo (e) y, finalmente, de la tasa de uso (u) del propio equipo de capital, tal que:

$$FE = \left(\frac{S}{e}\right) \cdot u. \quad (2.1)$$

Según Griffin (1993), para un stock de capital dado, la eficiencia en la transformación del suministro energético en el servicio final que se demanda está

Aigner y Ghali (1989) para los problemas relacionados con los modelos de autoselección; Deaton y Muellbauer (1980b) y Filippini (1995) y Matsukawa (2001) para el desarrollo y aplicación, respectivamente, de los modelos *Almost Ideal Demand System*; Caves y Christensen (1980a) y Caves, Christensen y Herriges (1984, 1987) para una comparación de las funciones de *Leontief*, *Translog* y *CES* como especificaciones de las funciones de utilidad del consumidor; Hanemann (1984) para avances en los modelos de exclusividad mutua, sustitutos perfectos y *cross product repackaging*; Dubin, Miedema y Chandran (1986) para estimaciones por el método de las regresiones aparentemente no relacionadas (*Seemingly Unrelated Regression*); Herriges y Kuester (1994) para la derivación de un estimador de máxima verosimilitud estructural; y Lee y Singh (1994) y Leth-Petersen (2002) para una aplicación de las técnicas no paramétricas sobre datos de consumo energético.

² Estas siglas se toman de la terminología anglosajona utilizada por Fisher y Kaysen (1962) y se refieren al gasto en combustible o *fuel expenditure*.

fijada por consideraciones técnicas.³ Por tanto, en el corto plazo, la variable de decisión relevante que afecta al consumo de energía es la utilización del capital.

Por el contrario, los efectos de sustitución entre suministros ocurren sólo en el largo plazo con la introducción de nuevo stock de capital. Por ejemplo, la elección entre la electricidad o el gas natural como energía de calefacción doméstica depende de la elección del equipo de capital a utilizar. Una vez tomada esta decisión, las familias sólo pueden modificar el grado de utilización del equipo de calefacción elegido.

Sin embargo, a pesar del aparente atractivo y simplicidad de la idea anterior, la mayoría de modelos de demanda de energía hicieron un uso escaso de este enfoque hasta finales de la década de 1970. La razón de la poca atención que se prestó a esta metodología puede estar, en parte, en la falta de datos apropiados sobre el stock de capital y, en parte, en las dificultades relacionadas con la especificación de los modelos de elección discreta y su técnica de estimación.

Afortunadamente, McFadden (1974), McFadden, Kirshner y Puig (1977) y Dubin y McFadden (1984) pusieron remedio a muchas de las dificultades metodológicas de este enfoque. Estos autores propusieron un modelo para describir la elección de electrodomésticos como una elección discreta, dentro del paradigma de la maximización de la utilidad.

Por naturaleza, la elección de un tipo de electrodoméstico, como la calefacción de gas natural en lugar de la calefacción eléctrica, es un problema de elección discreta. Por eso, en lugar de adoptar el enfoque tradicional de observar la cantidad consumida de un bien, debemos centrarnos en la probabilidad de elegir un tipo concreto de electrodoméstico. Dada la naturaleza acotada de las probabilidades, los modelos de regresión lineal simple no son aplicables en este caso. En consecuencia, la literatura de la demanda energética ha adoptado en su lugar la forma funcional *logit multinomial*.

De hecho, las contribuciones más destacadas en este campo, que como se ha mencionado son las de McFadden (1974), McFadden, Kirshner y Puig (1977) y Dubin y McFadden (1984), han sido tanto a nivel teórico como empírico. En

³ Cabe recordar aquí que la demanda de electricidad es una demanda derivada, puesto que el uso de electricidad no reporta utilidad en si mismo, sino que son los servicios que se obtienen de los electrodomésticos que usan electricidad los que ofrecen un nivel de utilidad determinado.

primer lugar, porque estos autores han formalizado la elección discreta como si ésta siguiera un proceso aleatorio de maximización de la utilidad, en que los consumidores intentan maximizar su función de utilidad eligiendo entre carteras alternativas de electrodomésticos. En segundo lugar, Dubin y McFadden (1984) proponen un modelo que recoge la decisión de elegir entre aparatos electrodomésticos y la decisión sobre su grado de uso de forma simultánea, lo cual permite una estimación econométrica no sesgada.⁴

Por tanto, debemos entender que la distinción entre el corto y el largo plazo se basa, esencialmente, en si tratamos de aportar evidencia sobre una decisión continua de consumo (el consumidor decide qué cantidad de un bien consumir, dado un stock de capital) o bien si aportamos evidencia sobre una decisión discreta y continua conjuntamente, es decir, sobre la decisión que toma el individuo respecto a qué insumo energético elegir para producir un servicio doméstico y, simultánea o consecutivamente a esta decisión, elegir qué cantidad producir de este servicio.

En este contexto, en las dos secciones siguientes abordaremos el detalle de este tipo de modelos y sus contribuciones teóricas y empíricas más importantes.

2.1.1. Modelos de corto plazo: un problema de elección continua

Los estudios clásicos que proponen modelos para explicar el consumo de electricidad con datos agregados, dado un stock de electrodomésticos concreto, son el de Houthakker (1951a), Fisher y Kaysen (1962), Houthakker y Taylor (1970) y Parti y Parti (1980). En estudios más recientes, la disponibilidad de datos desagregados ha llevado al análisis de la demanda de corto plazo con observaciones de hogares individuales. Algunos ejemplos destacados de estas nuevas aplicaciones son Hsiao y Mountain (1985), Baker, Blundell y Micklewright (1989), Baker (1992), Leth-Petersen (2002) y Halvorsen, Larsen y Nesbakken (2003).

El planteamiento que caracteriza a todos estos trabajos consiste en derivar una función de demanda eléctrica condicionada, donde la restricción está en considerar que el equipo de bienes blancos es fijo.⁵

⁴ Griffin (1993).

⁵ El stock de electrodomésticos de un hogar recibe la denominación de bienes blancos en el trabajo pionero de Fisher y Kaysen (1962) e incluye tanto electrodomésticos “mayores”

Los distintos aparatos que componen el stock de bienes blancos tienen propiedades distintas, puesto que se diferencian respecto al grado en que un hogar particular desea o puede variar la intensidad de su uso en respuesta a varios estímulos, como un cambio en las condiciones climáticas o en los precios que se aplican al consumo eléctrico.⁶

De manera formal, y siguiendo a Fisher y Kaysen (1962), denominaremos $i = 1, \dots, n$ a los distintos tipos de bienes blancos, W_{it} al stock medio del bien blanco i -ésimo para un conjunto de hogares durante el período t . Asimismo, D_t será el uso de electricidad total medido en kwh del conjunto de hogares analizados durante el período t . Finalmente entenderemos que T es el número total de períodos analizados. Entonces:

$$D_t = \sum_{i=1}^n k_{it} \cdot W_{it}, \text{ para } \forall t = 1, \dots, T; \quad (2.2)$$

donde k_{it} son los parámetros que representan la intensidad de uso de W_{it} durante el período t -ésimo. Según la discusión previa podemos pensar que k_{it} no serán, en general, iguales para los distintos bienes blancos y su valor dependerá de los estímulos económicos externos.

A partir de la teoría del comportamiento del consumidor, Fisher y Kaysen (1962) apuntaron que deberíamos esperar que estos estímulos fueran la renta personal del conjunto de individuos, el precio de la electricidad al que se enfrentaban los hogares analizados y el precio de todos los insumos energéticos sustitutos de la electricidad que fueran susceptibles de uso por parte de los bienes blancos. Sin embargo, en la medida en que los stocks de electrodomésticos se suponen fijos en el corto plazo, el precio del gas, que puede pensarse que es el principal sustituto de la electricidad como fuente energética en el hogar, no debería influir sobre el comportamiento de los individuos.

De forma análoga, dado que la propiedad de stocks fijos de bienes blancos supone habitualmente costes hundidos considerables, la influencia de los precios

(lavadoras, fogones eléctricos, frigoríficos o congeladores), como electrodomésticos “menores” (ventiladores eléctricos, aparatos de televisión, maquinillas de afeitarse e incluso bombillas). De esta definición se excluyen aparatos que no usen electricidad (como cocinas o calderas de gas).

⁶ Así, por ejemplo, el frigorífico ofrece a las familias un margen de maniobra en su uso muy pequeño, mientras que, en el extremo opuesto, los aparatos de televisión tienen un uso muy flexible.

de sustitutos no energéticos, como los precios cobrados por una lavandería, debería ser bastante baja en el corto plazo.

A partir de aquí, siendo p_t e Y_t el precio medio de la electricidad por *kwh* para los hogares analizados y su renta personal *per capita*, respectivamente, y expresando a ambos en términos reales, tenemos que:

$$k_{it} = F^i(p_t, Y_t), \quad \text{para } \forall i = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T; \quad (2.3)$$

donde las funciones F^i no tienen por qué ser iguales entre hogares o, incluso, adoptar la misma expresión funcional. Sin embargo, Fisher y Kaysen (1962) argumentan que al objeto de simplificar el procedimiento de estimación, puede resultar conveniente que estas funciones adopten la misma forma funcional, por ejemplo de tipo *Cobb-Douglas* tal que:

$$k_{it} = A_i \cdot p_t^{\alpha_i} \cdot Y_t^{\beta_i}, \quad \text{para } \forall i = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T; \quad (2.4)$$

donde A_i , α_i y β_i son todos parámetros. En particular α_i y β_i son las elasticidades de intensidad de uso de un stock dado *i-ésimo* de bienes blancos con respecto al precio de la electricidad y a la renta *per capita*, respectivamente.

Para integrar las funciones anteriores en la ecuación de demanda de electricidad (2.2), supongamos que γ_i son los *kwh* consumidos por una unidad del bien blanco *i-ésimo* en una hora de uso normal. Estos parámetros se suponen dados por el estándar tecnológico de cada aparato.⁷ Si establecemos que $B_i = A_i/\gamma_i$, podemos rescribir (2.4) como:

$$k_{it} = B_i \cdot p_t^{\alpha_i} \cdot Y_t^{\beta_i} \cdot \gamma_i, \quad \text{para } \forall i = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T. \quad (2.5)$$

De aquí, podemos expresar la ecuación (2.2) como:

$$D_t = \sum_{i=1}^n B_i \cdot p_t^{\alpha_i} \cdot Y_t^{\beta_i} \cdot \gamma_i \cdot W_{it}, \quad \text{para } \forall i = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T. \quad (2.6)$$

⁷ Como veremos en la siguiente sección, hay un tipo de modelos, los modelos de carga térmica, que no hacen este supuesto, sino que calculan analíticamente en función de una serie de variables de ingeniería, el valor exacto de esos parámetros de uso. Dubin (1985) es el trabajo pionero que desarrolla un modelo de este tipo.

Fisher y Kaysen (1962) establecen que una unidad del bien blanco *i*-ésimo es aquella cantidad de bien blanco que consume un *kwh* en una hora de uso normal.⁸ En otras palabras, los autores miden todos los bienes blancos en unidades de *kwh* por hora de uso normal. Así, fijando todas las γ_i en la unidad y eliminándolas de (2.5) y (2.6) obtenemos:

$$k_{it} = B_i \cdot P_t^{\alpha_i} \cdot Y_t^{\beta_i}, \text{ para } \forall i = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T, \text{ y} \quad (2.7)$$

$$D_t = \sum_{i=1}^n B_i \cdot P_t^{\alpha_i} \cdot Y_t^{\beta_i} \cdot W_{it}, \text{ para } \forall i = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T. \quad (2.8)$$

Sean ahora \bar{P} e \bar{Y} las medias aritméticas de las variables correspondientes. De esta forma podemos escribir:

$$C_i = B_i \cdot \bar{P}^{\alpha_i} \cdot \bar{Y}^{\beta_i}, \text{ para } \forall i = 1, \dots, n. \quad (2.9)$$

Si sustituimos (2.9) en (2.7) y (2.8) obtendremos las siguientes expresiones:

$$k_{it} = C_i \left(\frac{P_t}{\bar{P}} \right)^{\alpha_i} \cdot \left(\frac{Y_t}{\bar{Y}} \right)^{\beta_i}, \text{ para } \forall i = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T; \text{ y} \quad (2.10)$$

$$D_t = \sum_{i=1}^n C_i \left(\frac{P_t}{\bar{P}} \right)^{\alpha_i} \cdot \left(\frac{Y_t}{\bar{Y}} \right)^{\beta_i} \cdot W_{it}, \text{ para } \forall i = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T.^9 \quad (2.11)$$

En este punto podemos discutir la ecuación que representa a la función de demanda (2.11) y la ecuación asociada a ésta (2.10). En el caso en que $P_t = \bar{P}$ e $Y_t = \bar{Y}$, entonces C_i coincide con k_{it} . Puesto que W_{it} se mide en *kwh* por hora de uso normal, C_i puede interpretarse como el número de horas de uso normal que un grupo de hogares utiliza cada unidad del tipo de bien blanco *i*-ésimo durante un período de tiempo, cuando el precio de la electricidad y el nivel de renta de los hogares son iguales a sus respectivas medias. En ese caso, C_i es aproximadamente igual al número medio de horas por período de tiempo que una unidad del tipo *i*-ésimo del bien blanco está en uso normal.

⁸ El hecho que una unidad física de ese bien blanco con un consumo exactamente como el establecido no exista es irrelevante para el propósito de especificación del modelo.

⁹ Esta última transformación se utiliza para medir Y_t y P_t como múltiplos de sus respectivas medias y no supone realizar ningún supuesto sustantivo.

Dado lo anterior, (2.10) nos dice que el número de horas en que una unidad del tipo *i*-ésimo de bien blanco está en uso normal durante el período de tiempo *t*-ésimo, es igual a algún valor medio por una función del porcentaje que representan el precio de la electricidad y la renta *per capita* de sus respectivas medias.

Sin embargo, la ecuación (2.11) no es interesante a la hora de hacer un análisis general de la demanda de electricidad. Esto es así porque nuestro interés debería centrarse en saber algo sobre las elasticidades de la demanda eléctrica residencial total por grupos de hogares, y no algo sobre las elasticidades de la demanda de electricidad de un grupo de hogares sobre el uso de tipos particulares de bienes blancos.¹⁰

Lo anterior hace que Fisher y Kaysen (1962) aproximen la ecuación (2.11) a través de la siguiente expresión:

$$D_t = C \cdot \left(\frac{P_t}{P}\right)^\alpha \cdot \left(\frac{Y_t}{Y}\right)^\beta \sum_{i=1}^n W_{it}, \text{ para } \forall i = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T. \quad (2.12)$$

La estimación de la ecuación (2.12) de manera factible depende de que exista una composición constante del stock de electrodomésticos a lo largo del tiempo. Por lo tanto, (2.12) debe considerarse una función de corto plazo.

Finalmente cabe decir que, incluso si los parámetros básicos C_i , α_i y β_i , son los mismos para dos grupos de hogares, la estimación de los parámetros C , α y β no será la misma, si los grupos de hogares difieren respecto a la composición de sus respectivos stocks de electrodomésticos.

De hecho, podemos predecir cualitativamente la manera en que diferirán las estimaciones de α y β . En este sentido, un grupo de hogares cuyo stock de bienes blancos esté sesgado hacia ítems estándar como la iluminación o los frigoríficos, es decir, equipos cuyo uso no ofrece demasiado margen de maniobra, tendrá estimaciones (absolutas) de α y β más pequeñas que un grupo de hogares cuyo stock de bienes blancos contenga, proporcionalmente, más ítems que ofrezcan un mayor margen de maniobra en el consumo, como los aparatos de televisión.¹¹

¹⁰ Sin embargo, podríamos inferir la elasticidad total a partir de las elasticidades individuales.

¹¹ Es decir, que las elasticidades de intensidad de uso serán más altas cuando se tengan bienes que permiten un uso más modular en el tiempo.

Hasta aquí hemos visto como Fisher y Kaysen (1962) establecen las bases de un modelo que se ha venido utilizando hasta nuestros días a la hora de caracterizar el comportamiento del consumo residencial en el corto plazo sobre datos agregados. El paso a la estimación con datos individuales por hogar es una generalización de lo anterior. El trabajo de McFadden, Kirshner y Puig (1977) se ocupa de la especificación de este modelo ampliando su contenido a los datos desagregados. La generalización consiste en trasladar la unidad de observación al hogar, en lugar de a los grupos de hogares y expresar las magnitudes de precio de la electricidad y renta no en términos agregados, sino en términos individuales.^{12 13}

Sin embargo, un modelo como el desarrollado en esta sección no sólo requiere de una cantidad ingente de datos que complican todo el proceso de estimación y de identificación de las ecuaciones implicadas, sino que en muchas ocasiones esos datos no están disponibles.

El problema radica en que Fisher y Kaysen (1962) idearon un modelo en que la demanda de electricidad para un conjunto de hogares (y en su defecto para un hogar individual) se expresa como la suma de demandas de electricidad de cada uno de los electrodomésticos en el hogar. Este requisito implica que deberíamos conocer el consumo de electricidad desagregado por aparatos y el estándar técnico de consumo de cada uno de ellos.

En la actualidad son muy pocos los países que ofrecen datos de este tipo, con la excepción de Estados Unidos, puesto que una necesidad empírica como la planteada implica, o bien que existen aparatos de medición en los hogares que registran el consumo de cada electrodoméstico a nivel individual en el hogar, o bien son las propias empresas suministradoras de energía eléctrica las que realizan proyecciones del consumo de cada electrodoméstico en el hogar en función de una serie de especificaciones técnicas y de características de los individuos.¹⁴

¹² El trabajo de Reiss y White (2005a) es una de las aplicaciones empíricas más completas de una formulación teórica como la de McFadden, Kirshner y Puig (1977).

¹³ El trabajo de McFadden, Kirshner y Puig (1977) tiene la virtud de mejorar la especificación de la función de demanda eléctrica, no sólo en lo que respecta al uso de datos desagregados, sino de conseguir la especificación idónea del precio cuando los consumidores se enfrentan a un programa tarifario en bloques decrecientes.

¹⁴ En España hubo un ambicioso proyecto de investigación durante la década de 1980, encabezado por Red Eléctrica de España y conocido como proyecto INDEL, que instaló contadores individuales de consumo por aparato en una muestra amplia de hogares y desarrolló un software específico para trabajar la información obtenida. Sin embargo, estos datos no han

La literatura ha tratado de solventar el problema de la falta de información estimando las tasas de uso medio por tipo de electrodoméstico, o bien considerando que la variable a explicar de la demanda de electricidad residencial viene dada por el consumo total de energía eléctrica de un hogar en un período concreto. La diferencia con respecto al enfoque original de Fisher y Kaysen (1962) o el de McFadden, Kirshner y Puig (1977) es que esa demanda total no se expresará como el sumatorio de las demandas de cada electrodoméstico, sino como la demanda total de todos ellos, sin distinguir por cada uso. Adicionalmente, las variables explicativas serán el precio de la electricidad, el nivel de renta individual y un conjunto de características de los individuos y del hogar.

En este caso, el hecho de que la demanda eléctrica analizada sea de corto plazo, se explicita considerando en las características de los hogares el stock de electrodomésticos de cada vivienda como un dato exógeno, sin posibilidad de que este stock varíe.

Un enfoque de este tipo es el que se ha acabado utilizando para estimar la demanda eléctrica residencial de corto plazo en España en esta investigación. De esta forma compatibilizamos la expresión de la función de demanda doméstica de electricidad con dos enfoques teóricos, a saber: el que dictaría la teoría neoclásica del comportamiento del consumidor, donde los individuos derivan su función de demanda de electricidad a partir de la maximización de una función de utilidad sujeta a una restricción presupuestaria, con el modelo que dictaría la modelización de la demanda de electricidad de corto plazo. Sin embargo, en nuestro caso, en lugar de especificar esa demanda como la suma de los consumos de cada aparato electrodoméstico en el hogar, el consumo total de electricidad se explica por un conjunto de variables exógenas, entre las que se encuentra el stock de electrodomésticos del hogar, que se considera fijo.

De hecho, en la literatura podemos encontrar ejemplos, tanto que siguen estrictamente la metodología de Fisher y Kaysen (1962) y McFadden, Kirshner y Puig (1977), como trabajos de corto plazo ligeramente modificados respecto al enfoque original.

En este sentido podemos citar el trabajo de Acton, Mitchell y Mowill (1976) que sigue estrictamente la metodología de Fisher y Kaysen (1962) y estima la demanda

llegado a estar a disposición pública y el proyecto se paralizó en 1988, de forma que no podemos disponer de estos datos actualizados.

residencial de electricidad en el condado de Los Ángeles con datos agregados; el de Parti y Parti (1980) que utilizando datos desagregados también parte de la idea de que la demanda total de electricidad de un hogar es la suma de las demandas de cada aparato electrodoméstico. Sin embargo, como en este estudio no se cuenta con los datos reales de consumo de cada aparato, éstos se estiman a través de una regresión, donde el consumo medio de cada electrodoméstico depende de un conjunto de variables económicas y demográficas del hogar. Una vez obtenidas estas estimaciones, los parámetros estimados se introducen en la ecuación de demanda de electricidad principal y de ella se obtienen las elasticidades precio y renta a través del método de variables instrumentales.

Por su parte, Barnes, Gillingham y Hagemann (1981) siguen el enfoque de Fisher y Kaysen (1962) para especificar la función de demanda de electricidad, y el de Taylor (1975), para medir adecuadamente el precio de la electricidad a la hora de estimar las elasticidades precio y renta de la demanda doméstica de electricidad en Estados Unidos; Hsiao y Mountain (1985) combinan la aproximación de Fisher y Kaysen (1962) y la de McFadden, Kirshner y Puig (1977) para estimar la elasticidad renta de la demanda eléctrica en la provincia de Ontario, Canadá.

Halvorsen, Larsen y Nesbakken (2003) derivan la función de demanda eléctrica residencial según un programa de maximización restringida de la utilidad de los individuos, aunque en este caso la ecuación resultante está condicionada no sólo por la presencia de un stock de electrodomésticos fijo, sino también por la demanda que se haga de otros insumos energéticos. En este caso, la demanda de electricidad no se expresa como la suma de la demanda de los electrodomésticos del hogar, sino sólo condicionada a ellos. En esta línea también están los trabajos de Baker, Blundell y Micklewright (1989), Baker (1992) y Branch (1993).

Por su parte, Reiss y White (2005a) calculan las elasticidades precio y renta del consumo eléctrico y predicen el comportamiento de los consumidores en escenarios tarifarios alternativos en el corto plazo, superando los problemas econométricos causados por la presencia de tarifas no lineales, la heterogeneidad en las sensibilidades al precio de los hogares y la agregación de los datos.

Para ello, estos autores estiman la ecuación de demanda de electricidad residencial como una agregación del consumo de cada electrodoméstico poseído por el hogar. La novedad aquí es que utilizan un estimador del método generalizado de los momentos.

Los datos utilizados son microdatos anuales del estado de California entre 1993 y 1997 de un corte transversal en cada período anual, con características individuales del hogar y del equipamiento en electrodomésticos en cada vivienda.

El trabajo consigue un buen ajuste del modelo respecto a estudios anteriores en cuanto al cálculo de las elasticidades de demanda y a su capacidad de predicción. En términos económicos el trabajo aporta evidencia sobre la regresividad que supone la aplicación de un nuevo modelo tarifario con cinco tramos de consumo crecientes, en lugar de sólo dos (que describe a la situación de partida), aunque esta regresividad es menor a la que habría supuesto un aumento uniforme del precio.¹⁵

En cualquier caso, y dada la evidencia anterior, podemos concluir que el análisis de corto plazo es una buena metodología para caracterizar el comportamiento de los consumidores cuando se enfrentan a variaciones en el precio de la electricidad o en su nivel de renta. Este análisis nos permite observar cómo los individuos ajustan su nivel de consumo a través de variaciones de la intensidad de uso de su stock de capital, sin que el propio equipo de bienes duraderos varíe.

Sin embargo, las elasticidades precio y renta obtenidas en el análisis de corto plazo son una parte de la caracterización de las acciones de los consumidores. El análisis debe completarse con la obtención de elasticidades precio y renta de largo plazo. Los modelos que aproximan este comportamiento son los que veremos a continuación en la siguiente sección.

2.1.2. Modelos de elección discreta continua

En la demanda de algunos bienes los individuos se enfrentan a menudo con la situación de tomar decisiones sobre dos cuestiones interrelacionadas. Siguiendo a Train (1986) podemos decir que, si en cada elección el sujeto se enfrenta a un conjunto finito y exhaustivo de alternativas mutuamente excluyentes, se podrán aplicar los modelos de elección cualitativa para describir las dos decisiones. En este caso todo lo que se necesita es que el conjunto de elección se defina de forma apropiada.

¹⁵ En este trabajo se entiende que la regresividad propiciada por una tarifa en cinco bloques es consecuencia del hecho de que a lo largo de cada bloque el gasto en electricidad crece en una proporción mayor de lo que lo hace el nivel de renta de los individuos, respecto al crecimiento de estas variables en una tarifa con dos bloques de consumo.

Sin embargo en algunas situaciones los individuos deben tomar dos decisiones, donde sólo una de ellas implica un elemento cualitativo. Por ejemplo, podemos pensar en la decisión de si tener o no un equipo de aire acondicionado y la elección de cuánto utilizar ese aparato. Un tipo de elección como la anterior se denomina decisión discreta-continua.

En la literatura teórica se han desarrollado metodologías para especificar y estimar modelos que describen situaciones de elección discreta-continua. Entre las contribuciones más relevantes destacan las de Heckman (1979), Dubin y McFadden (1984) y Hanemann (1984).

La cuestión de fondo aquí es que un consumidor se enfrenta a dos elecciones:

- a. Qué alternativa elegir de un conjunto exhaustivo y finito de alternativas mutuamente excluyentes, y
- b. Qué cantidad consumir de un bien particular, donde la cantidad del bien puede representarse por una variable continua.

En general podemos decir que las dos decisiones anteriores dependerán, al menos parcialmente, de los mismos factores subyacentes, puesto que las dos decisiones están interrelacionadas.¹⁶ En el caso de que las dos decisiones sean independientes, el enfoque de la modelización conjunta es innecesario. El interés aquí está en describir esa situación especificando, tanto la probabilidad de que un individuo escoja una alternativa, como la función de demanda del bien continuo.

Para describir el modelo que resulta de especificar estos dos tipos de decisiones seguiremos el trabajo seminal de Dubin y McFadden (1984). En este trabajo los

¹⁶ "...Cuando decimos que las decisiones discretas y continuas están interrelacionadas queremos decir que cuando un individuo elige una alternativa discreta, también está escogiendo la cantidad del bien continuo que, en combinación con la decisión anterior, le proporciona la mayor utilidad posible. Puesto que las dos decisiones son simultáneas, no es posible que una elección cause a la otra en el sentido estricto de la causalidad. Sin embargo, las dos elecciones están motivadas o determinadas por los mismos factores subyacentes, y por tanto, hay una asociación observable entre las dos. Es decir, el consumidor elegiría en general una alternativa distinta si, debido a un cambio en un factor subyacente, la cantidad elegida del bien continuo cambiara... Por otro lado, el individuo consumiría una cantidad distinta del bien continuo si, debido a un cambio en un factor subyacente, el consumidor fuera a elegir una alternativa distinta. Aquí la expresión "debido a un cambio en un factor subyacente" es importante, puesto que la razón por la que cada elección cambia cuando la otra lo hace, no es por una causalidad directa entre ellas, sino porque ambas decisiones están determinadas por los mismos factores subyacentes". (Train, 1986, p. 64)

autores especifican un modelo unificado de la demanda de electricidad que es consistente con la elección discreta de electrodomésticos.

Para empezar debemos partir de la idea de que la demanda de electricidad es una demanda derivada. Es decir, demandamos electricidad para poner en marcha una serie de bienes duraderos que producirán un flujo de servicios en el hogar, de forma que la electricidad no reporta utilidad en sí misma. En este caso la utilidad asociada con un bien de consumo duradero se caracteriza mejor como una utilidad indirecta.

A pesar de que los bienes de consumo duradero difieren en sus características, los consumidores los utilizarán a un nivel de intensidad tal que les proporcionen los servicios que se demandan. Dado un uso determinado podrá calcularse el coste correspondiente de la demanda derivada del suministro que consuma ese bien.

En este contexto, los hogares deberán ponderar las alternativas de elección de cada aparato contra las expectativas de uso futuro, los precios futuros de la energía y las decisiones de financiación corriente de la compra de esos bienes.

El modelo econométrico que derivan Dubin y McFadden (1984) es consistente con el problema de la maximización restringida de la utilidad al que se enfrentan los consumidores, donde para simplificar, se ignora la estructura tarifaria a la que está sometida el suministro energético y se considera que la electricidad es una mercancía disponible, en cualquier cantidad, a un precio marginal (y medio) fijo. Además se analizan las decisiones del hogar sobre la elección de electrodomésticos como si fueran contemporáneas a las decisiones de uso, de forma que se evita la consideración de cuestiones intertemporales. Este último supuesto sólo es realista si existen mercados de segunda mano perfectamente competitivos para los bienes duraderos.¹⁷

El enfoque utilizado en este trabajo combina el método de desarrollo de modelos de elección discreta a partir de funciones de utilidad indirecta condicionada, y el

¹⁷ Un consumidor neoclásico basará sus decisiones de compra, reposición o retirada de bienes duraderos en los costes operativos y de ciclo vital de carteras alternativas de bienes duraderos. El primer problema econométrico, a la hora de analizar la elección de electrodomésticos, es que los componentes del coste del ciclo vital del aparato no son normalmente íntegramente observables. Una segunda dificultad radica en que los precios contemporáneos de la energía pueden ser un pobre indicador de las expectativas del coste operativo para un hogar. Por último, y quizás más relevante, es que en la elección de electrodomésticos subyace la cuestión de la interacción de la oferta y la demanda de los propios aparatos. (Dubin y McFadden, 1984).

método desarrollado por Hausman (1979), de recuperación de funciones de utilidad indirecta a partir de sistemas econométricos de demanda parcial.

Dado lo anterior, podemos decir que el consumidor se enfrenta a la elección de carteras de electrodomésticos exhaustivas y mutuamente excluyentes, que pueden indexarse como $i = 1, \dots, m$. La cartera i tiene un precio, o coste anualizado, r_i . Dada la cartera i , el consumidor tiene una función de utilidad indirecta condicionada como:¹⁸

$$U = \psi(i, y - r_i, p_1, p_2, s_i, \varepsilon_i, \eta), \quad (2.13)$$

donde p_1 es el precio de la electricidad, p_2 es el precio de fuentes de energía alternativas, y es el nivel de renta de los individuos, s_i son las características observadas de la cartera de electrodomésticos i , ε_i son las características no observadas de esta cartera, r_i es el precio de la cartera de aparatos y η son las características no observadas del consumidor. Todos los precios y el nivel de renta están deflactados por un índice de precios de bienes no energéticos.

Los niveles de consumo de electricidad y del suministro energético alternativo, dada la cartera i , se derivan de la función de utilidad indirecta anterior a través de la identidad de Roy según:

$$x_1 = - \frac{\partial \psi(i, y - r_i, p_1, p_2, s_i, \varepsilon_i, \eta) / \partial p_1}{\partial \psi(i, y - r_i, p_1, p_2, s_i, \varepsilon_i, \eta) / \partial y}, \quad (2.14)$$

$$x_2 = - \frac{\partial \psi(i, y - r_i, p_1, p_2, s_i, \varepsilon_i, \eta) / \partial p_2}{\partial \psi(i, y - r_i, p_1, p_2, s_i, \varepsilon_i, \eta) / \partial y}. \quad (2.15)$$

Por otro lado, el consumidor elegirá la alternativa i , si y sólo si el valor de la función de utilidad indirecta condicionada ψ es más alto para la alternativa i que para cualquier otra, tal que:

$$P_i = \text{Pr} \{ \text{ob} \{ (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_m, \eta) : \psi(i, y - r_i, p_1, p_2, s_i, \varepsilon_i, \eta) > \psi(j, y - r_j, p_1, p_2, s_j, \varepsilon_j, \eta) \forall j \neq i \} \}. \quad (2.16)$$

¹⁸ Se trata de una función condicionada porque está sujeta al hecho de que efectivamente se elige la alternativa i . Esta función puede construirse para cada una de las alternativas en el conjunto de elección.

Cualquier función ψ , con las propiedades necesarias y suficientes que caracterizan a una función de utilidad indirecta, podrá utilizarse para construir el modelo econométrico que especifique una elección discreta-continua.

Algunos estudios econométricos han supuesto, implícita o explícitamente, la independencia estadística en la ecuación de demanda entre la elección de la cartera de electrodomésticos y el término de error. Dado este supuesto, la ecuación de demanda puede estimarse por mínimos cuadrados ordinarios.

Sin embargo, es probable que en la práctica exista alguna correlación entre las variables no observadas y el término de error. Por ejemplo, para un aparato como el aire acondicionado, un efecto no observado que aumente la utilidad del servicio suministrado por él, como una ventilación natural deficiente en el hogar, es probable que aumente tanto la probabilidad de elegir ese electrodoméstico, como su intensidad de uso.

Por su parte, para un aparato como el calentador de agua, es probable que los factores no observados que aumentan su intensidad de uso, como la preferencia por el lavado de prendas en agua caliente, disminuyan la probabilidad de elegir la alternativa que funciona con energía eléctrica, puesto que ésta tiene un ratio de coste operativo respecto al coste de capital más alto que un suministro alternativo.

En cualquier caso, la estimación de la ecuación de demanda por mínimos cuadrados ordinarios induce a un sesgo, debido a la correlación de una variable explicativa y el término de error.

Dado el problema anterior, Dubin y McFadden (1984) proponen tres formas alternativas de estimar la ecuación de demanda de electricidad: las variables instrumentales, estimar la forma reducida de la ecuación y el método de corrección de expectativas condicionadas.^{19 20}

La aproximación metodológica de Dubin y McFadden (1984) ha tenido un gran éxito en la literatura empírica de la demanda eléctrica, aunque con el paso del

¹⁹ El detalle de la aplicación de cada uno de los procedimientos puede consultarse en Dubin y McFadden (1984) y en Hanemann (1984).

²⁰ Por su parte, Hanemann (1984) y Train (1986) proponen que todos los parámetros desconocidos pueden estimarse por el método de máxima verosimilitud con información completa. En particular, Nesbakken (1999) aplica con éxito este método econométrico, a la hora de buscar una buena estimación del impacto de introducir o aumentar los impuestos energéticos en Noruega sobre el consumo de energía.

tiempo se han introducido mejoras en la estimación que han llevado a resultados más precisos.

Una de las contribuciones más relevantes resulta de conjugar el modelo anterior con los modelos de ajuste parcial. Este tipo de modelos se ha utilizado por numerosos autores.²¹ La idea central aquí es que el consumo deseado de electricidad sería aquél que elegirían los individuos si su stock de electrodomésticos estuviera en su óptimo de largo plazo. Esta situación se mantendría indefinidamente si no fuera intolerablemente costoso ajustar de forma instantánea el stock de electrodomésticos cuando cambiase el precio de los aparatos, el precio de la electricidad, el precio de los insumos energéticos sustitutivos o el nivel de renta de los individuos. Por tanto, en un momento dado el stock de equipos y el consumo de energía serán distintos al nivel de equilibrio de largo plazo.

El desarrollo de esta metodología ha llevado a la elaboración de los modelos de corrección del error, que son una generalización de los anteriores y permiten la estimación por separado de las elasticidades de corto y largo plazo. Un análisis detallado de la aplicación de esta metodología alternativa puede encontrarse en Silk y Joutz (1997).

Una segunda contribución que ha enriquecido la estimación de los modelos discretos-continuos, proviene de los llamados modelos de carga térmica o de ingeniería. Los modelos de carga térmica se desarrollan con el objetivo de calcular las demandas de energía esperadas en el hogar. Para ello, estos modelos calculan la cantidad de calor que entra y sale de una vivienda en cada hora del día y son capaces de determinar las demandas para usos finales de acondicionamiento térmico.

Estos cálculos requieren de información detallada, como datos sobre características físicas térmicas y operativas de la vivienda, nivel de aislamiento térmico, materiales de construcción y dimensiones de la vivienda, así como información sobre la temperatura horaria en la localización geográfica específica del hogar. El resultado es que estos modelos alcanzan un elevado grado de especialización para determinar la transferencia calorífica en la vivienda y son útiles, básicamente, a la hora de valorar las necesidades de energía para calefacción

²¹ El trabajo de Benavente, Galetovic, Sanhueza y Serra (2005) señala las contribuciones más destacadas en este ámbito.

y aire acondicionado, que dadas las condiciones climáticas de algunos países o regiones, suponen una parte muy importante de la factura energética de las familias.

Esta metodología incorpora relaciones no lineales complejas entre el clima, las características del edificio y las cargas térmicas. De esta forma los modelos de carga térmica proporcionan, a priori, información significativa en el análisis estadístico.

Además, la técnica puede utilizarse para valorar el impacto de los programas de conservación energética y gestión de la demanda que afectan a las características del edificio, así como para obtener estimaciones de la demanda del sistema en condiciones meteorológicas extremas.

En el trabajo de Dubin (1985), que es uno de los estudios pioneros en este campo, la técnica de la carga térmica se combina con datos de ciclo de facturación de los consumidores de dos formas: en primer lugar, el autor utiliza el modelo térmico para estimar la demanda de un ciclo de facturación hogar por hogar. Bajo este enfoque, se predice que dos hogares con características equivalentes del edificio en el que viven, y que se enfrentan a patrones climáticos idénticos, tendrán la misma demanda de energía. Las desviaciones que se produzcan entre la realidad y las estimaciones del modelo de ingeniería se deberán a la sensibilidad socioeconómica en la tasa de utilización del stock de aparatos.

En segundo lugar, Dubin utiliza las técnicas de ingeniería térmica para estimar el coste de confort. El coste de confort es el coste energético de mantener la temperatura ambiente de un hogar en el punto deseado por los individuos.

Las variables estimadas se incorporan en el modelo principal para estimar con una gran precisión la demanda de electricidad y de electrodomésticos en el largo plazo.

En el trabajo de Dubin, Miedema y Chandran (1986) se aplica una metodología de carga térmica como la anterior, aunque en este caso restringida al corto plazo, es decir para el cálculo de una demanda de energía condicionada. En particular, se intenta medir el efecto precio derivado del hecho de que los electrodomésticos con tecnologías más eficientes lleven a un uso más intensivo de estos aparatos. A partir de aquí, se persigue la obtención de evidencia de en cuánto contrarresta este hecho a las medidas de conservación o ahorro energético que pretenden estas

tecnologías más eficientes. El trabajo se centra, en particular, en el uso de la calefacción y el aire acondicionado.

El estudio se lleva a cabo con datos desagregados sobre 504 hogares en el área de consumo suministrada por la empresa *Florida Power and Light*, entre 1981 y 1983. Las conclusiones que se obtienen son que las tecnologías más eficientes reducen el precio del servicio que proporcionan y, por tanto, reducen el consumo de electricidad en una cantidad menor a la anticipada por las estimaciones de ingeniería.

Posteriormente, y abandonando el uso de las técnicas utilizadas en los modelos de ingeniería, Baker y Blundell (1991) estudian las elasticidades de corto y largo plazo del consumo de electricidad en el Reino Unido, entre 1972 y 1975, con datos individuales de panel para 110.000 familias. La contribución de este trabajo respecto a los anteriores es que los autores encuentran evidencia empírica favorable a la importancia de las variables de edad y de la generación a la que pertenecen los individuos, a la hora de explicar las decisiones de compra de bienes duraderos y la elección del suministro energético del hogar.

Asimismo, Halvorsen y Larsen (2001) calculan las elasticidades de corto y largo plazo del consumo de electricidad y de compra de nuevos electrodomésticos a través de un modelo discreto-continuo en dos etapas. Ésta es una formulación alternativa a la de Dubin y McFadden (1984), puesto que el trabajo de Halvorsen y Larsen (2001) formula un modelo, estimado en dos etapas, a través de la parametrización de las funciones de demanda de electricidad y electrodomésticos, en lugar de recurrir a la estimación simultánea.

Como consecuencia de la posible endogeneidad de la variable de compra de electrodomésticos, se lleva a cabo una estimación en dos etapas. En la primera, se estima un instrumento para esta variable problemática a través de un modelo *probit*. En la segunda, se lleva a cabo una estimación por mínimos cuadrados ordinarios de la ecuación de uso de electricidad, donde las predicciones de la primera etapa son instrumentos de las compras endógenas de electrodomésticos.

El estudio se realiza con microdatos de consumo noruego, sobre un total de 23.284 hogares, entre 1975 y 1994. Los resultados del trabajo sugieren que la elasticidad de largo plazo no difiere significativamente de la de corto plazo. Por

último, las elasticidades obtenidas de largo plazo no difieren de las de estudios previos que utilizan otros enfoques.

Por último, Hondroyanis (2004) analiza empíricamente la demanda residencial de electricidad griega, entre 1986 y 1999 con datos mensuales agregados, y examina su sensibilidad al precio y a la renta en el corto y el largo plazo. La novedad, en este caso, es que el autor trata de comprobar si existe una función de demanda de electricidad estable a lo largo del tiempo en el corto y largo plazo, empleando un enfoque multivariante a través de un análisis de cointegración en tres etapas. El autor consigue evidencia favorable a su hipótesis de estabilidad.

En definitiva, la formalización de modelos discretos-continuos ha permitido la caracterización del comportamiento de los individuos, tanto en el corto como en el largo plazo. Por nuestra parte, en esta investigación hemos optado por un enfoque de corto plazo, como paso previo a un análisis discreto-continuo como el descrito en los trabajos anteriores.

Una vez establecido el fundamento teórico del análisis de la demanda residencial de electricidad, en la siguiente sección recogeremos los principales resultados empíricos, en términos de elasticidades precio y renta, que se han obtenido a lo largo de las últimas décadas en la literatura.

3. Revisión de la literatura empírica

En esta sección abordaremos los principales resultados empíricos que describen el comportamiento de los consumidores de electricidad en el corto y el largo plazo. Para ello distinguiremos, tanto por el grado de agregación de los datos utilizados, por el horizonte temporal considerado, por la naturaleza de la muestra empleada (corte transversal, serie temporal o datos de panel), así como por la técnica de estimación que conduce a la obtención de resultados.

A efectos de facilitar la claridad en la exposición presentaremos los resultados de los trabajos considerados en dos tablas (Tabla 2.1 y Tabla 2.2), donde se recogerán las principales variables a tener en cuenta en este ejercicio de revisión de la literatura.

La pertenencia de cada trabajo a una tabla o a otra vendrá determinada por si dicho estudio ha adoptado un enfoque de corto o de largo plazo.

En suma, revisaremos con detalle un total de veintiocho trabajos, desde la década de los cincuenta hasta la actualidad. Si bien éstos no son los únicos estudios que podemos encontrar respecto a la estimación de la demanda de electricidad, hemos restringido la revisión a estos trabajos en concreto basándonos en la relevancia de su contribución a la literatura.

Adicionalmente, completaremos la revisión de la literatura empírica haciendo referencia a otros trabajos de interés. Éste es el caso de los estudios de Houthakker y Taylor (1970), Anderson (1973), Acton, Mitchell y Mowill (1976) y Taylor, Blattenberger y Verleger (1976).^{22 23}

En cualquier caso, se ha optado por no incluir estos trabajos en las tablas 2.1 y 2.2, dado que no han hecho ninguna aportación sustancial adicional respecto de los estudios que sí se recogen en estas tablas.

Asimismo, debemos señalar que en las últimas décadas algunos autores han realizado trabajos que no sólo han servido de recopilación de los resultados de la literatura empírica, en lo que se refiere a la estimación de la demanda doméstica de electricidad, sino que han servido de base para la discusión de aspectos importantes relacionados con la correcta estimación de esta función de demanda. Entre ellos, destacan la discusión sobre la especificación adecuada de la variable de precios en la ecuación de demanda, los determinantes fundamentales de esta función o la idoneidad de los supuestos adoptados en su estimación.

En este sentido podemos destacar los *surveys* de Taylor (1975 y 1977b), Bohi y Zimmerman (1984) y Dahl (1993).

En esta sección revisaremos la literatura empírica hasta la actualidad. Por ello, como es lógico, citaremos y analizaremos algunos trabajos que aparecen habitualmente en otros *surveys*, pero además, incluiremos otros estudios más recientes que abordan la estimación de la demanda residencial de electricidad hasta nuestros días y discutiremos la evolución de la evidencia empírica y los problemas a los que esta literatura se ha enfrentado.

²² La relevancia de estos trabajos se constata porque muchos estudios empíricos hacen referencia a los mismos, o bien fundamentan alguna hipótesis de trabajo en sus resultados, especialmente, en el caso de Acton, Mitchell y Mowill (1976).

²³ La revisión del contenido de los trabajos de Anderson (1973) y de Taylor, Blattenberger y Verleger (1976) se ha llevado a cabo a través de los *surveys* de Taylor (1977b) y Dahl (1993).

A partir de aquí el contenido de esta sección se organizará en dos apartados. En el primero se recogerá la evidencia de la literatura empírica respecto a los resultados de la estimación de la demanda eléctrica residencial en el corto plazo, mientras que en el segundo, recopilaremos los trabajos que han estimado la demanda doméstica de electricidad, a través de un enfoque de largo plazo.

3.1. Evidencia empírica sobre la demanda eléctrica condicionada

La estimación de la demanda eléctrica doméstica condicionada a la existencia de un stock de electrodomésticos en el hogar, o estimación de corto plazo, es la primera aproximación a la obtención de resultados en términos de elasticidades precio y renta de los individuos con respecto a su consumo de electricidad.

En la Tabla 2.1 se recoge la evidencia empírica seleccionada más relevante de las últimas décadas. Para cada uno de los trabajos recogidos distinguimos el modelo que se ha empleado en la estimación de la ecuación de demanda, la técnica econométrica por la que se obtienen los resultados, la expresión del precio de la electricidad para especificar esta variable en la ecuación de demanda, las elasticidades precio y renta de cada trabajo, así como el tipo de datos utilizados, es decir, si se utiliza un corte transversal, una serie temporal o datos de panel o agrupados.²⁴ Adicionalmente especificaremos el período temporal en que se ha realizado el análisis, la unidad de observación utilizada y el ámbito geográfico en que éste ha tenido lugar.

A partir de la observación de la Tabla 2.1 se desprenden algunas consideraciones generales. En primer lugar, podemos inferir que aparentemente no existe un consenso sobre la utilización del precio medio o marginal como indicador del precio de la electricidad, dado que los distintos trabajos utilizan uno u otro indistintamente. Esta diversidad de especificaciones atiende a la distinta naturaleza del sistema tarifario eléctrico y momento del tiempo, así como a la disponibilidad de datos que se tiene en cada caso, ya sean éstos agregados o desagregados. En función de cuáles sean estas coordenadas de tarifas y tipo de datos resultará más sencillo el uso de un indicador de precios u otro.

²⁴ Por datos agrupados, ya sean a partir de una serie temporal o de un corte transversal, entendemos lo que según la terminología anglosajona se denomina *pooled data*. Es decir, aquel caso particular de los datos de panel en que se trabaja a partir de la sucesión de muestras de corte transversal o serie temporal, donde se impone que los parámetros de la estimación sean iguales para todos los individuos, es decir, que no se incluyen efectos fijos ni efectos aleatorios en la regresión.

Sin embargo, algunos estudios, como el de Houthakker (1951a), Roth (1981), Garbacz (1983), Baker, Blundell y Micklewright (1989) o Reiss y White (2005a) justifican el uso de un indicador de precios concreto a partir del fundamento teórico existente, y no de la disponibilidad de un indicador u otro para esta variable.

En cuanto al modelo empleado en las estimaciones, los trabajos presentados utilizan una demanda de electricidad condicionada a la propiedad de electrodomésticos. La condición se fija, o bien especificando la demanda de electricidad como la suma de demandas de los aparatos individuales en el hogar, o bien introduciendo *dummies* en la ecuación de demanda que indiquen la posesión o ausencia de cada tipo de electrodoméstico.

Para estimar estos modelos el método más recurrente es el de los mínimos cuadrados, tanto en su estructura más simple, la de mínimos cuadrados ordinarios, como en su versión en dos etapas. Alternativamente, se utiliza la estimación por el método de regresiones aparentemente no relacionadas, por máxima verosimilitud o bien por el método generalizado de los momentos.

Las bases de datos que se utilizan en este tipo de análisis son básicamente de corte transversal, aunque tenemos también trabajos que utilizan datos de series temporales y datos de panel.²⁵

El contexto geográfico de las estimaciones analizadas es, fundamentalmente el de Estados Unidos, ya que siete de los catorce trabajos revisados corresponden a este país. Adicionalmente, citamos dos trabajos para Canadá y cinco para Europa, que a su vez se dividen entre tres trabajos para el Reino Unido y dos para Dinamarca.

Esta distribución geográfica de los estudios es bastante representativa de la realidad, y viene a confirmar la mayor proliferación de este tipo de trabajos en Norteamérica. Sin duda, la mayor disponibilidad de datos en Estados Unidos y Canadá ha contribuido de forma determinante a esta situación.

²⁵ Vale la pena recordar aquí que la utilización de series temporales o datos de panel, en horizontes temporales largos, no se contradice con el hecho de que se esté estimando una función de demanda de electricidad de corto plazo, pues como señalamos anteriormente, la naturaleza de corto plazo de un análisis de demanda residencial de electricidad viene dada por el hecho de que el stock de electrodomésticos en el hogar sea fijo y no tanto por el horizonte temporal de análisis escogido.

Tabla 2.1. Resultados en términos de elasticidad precio y elasticidad renta bajo un enfoque de corto plazo

Trabajo	Precio	Modelo	Método de estimación	Elasticidad		Tipo de datos
				precio	renta	
Houthakker (1951a)	P _{ma}	Demanda de electricidad condicionada	Comparación geográfica	-0,89	1,17	CT: agregados, anuales 1937-1938, 42 ciudades. R.U.
Fuss, Hyndman y Waverman (1977)	P _{ma}	Modelo <i>logit</i> estático en dos etapas	Mínimos cuadrados ordinarios. Uso de P _{ma} para evitar simultaneidad	-0,14 ^a	0,80 ^a	CT-ST: agregados, anuales 1958-1971, provincias de Canadá
Parti y Parti (1980)	P _{me}	Demanda de energía eléctrica condicionada, como suma de la demanda de cada electrodoméstico	Mínimos cuadrados en dos etapas	-0,58	0,15	CT: hogares individuales, anuales 1975. Condado de San Diego. EE.UU.
Barnes, Gillingham y Hagemann (1981)	P _{ma} / P _{ETE}	Demanda de energía eléctrica condicionada, como suma de la demanda de cada electrodoméstico	Mínimos cuadrados en dos etapas	-0,55	0,20	ST: hogares individuales, trimestrales 1972-1973, EE.UU.
Roth (1981)	P _{ma} /P _{me}	Demanda de energía eléctrica condicionada	Mínimos cuadrados ordinarios	-0,11	-0,39	ST: agregados, mensuales 1974-1977, Noroeste de EE.UU
Garbacz (1983)	P _{ma} /P _{me}	Demanda de energía eléctrica	Mínimos cuadrados ordinarios	-0,05/-0,36 ^a	0,14 ^a	CT: hogares individuales, anuales 1978-1979. EE.UU.

Tabla 2.1 (Continuación)

Trabajo	Precio	Modelo	Método de estimación	Elasticidad precio	Elasticidad renta	Tipo de datos
Dubin, Miedema y Chandran (1986)	Precio de confort	Modelo de ingeniería y de demanda de energía condicionada, como suma de demanda de electrodomésticos	Método de regresiones aparentemente no relacionadas	-0,55 ^b	0,61 ^b	ST: hogares individuales, trimestrales 1981-1983, Florida (EE.UU).
Hsiao y Mountain (1985)	P _{ma}	Demanda de energía eléctrica condicionada, como suma de la demanda de cada electrodoméstico	Dos etapas: Pseudo-variables instrumentales y media condicionada	-----	0,17	CT: hogares individuales, anuales 1980, Ontario (Canadá)
Baker, Blundell y Micklewright (1989)	P _{me}	Demanda de energía condicionada en dos etapas (<i>Almost Ideal Demand System y Sistema de Gasto Lineal</i>)	Máxima verosimilitud	-0,75	0,13 ^c	ST: hogares individuales, trimestrales 1972-1983, R.U.
Baker (1992)	Índice basado en P _{me}	Demanda de energía condicionada en dos etapas (<i>Almost Ideal Demand System Extendido</i>)	Mínimos Cuadrados Ordinarios	-0,63/-0,61 ^d	0,32/0,16 ^d	ST: hogares individuales, trimestrales 1971-1988, R.U
Branch (1993)	P _{me}	Demanda de energía eléctrica condicionada	Mínimos cuadrados generalizados	-0,20	0,23	Panel de datos: hogares individuales, mensuales 1985, EE.UU.
Leth-Petersen y Togeby (2001)	P _{ma}	Demanda de energía condicionada	Mínimos Cuadrados Ordinarios con Efectos Fijos	-0,02	-----	Datos de panel: desagregados (bloques de apartamentos en 5 ciudades de Dinamarca). Trimestrales 1984-1985

Tabla 2.1 (Continuación)

Trabajo	Precio	Modelo	Método de estimación	Elasticidad precio	Elasticidad renta	Tipo de datos
Leth-Petersen (2002)	-----	Demanda de energía eléctrica condicionada al uso de gas	No paramétrico: regresión <i>kernel</i> Paramétrico: Mínimos cuadrados en dos etapas	-----	0,28	CT: hogares individuales, 1996. Norte de Copenhague (Dinamarca)
Reiss y White (2005a)	Programa tarifario íntegro	Demanda de energía eléctrica condicionada, como suma de la demanda de cada electrodoméstico	Método generalizado de los momentos	-0,39	0,0	CT: hogares individuales, anuales 1993-1997. California (EE.UU)

- a. Las elasticidades obtenidas no son estrictamente ni de corto, ni de largo plazo
 - b. Hemos calculado una media de las elasticidades a partir de un rango de valores aportados en el trabajo original
 - c. En el trabajo se calcula, además, la elasticidad renta por decilas de renta.
 - d. Los dos resultados se deben a que el autor calcula las elasticidades de demanda a través de dos ecuaciones distintas. Ver detalle en el cuerpo de texto.
 - e. PET: Prima de la Estructura Tarifaria, es el concepto que en la terminología anglosajona se conoce como *Kate Structure Premium*.
- Pma: precio marginal; Pme: precio medio; CT: Corte transversal; ST: Serie temporal; EE.UU: Estados Unidos; R.U: Reino Unido
- Fuente: Elaboración propia

Respecto a los resultados obtenidos, a partir de la observación de la Tabla 2.1 se constata la amplitud del rango de valores en que oscilan las elasticidades precio y renta. Sin duda, esta diversidad de resultados viene influida por el tipo de modelo y de datos empleados en el análisis, así como por el contexto geográfico y temporal que comprende el estudio.

Según la evidencia empírica presentada en la Tabla 2.1, cabe esperar obtener una elasticidad precio negativa y una elasticidad renta positiva. En particular, las elasticidades precio de los trabajos seleccionados oscilan entre un valor de $-0,02$, en el trabajo de Leth-Petersen y Togeby (2001) y un valor de $-0,89$, para el trabajo de Houthakker (1951a). Todas las elasticidades precio recogidas toman un valor de entre cero y uno en valor absoluto. Asimismo vale la pena destacar que en la mayoría de casos los valores de esta sensibilidad al precio recogen un comportamiento relativamente elástico, con un valor medio entorno a $-0,42$.

Por lo que respecta a la elasticidad renta, el rango de variación de este resultado es más amplio que en el caso de la elasticidad precio, con un valor mínimo de $-0,39$ en el trabajo de Roth (1981) y de $1,17$, en el de Houthakker (1951a). El valor medio, de entre los resultados recogidos, está alrededor de $0,29$. Por tanto, parece que la sensibilidad del consumo doméstico de electricidad a variaciones en el nivel de renta no es tan elevada como la sensibilidad a variaciones en el precio. Además, a diferencia de la elasticidad precio, donde todos los resultados presentaban el mismo signo, en la elasticidad renta se observa una mayor diversidad de resultados, pues aunque la mayoría de trabajos presentan una elasticidad renta positiva, el trabajo de Roth (1981) obtiene una elasticidad renta negativa.

En este sentido, algunos trabajos apuntan que este signo negativo de la elasticidad renta puede deberse a la naturaleza de bien inferior de la electricidad. Al comentar los resultados de cada trabajo, nos detendremos a discutir esta cuestión.

En los siguientes apartados de esta sección comentaremos el detalle de cada una de las aportaciones empíricas recogidas en la Tabla 2.1. Para ello distinguiremos entre dos tipos de trabajos: aquéllos en los que se ha puesto el énfasis en la correcta especificación de algunas variables clave de la función de demanda, especialmente el precio, con el objetivo de obtener estimaciones y predicciones precisas de esta función, para facilitar el diseño de políticas públicas adecuadas en el sector, de aquéllos que han supuesto una contribución de carácter más

metodológico, en la especificación y estimación de la demanda residencial de electricidad en su conjunto, sin que con ello queramos decir que se haya descuidado la obtención de resultados razonables y precisos en términos económicos.

3.1.1. Los determinantes fundamentales de la demanda residencial de electricidad: primeras aproximaciones

Uno de los trabajos más relevantes en la literatura empírica de la estimación de la función de la demanda doméstica de electricidad ha sido el de Houthakker (1951a). Su relevancia viene dada, tanto por su detallado análisis de la cuestión, como por ser el primer trabajo que constata la importancia de tener en cuenta las implicaciones de una estructura tarifaria compleja en la especificación de la demanda residencial de electricidad.

En particular, Houthakker (1951a) pone de relieve que el precio marginal puede ser un mejor indicador del precio de la electricidad que el precio medio. Por tanto, independientemente de que el trabajo empírico aplicado se realice utilizando datos agregados o microdatos, el autor recomienda decantarse por la medida marginal del precio, siempre que ello sea posible.

Para llevar a cabo su análisis, Houthakker (1951a) utiliza una muestra con datos agregados de corte transversal de 42 ciudades del Reino Unido, entre 1937 y 1938. Los datos se obtienen a partir de las respuestas de empresas distribuidoras a una serie de cuestionarios elaborados por los *Electricity Commissioners*, que eran los organismos que supervisaban el suministro de electricidad en el Reino Unido durante esos años.

A partir de esta muestra, Houthakker (1951a) realiza una estimación de la función de demanda doméstica de electricidad por comparación geográfica y obtiene una elasticidad precio de -0,89 y una elasticidad renta de 1,17.

La contribución más relevante de Houthakker (1951a) radica en su reflexión sobre cuál es la variable de precios que influye sobre la demanda residencial de electricidad. En particular el autor constata que bajo una tarifa en dos partes, la variable de precios tiene dos componentes: la cuota fija, que se paga independientemente de la cantidad consumida, y una cuota variable con un precio marginal constante. Si los consumidores deben decidir entre una tarifa en dos partes y una tarifa con un precio único homogéneo, una vez que estos

consumidores hagan su elección de tarifa, el precio marginal será la variable relevante.

Como la cuota fija debe pagarse independientemente del consumo realizado, Houthakker afirma que ésta sólo tendrá un efecto renta insignificante en el consumo. Por su parte, la cantidad consumida se determinará comparando la utilidad que reporta un *kwh* adicional y la utilidad que supondría el gasto del coste de ese *kwh* entre diferentes alternativas.

Sin embargo, el precio medio bajo una tarifa en dos partes dependerá, no sólo del precio variable y de la cuota fija, sino también de la propia cantidad consumida, y por tanto, este precio medio no será una variable independiente en un sentido económico o econométrico. Como el consumo de electricidad depende de la renta y de otras variables, un cambio en estas variables llevará también a un cambio en el precio medio. La relación puramente aritmética resultante entre el consumo y el precio medio no permite identificar la influencia de un cambio en el precio sobre la demanda de electricidad.

Bajo nuestro punto de vista, si bien el razonamiento de Houthakker (1951a) es plausible, este autor no tuvo en cuenta que el problema de endogeneidad que causaba el precio medio podría superarse utilizando un estimador de variables instrumentales, para obtener el valor de los parámetros de la función de demanda doméstica de electricidad.

Más allá de lo anterior, y quizás motivado por la antigüedad de este trabajo, lo interesante aquí es que la falta del desarrollo de un instrumental econométrico apropiado, condujo a un resultado que ha sido muy importante para la evolución de la literatura empírica posterior. Es decir, que la dificultad que planteaba en 1951 la estimación de una ecuación con un problema de endogeneidad, propició un análisis profundo de esta cuestión que llevó a la conclusión de que, en algunos casos, la variable de precio marginal era un indicador más apropiado para reflejar la influencia de las tarifas sobre el consumo de electricidad.

A partir de este resultado, una serie de trabajos circunscritos a la estimación de la demanda doméstica energética y de electricidad, en el corto plazo, tomaron muy en cuenta la conclusión de Houthakker (1951a). Entre ellos, podemos destacar los trabajos de Acton, Mitchell y Mowill (1976), Fuss, Hyndman y Waverman (1977),

Taylor, Blattenberger y Verleger (1976), Barnes, Gillingham y Hagemann (1981), Roth (1981), Garbacz (1983), Hsiao y Mountain (1985) o Reiss y White (2005a).

Todos los trabajos anteriores hacen un énfasis especial en considerar el precio marginal como indicador del precio de la electricidad, cuando el consumidor se enfrenta a una estructura tarifaria en bloques.

La evidencia empírica anterior se apoya, además, en los resultados de Taylor (1975, 1977a) que confirman las conclusiones de Houthakker (1951a) y sugieren que, adicionalmente a la consideración del precio marginal, debería hacerse un esfuerzo por incluir una medida intramarginal del precio.²⁶ Añadir este indicador intramarginal tiene por objetivo reflejar, de la forma más precisa posible, la estructura íntegra del programa tarifario eléctrico residencial.

Barnes, Gillingham y Hagemann (1981), Roth (1981), Garbacz (1983) y Reiss y White (2005a) han avanzado en esta dirección en el desarrollo de sus trabajos.

Asimismo, la crisis energética vivida a nivel mundial durante la década de los setenta, propició que algunos autores fueran más allá de plantearse la correcta especificación del precio de la electricidad en la función de demanda eléctrica. Por ello, centraron su inquietud en el conjunto de determinantes de esta demanda, para poder predecir de forma precisa el comportamiento de los individuos ante la escalada internacional del precio del petróleo.

En esta línea se encuentra el trabajo de Fuss, Hyndman y Waverman (1977) para el corto plazo. Aunque como veremos en la sección 3.2, los trabajos de largo plazo fueron los más prolíficos a la hora de plantearse esta cuestión.

Por su parte, y retomando la cuestión de la correcta especificación de la variable de precios en la demanda de electricidad, Barnes, Gillingham y Hagemann (1981) utilizan como indicador del precio de la electricidad, tanto el precio marginal,

²⁶ En la literatura empírica del sector se entiende que el indicador intramarginal del precio viene dado por el precio medio del consumo eléctrico, calculado como el cociente entre el gasto monetario en electricidad y la cantidad consumida, considerados ambos hasta el último bloque en que el individuo consume efectivamente electricidad, sin incluirlo. Todo ello en el caso en que los consumidores se enfrenten a una estructura tarifaria en bloques, que ha sido una de las figuras tarifarias más extendidas, tanto histórica como transversalmente entre países.

como lo que en la literatura se denomina la Prima de la Estructura Tarifaria (*PET*).²⁷

La *PET* intenta capturar el efecto renta de un programa tarifario multiparte. La lógica del uso de esta variable parte del hecho de que bajo una estructura de tarifas multiparte, a medida que el nivel de consumo de electricidad aumenta, tanto el precio marginal, como el precio medio por unidad varían. En la medida en que bajo una tarifa en bloques decrecientes el precio medio de la electricidad está por encima del precio marginal, el consumidor paga de forma efectiva una prima positiva sobre lo que pagaría si el precio medio y el precio marginal fueran iguales. Este importe es lo que se conoce como *PET*.

Incorporando el precio marginal y la *PET* a su ecuación de demanda, Barnes, Gillingham y Hagemann (1981) obtienen una elasticidad precio de -0,55 y una elasticidad renta de 0,20, sobre una muestra de 10.000 hogares de Estados Unidos. La ecuación de demanda de este trabajo recoge, además, un conjunto importante de variables que intentan captar las características de los individuos y del hogar.²⁸

Barnes, Gillingham y Hagemann (1981) concluyen que la estimación por mínimos cuadrados en dos etapas es la técnica de estimación adecuada para superar los problemas de endogeneidad, que causan las variables relacionadas con el precio de la electricidad en la ecuación de demanda doméstica de este bien.

Por su parte, los resultados de Roth (1981) despertaron interés en la literatura puesto que obtuvo una elasticidad renta negativa. Este hecho llevó a concluir al autor que el consumo doméstico de electricidad tenía características de bien inferior, es decir, que ante un aumento del nivel de renta el consumo residencial de electricidad disminuiría.

Sin embargo, los resultados de Roth (1981) no son concluyentes y adolecen de ciertas deficiencias. En particular, Roth (1981) no tiene en cuenta la endogeneidad que pueden causar el precio medio²⁹ y el precio marginal en la ecuación de

²⁷ Derivamos este concepto de la terminología anglosajona *Rate Structure Premium*.

²⁸ Para el detalle de las variables utilizadas en la especificación de la función de demanda del trabajo de Barnes, Gillingham y Hagemann (1981), ver las Tablas 1.1 y 1.2 del capítulo 1 de esta investigación.

²⁹ En el trabajo de Roth (1981) el indicador de precio medio se calcula, en realidad, como un precio intramarginal. Ver nota 26 para la definición de este concepto.

demanda. Asimismo el autor considera que el parámetro asociado al precio medio puede interpretarse como una elasticidad renta, cuando en realidad, creemos que este resultado estaría asociado a la inclusión de una variable de ingreso, que en este caso no se incluye, lo cual puede ser discutible.

El trabajo de Garbacz (1983) es la respuesta a las conclusiones derivadas por Roth (1981). Los dos trabajos utilizan una especificación similar de la función de demanda y el mismo método de estimación, los mínimos cuadrados ordinarios. Sin embargo el trabajo de Roth (1981) se realiza sobre datos agregados, mientras que el de Garbacz (1983) utiliza observaciones de hogares individuales. Ambos trabajos ofrecen estimaciones para Estados Unidos.

Garbacz (1983) obtuvo una elasticidad renta positiva de 0,14 y una elasticidad precio de -0,05 y -0,36, asociada al precio marginal y al precio intramarginal respectivamente. Garbacz (1983) critica los resultados de Roth (1981) en tres aspectos.

En primer lugar, Garbacz (1983) considera que no es correcto asociar la elasticidad renta del consumo de electricidad al parámetro del precio medio. En segundo lugar, el autor critica a Roth (1981) por la afirmación que éste hace en su trabajo, al decir que es el primero en utilizar un indicador de precios de la electricidad que incluye, tanto al precio marginal como al precio intramarginal, lo cual no es cierto, ya que McFadden Kirshner y Puig (1977) ya utilizaron esta especificación del precio. Por último, Garbacz (1983) considera que los resultados de Roth (1981) son sesgados e inconsistentes, ya que este último autor emplea el estimador de mínimos cuadrados ordinarios, a pesar de que existen sospechas fundadas de que la regresión puede estar afectada por un problema de endogeneidad derivado del uso del precio marginal e intramarginal.

Por nuestra parte, creemos que aunque la crítica de Garbacz (1983) es fundada, su propio trabajo es, a su vez, manifiestamente mejorable. En primer lugar, porque sus resultados de estimación no pueden considerarse estrictamente de corto o de largo plazo, ya que la función de la demanda doméstica de electricidad que utiliza no está condicionada, de ninguna forma, a la tenencia de electrodomésticos en el hogar.

En segundo lugar, a pesar de que el autor es consciente de los problemas de simultaneidad que acarrea la utilización del precio marginal e intramarginal en la

especificación de la ecuación de demanda, éste sigue utilizando la estimación por mínimos cuadrados ordinarios. Esto supondrá, al igual que en el trabajo de Roth (1981), resultados sesgados e inconsistentes.

En el contexto de la discusión planteada entre Roth (1981) y Garbacz (1983), el trabajo de Hsiao y Mountain (1985) aporta algunas mejoras notables. Hsiao y Mountain (1985) utilizan el precio marginal como indicador del precio de la electricidad. Por ello, los autores recurren a la estimación de su ecuación de demanda de corto plazo, sobre una muestra de 557 observaciones individuales, en Ontario (Canadá), por el método de los mínimos cuadrados en dos etapas.

Asimismo, Hsiao y Mountain (1985) hacen una aportación notable en cuanto al uso de variables categóricas en la ecuación de demanda eléctrica. En particular, los autores utilizan una variable de renta por tramos de ingreso y proponen, que para estimar correctamente una ecuación en la que aparezca una variable de este tipo, se utilicen variables *dummy* que reflejen la pertenencia del individuo a cada uno de los tramos. Alternativamente, los autores proponen aproximar la distribución de esta variable a través de una función de probabilidad continua, que permita evaluar su media condicionada, y utilizar un estimador de mínimos cuadrados en dos etapas, para corregir la posible correlación de esta variable de renta con el término de error en la ecuación de demanda.

Dado que Hsiao y Mountain (1985) se centran en el problema que causan las variables categóricas en la estimación de la ecuación de la demanda doméstica de electricidad, no calculan explícitamente una elasticidad precio del consumo eléctrico. Por su parte, obtienen una elasticidad renta de 0,17.

Por último, Reiss y White (2005a) ofrecen la aproximación más completa que hemos encontrado a la hora de especificar la variable del precio de la electricidad en la ecuación de demanda residencial de este bien. En particular, estos autores especifican el programa tarifario completo al que se enfrentan cada uno de los hogares de su muestra. Dado que el contexto geográfico del trabajo es el del Estado de California en Estados Unidos, los hogares de la muestra se enfrentarán con programas tarifarios distintos, dependiendo de la empresa distribuidora que les suministre la electricidad. Por ello, Reiss y White (2005a) identifican cuál es este sistema tarifario para cada una de las observaciones de su muestra y les adjudican el precio marginal e intramarginal que les corresponde en cada caso. La estimación se lleva a cabo sobre una función de demanda, especificada como la

suma de la demanda de cada electrodoméstico en el hogar, por el método generalizado de los momentos.

La revisión anterior resume las contribuciones más relevantes a la estimación de la demanda eléctrica residencial de corto plazo, desde la perspectiva de la preocupación por especificar correctamente esta función, en términos de las variables más relevantes que influyen en el comportamiento de los individuos.

En la próxima sección se revisarán las aportaciones de carácter más metodológico, a la hora de aproximar la estimación de las elasticidades precio y renta del consumo doméstico de electricidad en el corto plazo.

3.1.2. Aportaciones metodológicas en la estimación de la demanda residencial de electricidad condicionada

De acuerdo con lo que hemos visto en la sección anterior, entre la década de los años cincuenta y la de los años setenta, la literatura empírica sentó las bases de la estimación de la demanda residencial de electricidad de corto plazo. La discusión fundamental en este período se centró en la correcta especificación de esta función de demanda, poniendo especial énfasis en la influencia del precio de la electricidad y en la correcta aproximación del efecto renta en el consumo doméstico de energía eléctrica. Asimismo, empezamos a tener evidencia de trabajos que emplean características de los individuos y de los hogares, en la especificación de la ecuación de demanda eléctrica condicionada.

Cabe recordar aquí, que a partir de ese momento, es decir, coincidiendo con el inicio de la década de los ochenta, empezaron a aparecer trabajos que supusieron mejoras metodológicas notables, tanto por la evolución del enfoque teórico utilizado, como por las técnicas de estimación de las que se sirven los investigadores, para obtener resultados concluyentes sobre el comportamiento de los individuos.

Si bien estas mejoras metodológicas tienen que ver, sobre todo, con el desarrollo de los modelos discretos-continuos y, por tanto, con la posibilidad de proponer modelos que recojan decisiones de corto y largo plazo simultáneamente, el avance en la literatura que se preocupa de obtener resultados, a partir de la demanda eléctrica condicionada, también evolucionó de forma importante.

En este contexto cabe destacar el trabajo de Parti y Parti (1980). En este trabajo, que tiene su punto de partida en el estudio de Fisher y Kaysen (1962), los autores pretendían estimar el consumo de energía de cada electrodoméstico que poseía el hogar sin recurrir a modelos de ingeniería, como los descritos en la sección 2.1.2 de este capítulo, o a la medición del uso final eléctrico de cada aparato. Así, la demanda de electricidad se especificó como la suma de las funciones de demanda de cada electrodoméstico particular y, a partir de aquí, se calcularon las elasticidades precio y renta y el uso eléctrico medio asociado a cada categoría de electrodomésticos.

Para llevar a cabo su estudio, Parti y Parti (1980) se basaron en los informes de facturación eléctrica de 5.286 hogares del condado de San Diego, en Estados Unidos. Esta información se fusionó con datos meteorológicos y con un conjunto de variables sobre la propiedad de aparatos del hogar y variables demográficas de los individuos. Los autores contaron con datos anuales de una muestra transversal en 1975.

La ecuación resultante se estimó por mínimos cuadrados en dos etapas, para solucionar el problema de endogeneidad del precio. Los resultados de su regresión ofrecen una elasticidad precio de -0,58 y una elasticidad renta de 0,15.³⁰

En contraposición al trabajo anterior, Dubin, Miedema y Chandran (1986) hicieron uso de un modelo de ingeniería para especificar la función de demanda de corto plazo, como suma de la demanda de cada electrodoméstico.

En particular, este trabajo pretendía medir el efecto precio derivado del hecho de que las tecnologías más eficientes, aplicadas a los electrodomésticos, lleven a un uso más intensivo de los mismos. A su vez, los autores deseaban calcular en qué cuantía el hecho anterior contrarresta a las medidas de conservación energética que persiguen estas tecnologías más eficientes. Para ello, el estudio se centró en el análisis de estos efectos sobre la calefacción y el aire acondicionado.

Dubin, Miedema y Chandran (1986) utilizaron como variable de precios en su trabajo el llamado precio de confort, es decir, el coste monetario de la electricidad

³⁰ En este caso, la variable elegida para captar la elasticidad precio de la demanda fue un precio medio construido *ex post*, como el cociente entre el gasto en electricidad y el número de *kwh* consumidos por el hogar.

para mantener una vivienda en una temperatura ideal de confort, cuyo valor se estima en 21 grados centígrados.³¹

Para estimar el modelo, los autores utilizaron el método de las regresiones aparentemente no relacionadas y obtuvieron una elasticidad precio de -0,55 y una elasticidad renta de 0,61.³²

Los autores concluyeron que las tecnologías más eficientes reducen el precio del servicio que proporcionan, lo cual implicaría un aumento de su demanda que contrarresta, en parte, a la menor necesidad de uso derivada de que su tecnología sea más eficiente. Por tanto, los aparatos electrodomésticos con una mayor tecnología reducirían el consumo de electricidad en una cuantía menor a la que anticiparían las estimaciones de ingeniería.

Posteriormente, Baker, Blundell y Micklewright (1989) y Baker (1992) propusieron modelos para calcular las elasticidades de demanda del consumo eléctrico residencial a partir de la propuesta de Deaton y Muellbauer (1980b), es decir, a partir del *Almost Ideal Demand System*. Bajo este modelo, se supone un contexto de presupuestación en dos etapas y separabilidad de las preferencias de los individuos entre grupos de bienes.³³

En los dos trabajos citados se utilizaron datos de hogares individuales de periodicidad trimestral, sobre series temporales, entre 1972 y 1983 y entre 1971 y 1988, respectivamente.

Asimismo, ambos trabajos consideraron que la mejor especificación del precio de la electricidad se basa en un indicador del precio medio de este bien. Sin embargo, mientras que Baker, Blundell y Micklewright (1989) estimaron su modelo por máxima verosimilitud, Baker (1992) empleó un estimador de mínimos cuadrados ordinarios.

Además, Baker, Blundell y Micklewright (1989) propusieron un modelo que especificaba la demanda, no sólo de la electricidad, sino también del gas, del fuel y

³¹ Como se vio en la sección 2.1.2, el precio o coste de confort ya se utilizó en el trabajo de Dubin (1985).

³² Hemos calculado estos valores como medias a partir de los resultados que se ofrecen en el trabajo original, donde se desagrega el valor de las elasticidades para cada uno de los electrodomésticos analizados y para cada mes del año.

³³ Un análisis detallado de la aplicación de este tipo de supuestos puede consultarse en la sección 2.1.1 del capítulo 1 de esta investigación.

de otros suministros de uso doméstico. Por su parte, Baker (1992) propuso un modelo que se restringía a la demanda residencial de electricidad y de gas.

En cuanto a los resultados, Baker, Blundell y Micklewright (1989) obtuvieron una baja elasticidad renta para la electricidad, de 0,13, que aumentaba por decilas de renta, es decir que a medida que avanzamos en la distribución de la renta, los individuos con mayor ingreso tienen, paralelamente, una elasticidad renta más elevada. Sin embargo, los autores concluyeron que este aumento no era homogéneo para todos los hogares con el mismo nivel de renta, sino que existían variaciones importantes por tipos de hogares, dadas sus características individuales y de la vivienda.

Este resultado, en términos de elasticidad renta llevó a los autores a afirmar que la electricidad es un bien necesario, es decir, que manifiesta una sensibilidad baja al nivel de renta para los hogares con menos recursos y que esta sensibilidad aumenta, a medida avanzamos en la distribución de la variable de ingreso por hogar.

Por su parte, el resultado de la elasticidad precio es mayor, en valor absoluto, que la elasticidad renta, y alcanza un valor de -0,75. Al igual que en el caso de la elasticidad renta, la sensibilidad al precio varía a lo largo de la muestra. Finalmente, Baker, Blundell y Micklewright (1989) destacaron la importancia de considerar explícitamente las relaciones existentes entre las características del hogar y de los individuos, el nivel de precios de la electricidad y el nivel de renta de los consumidores. Todo ello, se podrá reflejar mejor utilizando microdatos, como en el caso del estudio considerado.

En cuanto a los resultados del trabajo de Baker (1992), este autor obtuvo conclusiones similares a las de Baker, Blundell y Micklewright (1989). Sin embargo, podemos destacar las conclusiones que obtuvo Baker (1992) con respecto a las variables relacionadas con el clima. En concreto, este autor apuntó que las respuestas de los consumidores a la temperatura variaban significativamente con las características del hogar y, además, dependían también de los niveles de renta.

Adicionalmente, Baker (1992) calculó que la elasticidad precio de corto plazo anual era de -0,63 para aquellos hogares que disponían de gas natural en el hogar, mientras que esta elasticidad era de -0,60 si los hogares sólo disponían de

electricidad como suministro energético. Por su parte, dados los valores que toman las elasticidades renta de 0,32 y 0,16, para los hogares con suministro de gas y electricidad o sólo de electricidad, respectivamente, Baker (1992) consideró que la electricidad es un bien necesario.³⁴

A continuación, destacaremos el trabajo de Branch (1993) por su tratamiento de los problemas de estimación, asociados al uso de datos de panel, en la estimación de la demanda eléctrica residencial.

Branch (1993) utilizó un estimador de mínimos cuadrados generalizados al comprobar que la estimación por mínimos cuadrados ordinarios era ineficiente, dada la correlación existente entre los residuos de la regresión como consecuencia del uso de datos de panel. Branch (1993) escogió para su estimación una forma funcional semilogarítmica, por lo que los efectos de las elasticidades se derivaron a través de una transformación exponencial de los coeficientes.

Dado este procedimiento, Branch (1993) calculó una elasticidad renta de 0,23 y una elasticidad precio de -0,20. Estos resultados apoyan su hipótesis de que la relación entre la renta y el consumo de electricidad es directa e inelástica en el corto plazo. Asimismo, Branch (1993) afirmó que en los modelos en que no se controla por la propiedad de los electrodomésticos del hogar es probable que la elasticidad renta sea mucho mayor. Sus resultados también indican que el tamaño de la unidad familiar y las características de los individuos y del hogar, tales como la superficie del hogar, la edad de los individuos o su estado civil, tienen efectos importantes sobre el consumo eléctrico doméstico.

Posteriormente, Leth-Petersen y Tobeby (2001) estimaron una función de demanda condicionada de combustibles energéticos domésticos utilizando, al igual que Branch (1993), datos de panel. Sin embargo, este trabajo tiene la particularidad de que la unidad de observación no es un hogar individual, sino bloques de apartamentos con más de 1.500 metros cuadrados de superficie en cinco ciudades de Dinamarca. En total, se consideraron 4.820 observaciones con periodicidad trimestral, entre 1984 y 1985.

³⁴ Baker (1992) llega a esta conclusión al suponer que los hogares que disponen sólo de electricidad como suministro energético son susceptibles de contar con menos recursos económicos que aquellos hogares que disponen de electricidad y gas simultáneamente.

Además, el objetivo último de este trabajo fue medir la efectividad de los instrumentos políticos que buscan reducir el consumo energético doméstico.³⁵

El modelo resultante se estimó por mínimos cuadrados ordinarios con efectos fijos. Los resultados del trabajo indican que las medidas políticas, que afectaban al precio de los suministros energéticos, tuvieron un efecto muy limitado sobre el consumo de energía en los bloques de apartamentos durante el corto plazo. En efecto, el trabajo obtiene una elasticidad precio de -0,02. Por su parte, se concluye que el programa de auditoría para mejorar la eficiencia energética, en edificios construidos con anterioridad a 1977, tuvo efectos moderados sobre el consumo.

Asimismo, Leth-Petersen y Togeby (2001) no calcularon explícitamente un valor de elasticidad renta en su trabajo.

Por otro lado, Leth-Petersen (2002) realizó una contribución relevante al análisis de la demanda residencial de electricidad, al utilizar conjuntamente técnicas paramétricas y no paramétricas en su estudio sobre una muestra de corte transversal de 2.885 hogares, durante 1996 en el norte de Copenhague.

En concreto, Leth-Petersen (2002) utilizó un análisis no paramétrico de los datos para determinar la mejor especificación paramétrica del modelo y, posteriormente, contrastar la separabilidad o complementariedad en el uso de la energía eléctrica y del gas como suministros domésticos.

El análisis no paramétrico del trabajo sugiere que el consumo de electricidad y gas pueden seguir una relación no lineal respecto a la edad de los individuos que habitan en el hogar, y una relación lineal con el nivel de gasto de estos individuos. Asimismo se concluye que la demanda de electricidad es débilmente separable de la demanda de gas y viceversa. Adicionalmente, se encontró evidencia sobre la idoneidad de proponer un modelo que estimara una única ecuación de la demanda

³⁵ En este trabajo se valora la efectividad de dos medidas políticas concretas. En primer lugar, la regulación gubernamental danesa de 1982, en la que se reduce el nivel permitido de pérdida de calor en los edificios nuevos de apartamentos en un cincuenta por ciento respecto al nivel de 1977. En segundo lugar, se valora la efectividad de los programas de auditoría a los edificios, en los que un evaluador externo independiente a las comunidades de vecinos, controla la eficiencia en el consumo de los sistemas de calefacción. Una vez que se auditaba el edificio, el evaluador proponía una serie de medidas para mejorar los niveles de eficiencia en el consumo, como contadores individuales por planta para controlar el consumo de calefacción. Como incentivo, los edificios que pusieron en marcha las medidas propuestas recibieron subsidios por parte del Estado, dado que la puesta en marcha de estas regulaciones y de las medidas de conservación energética tuvieron una repercusión en forma de un mayor precio de la electricidad.

de energía con datos de corte transversal. Por otra parte, los resultados sugieren que el consumo eléctrico depende del número de hijos de las familias y del tamaño del hogar, a diferencia del consumo de gas que se observa que es independiente del número de hijos.

El autor obtiene además una elasticidad renta de corto plazo de 0,28. Sin embargo, este trabajo adolece de una deficiencia, ya que no considera explícitamente ninguna variable que recoja el efecto del precio de la electricidad sobre su consumo y, por tanto, no se calcula la elasticidad precio correspondiente.

En este punto, damos por concluida la revisión de la literatura empírica de las últimas décadas, en lo que se refiere a la demanda residencial de electricidad condicionada o de corto plazo. En la sección 4 de este capítulo recogeremos las principales conclusiones que se derivan de esta revisión, junto con las que obtendremos del repaso de la evidencia empírica para los modelos de largo plazo, que pasamos a revisar a continuación.

3.2. Evidencia empírica en el largo plazo

El objetivo de esta sección es completar la panorámica de los resultados empíricos más relevantes que se han obtenido en la literatura científica, centrándonos en los trabajos que han optado por un enfoque de largo plazo en la estimación de la demanda residencial de electricidad.

En la Tabla 2.2 se muestra la evidencia empírica seleccionada para documentar los principales resultados obtenidos siguiendo este enfoque de largo plazo. En esta tabla consideramos las mismas variables que en la Tabla 2.1, es decir, la especificación adoptada del precio de la electricidad, el modelo utilizado, el método de estimación, las elasticidades precio y renta, en este caso de corto y de largo plazo, y el tipo de datos empleados en cada trabajo.

De la observación de la Tabla 2.2 podemos comentar, en primer lugar, que la mayoría de trabajos seleccionados se decantan por el uso del precio medio como indicador del precio de la electricidad. Este hecho no era tan mayoritario en los trabajos de corto plazo, aunque aquí, el hecho de que ocho de los trabajos presentados correspondan a estimaciones con datos agregados, puede haber jugado un papel relevante a la hora de especificar la variable del precio de la electricidad como un precio medio.

En cuanto al tipo de modelo utilizado podemos distinguir, básicamente, dos tipos: el modelo de ajuste parcial y el modelo discreto-continuo, ambos en diferentes versiones y grados de sofisticación.

Asimismo, la estimación de los modelos de los trabajos presentados se ha llevado a cabo por un conjunto de técnicas diversas. Entre ellas se encuentran la de mínimos cuadrados ordinarios, generalizados y en dos etapas, la de máxima verosimilitud, el estimador intragrupos y el mecanismo de corrección del error bajo un enfoque de cointegración.

Respecto a los resultados, para cada uno de los trabajos se recogen las elasticidades precio y renta de corto y largo plazo. En general las elasticidades de largo plazo, tanto del precio como de la renta, superan en valor absoluto a los valores de corto plazo. Este resultado está bien asentado en la literatura y es razonable, dado que es probable que el margen de maniobra del consumidor, para reaccionar a variaciones en el precio del suministro y en su nivel de renta, sea mayor en el largo plazo, puesto que en este horizonte temporal los individuos, no sólo pueden variar la intensidad de uso de los electrodomésticos, sino incluso la configuración de su propio stock de aparatos. Este hecho contribuye a una mayor flexibilidad del consumo en el largo plazo.

En general, podemos afirmar que todas las elasticidades precio tienen un signo negativo y las elasticidades renta un signo positivo, a excepción de los trabajos de Fisher y Kaysen (1962) y de Fouquet (1995). Esta evidencia rechaza mayoritariamente la naturaleza de bien inferior de la electricidad, que habían apuntado algunos de los trabajos revisados en la sección anterior.

Las elasticidades precio de corto plazo se mueven entre -0,004 en el trabajo de Dubin y McFadden (1984) y -1,01 en el de Fouquet (1995), estando su valor medio en torno a -0,41, muy similar por tanto, al valor medio de la elasticidad precio que puede inferirse de los trabajos de corto plazo.

Las elasticidades precio de largo plazo oscilan entre -0,06 en el trabajo de Fisher y Kaysen (1962) y -1,21 en el trabajo de Halvorsen (1975), estando su valor medio en torno a -0,51.

Tabla 2.2 Resultados en términos de elasticidad precio y elasticidad renta bajo un enfoque de largo plazo

Trabajo	Precio	Modelo	Método de estimación		Elasticidad precio		Elasticidad renta		Tipo de datos
			Corto plazo	Largo plazo	Corto plazo	Largo plazo			
Fisher y Kaysen (1962)	Pme	Demanda de electricidad condicionada / Modelo de contagio	Estimación de una ecuación en diferencias por Mínimos Cuadrados Ordinarios	-0,34 ^a	-0,06 ^a	-0,07 ^a	0,13 ^a	ST / CT agrupado: 1946-1957, Estados. EE.UU	
Griffin (1974)	Pme	Modelo de retardos distribuidos según el polinomio de Almon	Variables instrumentales	-0,06	-0,52	0,06	0,88	ST: anuales, período de post guerra mundial. Agregados. EE.UU	
Halvorsen (1975)	Pma	Demanda de electricidad estructural y en forma reducida	Variables instrumentales	-----	-1,00 / -1,21 ^b	-----	0,47 / 0,54 ^b	CT / CT agrupado: 1961-1969. 48 Estados. Agregados. EE.UU.	
McFadden, Kurshner y Puig (1977)	Pme, pma y tasa de ∇ pma	Modelo discreto-continuo secuencial	Logit multinomial / Variables instrumentales	-0,25 / -0,52 ^c	-0,116	0,22	0,481	CT: hogares individuales 1975 Washington. EE.UU.	
Mount y Chapman (1977)	Pma/Pme	Doble logarítmico con mecanismos de ajuste parcial (retardo distribuido de Koyck)	Mínimos cuadrados generalizados, con efectos aleatorios transversales	-0,31	-1,17	0,16	0,61	CT-ST: Estados, anual 1963-1972. EE.UU.	
Dubin y McFadden (1984)	Pma	Modelo discreto-continuo	MV / VI / forma reducida / expectativas condicionadas	-0,254	-0,26	0,01	0,02	CT: 1975, hogares individuales, Washington, EE.UU.	

Tabla 2.2 (Continuación)

Trabajo	Precio	Modelo	Método de estimación	Elasticidad precio		Elasticidad renta		Tipo de datos
				Corto plazo	Largo plazo	Corto plazo	Largo plazo	
Dubin (1985)	P _{ma}	Modelo de carga de ingeniería / Modelo logit anidado / Simulación	Estimación condicionada / Mínimos cuadrados en dos etapas	-0,41 ^a	-0,90	0,108 ^a	0,109	ST: hogares individuales, 1978-1980 EE.UU.
Baker y Blundell (1991)	Índice basado en el P _{me}	Modelo discreto-continuo secuencial	<i>Probit</i> / <i>Almost Ideal Demand System</i> Extendido	-0,89 ^a	-0,33	0,21 ^a	0,64	Datos de panel: hogares individuales, 1972-1988, R.U.
Fouquet (1995)	Índice basado en P _{me}	Modelo de ajuste parcial	Mecanismo de corrección del error con un enfoque de cointegración	-1,01	-0,39	-0,29	-0,24	ST: agregados, 1974-1994, Inglaterra y Gales
Silk y Joutz (1997)	P _{me}	Modelo de ajuste parcial	Mecanismo de corrección del error con un enfoque de cointegración	-0,62	-0,5	0,38	0,5	ST: agregados, anuales 1949-1993, EE.UU.
Nesbakken (1999)	P _{me}	Modelo discreto-continuo	Máxima verosimilitud con información completa	-0,50 ^a	-----	0,01 ^a	0,20 ^a	CT: hogares individuales, 1993, 1994, 1995, Noruega.
Halvorsen y Larsen (2001)	P _{me}	Modelo discreto-continuo	Dos etapas: Estimación de instrumentos a través de un <i>probit</i> / Mínimos Cuadrados Ordinarios	-0,43	-0,44	-----	0,09	ST: hogares individuales, 1975-1994, Noruega.

Tabla 2.2 (Continuación)

Trabajo	Precio	Modelo	Método de estimación	Elasticidad precio	Elasticidad renta	Tipo de datos
Hondroyannis (2004)	P _{me}	Modelo de ajuste parcial	Mecanismo de corrección del error con un enfoque de cointegración en tres etapas	Corto plazo -0,22 Largo plazo -0,41	Corto plazo 0,20 Largo plazo 1,56	ST: agregados, mensuales, 1986-1999, Grecia
Benavente <i>et al</i> (2005)	P _{me}	Modelo de ajuste parcial con variable endógena retardada	Estimador intragrupos	-0,27	0,08	Datos de panel: 1995-2001, regiones de Chile

- Hemos calculado una media de las elasticidades a partir de un rango de valores aportados en el trabajo original.
 - Cada uno de los valores corresponde a la estimación del resultado a través de dos formas funcionales distintas.
 - Se calculan elasticidades distintas considerando la presencia o ausencia de dos tipos de electrodomésticos.
- P_{ma}: precio marginal; P_{me}: precio medio; MV: máxima verosimilitud; VI: variables instrumentales; CT: Corte transversal; ST: Serie temporal; EE.UU: Estados Unidos; R.U: Reino Unido
Fuente: Elaboración propia

Las elasticidades renta de corto plazo oscilan entre un valor mínimo de -0,29 en el trabajo de Fouquet (1995) y un valor máximo de 0,38 en el trabajo de Silk y Joutz (1997). El valor medio de este resultado es de 0,09. En este caso, el valor medio para los trabajos presentados es sensiblemente inferior al de los trabajos que optan por el enfoque de estimación de la demanda residencial de electricidad condicionada.

Las elasticidades renta de largo plazo varían entre un valor mínimo de -0,24, según Fouquet (1995), y un valor máximo de 1,56 en el trabajo de Hondroyiannis (2004). El valor medio de esta elasticidad se sitúa alrededor de 0,41, que es notablemente superior al valor correspondiente de corto plazo.

Por último, la mayoría de los trabajos presentados optan por el uso de series temporales en el trabajo empírico. Asimismo, ocho de los estudios revisados tienen su contexto geográfico en Estados Unidos. Los seis trabajos restantes se dividen entre dos estudios para el Reino Unido, dos para Noruega, uno para Grecia y uno para Chile.

Una vez realizados los comentarios generales que se desprenden de la observación de la Tabla 2.2, vamos a comentar con más detalle el contenido de los trabajos que revisamos. Para ello, en las tres secciones siguientes distinguiremos si los estudios corresponden a las primeras aproximaciones en la estimación de la demanda doméstica de electricidad de largo plazo, si se enmarcan en los avances metodológicos sustanciales que tuvieron lugar en la década de los ochenta, o bien si son trabajos que responden a avances metodológicos recientes en la literatura.

3.2.1. Los orígenes: la especificación del precio importa

Los primeros trabajos que intentaron aproximar la demanda residencial de electricidad de largo plazo tenían preocupaciones similares a las de los trabajos sobre la demanda eléctrica doméstica condicionada. Es decir, establecer con fiabilidad los determinantes de la demanda residencial de electricidad y especificar de forma adecuada las variables que influyen sobre la misma, con especial énfasis en el precio, que es la variable que despierta mayor controversia.

El primer trabajo que podemos destacar en la literatura empírica de esos años es el de Fisher y Kaysen (1962).³⁶ En este estudio se calculó la elasticidad precio y renta de la electricidad de corto y largo plazo, para cada uno de los Estados de Estados Unidos entre 1946 y 1957. Para ello se estimó por mínimos cuadrados ordinarios una ecuación en diferencias, a partir de una demanda de electricidad condicionada en el corto plazo y un modelo de contagio en el largo plazo.³⁷

Los autores se basaron en un indicador de precios medios de la electricidad, que era la mejor información de la que disponían para aproximar esta variable en el conjunto de hogares analizados. Asimismo, consideraron que la unidad de análisis debía ser una comunidad de hogares, que ellos agruparon a través de los Estados de Estados Unidos, por contraposición a los hogares individuales de otros estudios posteriores.

De sus resultados se desprende que no hay ninguna elasticidad precio o renta superior a uno en valor absoluto en el corto plazo y, prácticamente, todas las elasticidades precio son negativas, siendo su valor mínimo de -0,94 en Louisiana y su valor máximo de 0,038 en Colorado. Las estimaciones de la elasticidad renta de corto plazo toman un valor medio de -0,07, con un valor mínimo de -0,39 en Vermont y un valor máximo de 0,74 en Louisiana.

Por otro lado, los autores advirtieron que las estimaciones de largo plazo no eran tan fiables como las de corto plazo, debido a la pobre calidad de los datos de que disponían sobre el stock de electrodomésticos en cada Estado. En cualquier caso los resultados aducen que los efectos de largo plazo no son muy importantes, especialmente respecto al precio, y no tanto en relación al nivel de renta de los hogares.

En cuanto a las conclusiones para otras variables, Fisher y Kaysen (1962) argumentaron que el aumento de la demanda de electricidad respecto al crecimiento de la economía norteamericana en su conjunto, se ha servido del

³⁶ Si bien el trabajo de estos autores tuvo un interés destacado para la aproximación de la demanda de electricidad de corto plazo, tal y como se describe ampliamente en la sección 2.1.1 de este capítulo, los resultados empíricos del estudio se revisan en el contexto del largo plazo, dado que la última parte del trabajo intenta aproximar las elasticidades precio y renta de este horizonte temporal.

³⁷ El modelo de contagio de Fisher y Kaysen (1962) es el precursor de metodologías más recientes basadas en los modelos de ajuste parcial y cuya aplicación, como veremos más adelante, se ha utilizado en numerosos trabajos, como el de Mount y Chapman (1977), Fouquet (1995), Silk y Joutz (1997) o Benavente, Galetovic, Sanhueza y Serra (2005).

cambio tecnológico que tuvo lugar con la introducción de nuevos bienes de carácter duradero. Por tanto, a medida que los electrodomésticos viejos se acercaban a su nivel de saturación, su tasa de crecimiento tendía a estar determinada por la tasa de crecimiento de la población, la renta de largo plazo, y la tasa de electrificación. Sin embargo, los nuevos electrodomésticos tienden a crecer más rápidamente y están sujetos a otras influencias, tales como el nivel de renta corriente.

El trabajo de Fisher y Kaysen (1962) ha tenido repercusiones importantes sobre la literatura empírica posterior y ha generado algunos debates entre la comunidad científica. En este sentido, el trabajo de Griffin (1974) intentó dirimir la controversia entre el estudio de Fisher y Kaysen (1962) y el posterior de Wilson (1971). En el primero se afirma, como ya hemos visto, que los principales determinantes de la demanda de electricidad son los factores demográficos y tecnológicos, junto con el nivel de renta de largo plazo de los consumidores, mientras que el precio de la energía eléctrica tiene muy poca importancia. Por su parte, Wilson (1971), en un estudio con datos de corte transversal, llega a la conclusión de que el principal determinante de la demanda de electricidad es el precio, mientras que el resto de variables juega un papel secundario.

En este contexto, Griffin (1974) resuelve la controversia anterior a favor de Wilson (1971), en su estudio con datos anuales, para una serie temporal que cubre el período de la post guerra mundial en Estados Unidos.

Griffin (1974) concluyó que el precio es un elemento fundamental a la hora de determinar la demanda eléctrica. Sin embargo, mientras que la respuesta de los consumidores a esta variable en el corto plazo es baja (-0,06), los efectos que pueden derivarse en el largo plazo, como consecuencia de una variación en el precio son sustanciales (-0,52). La misma conclusión se deduce para el efecto de la renta de los individuos como determinante de la función de demanda, con unas elasticidades de 0,06 y 0,88 en el corto y el largo plazo, respectivamente.

Los trabajos anteriores se realizaron utilizando datos agregados. Este tipo de datos es el que también utilizó Halvorsen (1975). El objetivo de este último trabajo tiene igualmente su origen en conocer los determinantes de la función residencial de demanda eléctrica, aunque la motivación del autor es ligeramente distinta respecto de los estudios anteriores. Halvorsen (1975) enmarcó su estudio en la profunda crisis energética que se estaba viviendo, a escala mundial, en la

primera mitad de la década de 1970. El autor se mostró sorprendido por los resultados de Fisher y Kaysen (1962) y puso en tela de juicio que la renta de largo plazo de los consumidores fuera la única variable realmente importante a la hora de determinar la función de demanda de electricidad, quedando el precio de este insumo energético en un segundo plano.

El autor atribuyó este resultado a la especificación de la ecuación de demanda de Fisher y Kaysen (1962), donde todas las variables se especifican en niveles, excepto la renta, que se expresa en diferencias.

De hecho, las dos estimaciones de Halvorsen (1975), a partir de una ecuación estructural y una forma reducida, ofrecen una elasticidad precio muy considerable en el largo plazo. En ambos casos superior a la unidad en valor absoluto, así como valores también importantes para la elasticidad renta de largo plazo.

Sin embargo el estudio de Halvorsen (1975) adolece de algunas deficiencias. El modelo que se plantea en el trabajo es claramente de largo plazo, tanto por el período temporal elegido de nueve años, como por no proponer una función de demanda condicionada al stock de electrodomésticos.³⁸ Sin embargo este stock de aparatos, o en su defecto su tasa de variación, no se tiene en cuenta de forma explícita. Al respecto tan sólo se incorpora una variable en la ecuación de demanda que recoge la influencia del precio de los electrodomésticos. Esta variable se especifica como un índice de precios para el conjunto de estos bienes duraderos. La estimación de la ecuación de demanda, así planteada, concluye que los parámetros asociados a la variable del precio de la electricidad y del nivel de renta son las elasticidades de largo plazo de la demanda residencial de electricidad.

Bajo nuestro punto de vista, en la estimación de una ecuación de demanda estática, lo anterior no tendría por qué ser así y podríamos decir que el resultado obtenido por Halvorsen (1975) no puede considerarse de largo plazo. En cambio, su estimación de una función de demanda dinámica, donde se incluye la variable endógena (consumo de electricidad *per capita*) retardada, es más robusta.

³⁸ Podemos considerar que un período cercano a diez años es un horizonte temporal adecuado para la vida útil de algunos electrodomésticos. (Dubin, 1985). Aunque lo anterior no se contradice con la idea de que la magnitud del horizonte temporal define, por sí misma, que estemos refiriéndonos a un contexto de corto o de largo plazo, pues como hemos señalado anteriormente, el elemento determinante para ello es que el stock de electrodomésticos sea fijo o variable.

Vale la pena remarcar que Halvorsen (1975) resuelve bien la posible endogeneidad que se deriva de la inclusión del precio marginal de la electricidad en la ecuación de demanda. Para ello, el autor estimó una regresión independiente de la variable de precios e incluyó este resultado en la ecuación de demanda principal. Lo anterior es meritorio, teniendo en cuenta que Halvorsen (1975) es capaz de incluir buenos instrumentos para predecir el nivel de precios marginales, aun cuando está trabajando con datos agregados para el conjunto de Estados Unidos.

Asimismo, Halvorsen (1975) encontró escasa evidencia de sustitución entre el gas y la electricidad, dada una elasticidad precio cruzada entre ambos suministros de tan sólo 0,04. A partir de aquí, el autor analizó los efectos de la introducción de un impuesto *ad valorem* sobre el consumo de electricidad, comprobando que su efecto sería claramente regresivo, dados los valores de las elasticidades calculadas.

Hasta aquí, los trabajos comentados no han tenido presente de forma explícita las consecuencias de introducir un tipo de precio u otro sobre la estimación de la función de demanda de electricidad. Es decir, que se han decidido por incluir el precio medio o el precio marginal, atendiendo básicamente a cuáles eran los mejores datos disponibles, pero no han valorado las repercusiones que ello podría tener sobre la fiabilidad de los resultados, más allá de los efectos econométricos sobre la estimación.³⁹

Por ello, el trabajo de McFadden, Kirshner y Puig (1977) marcó un hito importante en la evolución de la literatura, respecto a la consideración de la mejor especificación de la variable de precios en la ecuación de demanda de electricidad.

Estos autores no se decidieron exclusivamente por la incorporación de una variable de precio medio o marginal, sino que intentaron recoger la expresión total del programa tarifario a través de tres variables de precios distintas.

Su razonamiento se apoyó en el trabajo de Houthakker y Taylor (1970), el *survey* de Taylor (1975), el trabajo empírico de Taylor, Blattenberger y Verleger (1976) y el trabajo teórico de Taylor (1977a), que apostaban por la inclusión de un indicador del precio marginal en la ecuación de demanda de electricidad, para

³⁹ En este sentido, tanto Griffin (1974) como Halvorsen (1975) utilizaron variables instrumentales para corregir la endogeneidad de la variable de precios en sus ecuaciones de demanda estimadas.

reflejar fielmente la influencia de un sistema tarifario en bloques sobre la demanda eléctrica residencial.

McFadden, Kirshner y Puig (1977) partieron de la idea de que la demanda de electricidad es una demanda derivada de los servicios que se obtienen de una serie de electrodomésticos e históricamente se ha tarifado a través de una estructura de precios por tramos decrecientes. A partir de estas dos hipótesis los autores formularon un modelo estructural con dos ecuaciones, donde la primera describe la intensidad de uso de los electrodomésticos, dada una tenencia de un stock de aparatos, y la segunda describe la elección de la propia cartera de electrodomésticos.

Por tanto, los autores propusieron un modelo de corto y de largo plazo, aunque ambas ecuaciones no se estimaron conjuntamente, sino de forma secuencial.

Para estimar el modelo se optó por una especificación logarítmica de las dos ecuaciones anteriores. La primera se estimó por variables instrumentales y la segunda, según el modelo de elección *logit* multinomial de McFadden (1974).

Cabe resaltar que el trabajo de McFadden, Kirshner y Puig (1977) fue pionero en un enfoque como el anterior y se enfrentó a la estimación empírica utilizando microdatos, obtenidos a partir de una encuesta sobre 3.249 hogares en Washington durante 1975.

Su especificación de la variable precio en la primera ecuación consideró, tanto el precio marginal del último bloque tarifario en que los individuos consumen electricidad, como el precio intramarginal, calculado como el ratio entre el gasto en electricidad y los *kwh* consumidos, ambos exceptuando el gasto y consumo del último bloque. Por último, los autores consideraron una variable denominada tasa de reducción del precio marginal, que no es más que el cociente entre el precio marginal del último bloque de consumo y el del bloque anterior.

Respecto a los resultados, los autores concluyeron que si bien es cierto que la sensibilidad de los consumidores a variaciones en el nivel de renta es mayor en el largo que en el corto plazo, no ocurre lo mismo con la sensibilidad al precio.

Asimismo, los resultados del trabajo indican que la presencia de calefacción aumenta la elasticidad precio, pero no así el calentador de agua o el aire acondicionado. Por su parte, la elasticidad precio de corto plazo es superior para

los hogares que disponen de calefacción eléctrica (-0,52), en relación a aquéllos que no disponen de este equipo (-0,25), mientras que el consumo medio de electricidad, condicionado a la disponibilidad de aire acondicionado y al suministro energético de calefacción, ofrece una elasticidad renta de 0,22, que aumenta a 0,481 en el largo plazo.

El trabajo de McFadden, Kirshner y Puig (1977) ha sido una referencia básica en la literatura a partir de su publicación y numerosos autores han optado por una especificación del precio como la de este trabajo o, al menos, reconocen que el precio marginal es la variable relevante cuando los consumidores se enfrentan a una estructura tarifaria en bloques decrecientes.

En esta línea de trabajo podemos encontrar el estudio de Mount y Chapman (1977), que a pesar de utilizar datos agregados, incluyeron tanto el precio marginal como el precio intramarginal en su ecuación de demanda de electricidad.

Mount y Chapman (1977) concluyeron que el precio de la electricidad es un determinante fundamental de la cantidad demandada de este bien y consideraron que, dada la crisis energética que se estaba viviendo en ese momento, no era aventurado pronosticar una reducción importante de la demanda de energía eléctrica en el futuro, puesto que el trabajo no sólo estima las elasticidades precio y renta de corto y largo plazo para el sector residencial (ver Tabla 2.2), sino también para el comercial e industrial.

Posteriormente, Baker y Blundell (1991), utilizando un modelo de decisiones de corto y largo plazo secuencial, afirmaron que los datos transversales son débiles a la hora de realizar inferencias en términos de políticas sobre el sector.

Estos autores plantearon que en estudios de largo plazo, lo ideal es disponer de datos de panel para el cálculo de elasticidades precio y renta, y para poder valorar los efectos de la edad y de la composición generacional de los hogares sobre el consumo de electricidad.

Bajo estas premisas, Baker y Blundell (1991) propusieron estimar dos ecuaciones. En la primera de ellas se explica el gasto en suministros energéticos en el hogar, condicionado a un stock de electrodomésticos, a través de un *Almost Ideal Demand System* extendido. En la segunda, se analiza la propiedad de los propios electrodomésticos a través de un modelo *probit*.

Los resultados de este trabajo indican que las elasticidades precio del uso de electricidad y gas tienen valores elevados y, en todo caso, superiores a las elasticidades renta. Ambas elasticidades muestran una fuerte variación a lo largo de la muestra.

Además, Baker y Blundell (1991) encontraron efectos significativos relacionados con la temperatura, que explicaban los patrones estacionales del consumo. Por último, los autores concluyeron que es importante considerar los efectos de la edad y de la composición generacional de la población, a la hora de explicar la propiedad de los bienes duraderos y la elección del suministro energético con que abastecerse de servicios en el hogar.

3.2.2. Los avances metodológicos de la década de los ochenta

En los años ochenta la evidencia empírica fue testigo de un avance metodológico muy importante que revolucionó el enfoque de la estimación de la demanda de electricidad residencial.

Los trabajos que protagonizan este avance son el de Dubin y McFadden (1984) y el Dubin (1985).

En particular, el trabajo de Dubin y McFadden (1984) propuso un modelo en que se estimaba conjuntamente la demanda de electrodomésticos y su uso eléctrico, analizando ambas decisiones como contemporáneas y aplicando el análisis al caso de la elección entre la calefacción central en el hogar y el calentador de agua, dejando que la cartera de otros aparatos fuera exógena.

Por tanto, el trabajo de Dubin y McFadden (1984) supuso la posibilidad de pasar de una estimación secuencial de la demanda de corto y largo plazo, a una estimación conjunta de ambas demandas bajo un modelo discreto-continuo.

Para ello, se utilizó un corte transversal de 313 hogares individuales en Washington, durante 1975. A la hora de especificar el precio de la electricidad se optó por un indicador del precio marginal de este bien.

Los resultados del modelo ofrecen una elasticidad precio de -0,254 y una elasticidad renta de 0,01 en el corto plazo. En el largo plazo, el valor de las elasticidades precio y renta estimadas fue de -0,26 y 0,02, respectivamente.

Adicionalmente, Dubin y McFadden (1984) concluyeron que los factores no observados, que influyen sobre la elección de la cartera de electrodomésticos, no son independientes de los factores no observados que influyen sobre la intensidad de su uso. Dada esta situación, los autores aconsejan estimar la intensidad de uso de los aparatos a través de un estimador de mínimos cuadrados en dos etapas, que no sólo será factible, sino que tendrá propiedades estadísticas satisfactorias: insesgadez, consistencia y eficiencia.

Por su parte, Dubin (1985) partió de la hipótesis de que ni los modelos puramente tecnológicos, ni los que se basan exclusivamente en el comportamiento de los individuos, proporcionan predicciones precisas de la demanda de energía.

Por ello, el autor propuso un modelo donde se recogían explícitamente las restricciones físicas impuestas por la tecnología de los bienes duraderos y puso el énfasis en el papel del comportamiento de los individuos en el consumo de energía, a través de la elección de los electrodomésticos y las características de los mismos.

Dubin (1985) representó las restricciones tecnológicas sobre las posibilidades de consumo a través de un modelo de carga o de ingeniería, mientras que la elección de la cartera de los electrodomésticos se formalizó a partir de un modelo *logit* anidado.

La estimación del modelo se llevó a cabo sobre una serie temporal, entre 1978 y 1980, con hogares individuales en el territorio de Estados Unidos. La variable de precios utilizada fue el precio marginal y se corrigió la endogeneidad causada por ella, empleando una estimación de mínimos cuadrados en dos etapas.

Los resultados obtenidos para las elasticidades precio están en la línea de la literatura del sector, puesto que son negativas e inferiores a uno en valor absoluto, y el valor de largo plazo es mayor al de corto plazo, en concreto ambas elasticidades son de -0,41 y -0,90 respectivamente.

Por su parte, las elasticidades renta tienen un valor bastante bajo, de 0,108 y 0,109, en su versión de corto y largo plazo, respectivamente. Este resultado sugiere que

la electricidad tiene características de bien necesario, es decir, un bien cuya elasticidad renta es bastante rígida.⁴⁰

Más allá de lo anterior, Dubin (1985) confirmó que los modelos de ingeniería son una buena técnica de representación de la decisión continua de consumir electricidad. Sin embargo, las necesidades ingentes de información, desde el punto de vista técnico, de estos modelos han hecho que su uso no se haya extendido ampliamente en la literatura.

En cualquier caso, los dos trabajos anteriores, y especialmente el primero de ellos, marcaron de forma decisiva la evolución de la literatura empírica futura, tal y como veremos a continuación.

3.2.3. La literatura reciente: más allá de la sofisticación metodológica

La década de los noventa y los primeros cinco años del nuevo siglo han sido testigos de la aplicación masiva de las mejoras metodológicas conseguidas durante la década de los ochenta, en la estimación de la demanda residencial de electricidad. Más allá de este hecho, en estos últimos años se ha consolidado una metodología alternativa, a partir de los modelos de ajuste parcial y del uso de la estimación del mecanismo de corrección del error y el enfoque de cointegración.

En este contexto podemos destacar el trabajo de Fouquet (1995), en el que se construye un modelo bajo un enfoque de cointegración con el objetivo de estimar las elasticidades precio y renta del consumo eléctrico residencial. Aquí el cálculo de las elasticidades intenta investigar el impacto de la introducción del impuesto sobre valor añadido (IVA) sobre la demanda de suministros energéticos, por parte de los consumidores residenciales.

Para ello, se utilizó una serie temporal con periodificación trimestral, entre 1974 y 1994, sobre un conjunto de datos regionales de Inglaterra y Gales. En este caso, la variable representativa del precio se construyó como el precio medio de la energía respecto a otros productos, y a través del cociente entre el precio de una serie de suministros: electricidad, gas, fuel-oil y leña, respecto al precio medio de la energía.

⁴⁰ Como ya hemos visto, algunos autores sugieren que la naturaleza de bien necesario de la electricidad, se complementa con el hecho de que su elasticidad renta sea creciente a medida que consideramos individuos con un mayor nivel de ingreso.

En sus conclusiones, Fouquet (1995) dedujo que a la hora de examinar el impacto del IVA sobre la demanda de insumos energéticos, las elasticidades asociadas con el precio de la energía respecto a otros productos son el indicador más relevante.

En un ejercicio de predicción, el autor mostró que todos los suministros analizados parecían estar afectados por la introducción del IVA. En particular la demanda de gas natural aumentaría tras un aumento real del precio de la energía, mientras que el consumo de otros suministros disminuiría. En conjunto, las predicciones sugerían que la demanda de energía disminuye de forma modesta tras la introducción de un impuesto como el IVA.

Posteriormente, Silk y Joutz (1997) analizaron la demanda residencial de electricidad en Estados Unidos utilizando una serie temporal anual, entre 1949 y 1993 con datos agregados y compararon los resultados con una predicción de esta demanda para 1994 y 1995.

A la hora de estimar la función de demanda eléctrica, los autores construyeron unos índices que recogían la propiedad de electrodomésticos en el hogar e hicieron que éstos interactuaran con una variable de grados día, para capturar los efectos sobre el consumo eléctrico residencial de la relación entre el clima y los electrodomésticos.

La estimación se realizó por un mecanismo de corrección del error bajo un enfoque de cointegración. La estimación por el mecanismo de corrección del error es una generalización del modelo de ajuste parcial y permite la estimación de elasticidades de corto y largo plazo. Por su parte, Bentzen y Engsted (1993) desarrollaron el uso del análisis de cointegración para la demanda de energía.

En este trabajo se señala que este enfoque se basa en que muchas series de datos agregados y macroeconómicos se expresan convenientemente como variables estocásticas integradas de orden uno. A través de la toma de primeras diferencias de los datos se elimina el problema de no estacionariedad, pero a costa de una pérdida de generalidad con respecto a las relaciones de equilibrio de largo plazo entre las variables.

Engle y Granger (1987) resolvieron este problema con la técnica de cointegración. Los autores sugirieron que si todas las variables o un subconjunto de ellas son integradas de orden uno, puede existir una combinación lineal de las variables que sea estacionaria. La combinación lineal se toma para expresar una relación de

equilibrio de largo plazo. Al introducir las nuevas series en la ecuación objetivo, el residuo estimado representa las desviaciones entre los niveles corrientes de las variables y su nivel de equilibrio.

Según los resultados de Silk y Joutz (1997), todas las variables en el modelo contribuyen a la velocidad de cointegración y tienen signos consistentes con la teoría económica. Sus elasticidades de largo plazo toman el mismo valor, aunque tienen el signo opuesto, siendo de $-0,5$ y $0,5$ para el precio y la renta respectivamente. Asimismo, los autores observaron que el consumo de electricidad es relativamente insensible a cambios en los precios de fuentes de energía alternativas.

Por su parte, las elasticidades de corto plazo son de $-0,62$ para el precio y $0,38$ para la renta, mientras que el término de corrección del error es de $-0,37$ y es estadísticamente significativo. Esto sugiere que, si el consumo de electricidad está un 1% por encima del nivel de equilibrio en el año corriente, el 63% de esta diferencia se corregirá al año siguiente.

Por último, los autores observaron una ruptura estructural de su serie de datos en 1963, de forma que en ese año se produjo una reducción de la tendencia creciente del consumo de electricidad en el largo plazo.

El siguiente trabajo que revisaremos es el de Nesbakken (1999). El estudio utilizó tres cortes transversales en 1993, 1994 y 1995, con observaciones de hogares individuales en Noruega. Este trabajo es relevante porque estimó un modelo de estructura discreta-continua utilizando el método de la máxima verosimilitud con información completa, tal y como sugirieron Hanemann (1984) y Train (1986).

El trabajo perseguía encontrar una buena estimación del impacto sobre el consumo de energía de introducir, o aumentar, los impuestos sobre los insumos domésticos. Además, Nesbakken (1999) pretendía contrastar la estabilidad de las elasticidades precio y renta a lo largo del tiempo y entre hogares.

Los resultados del trabajo indican que los parámetros estimados son estables de año a año. Por otro lado, Nesbakken (1999) obtuvo una elasticidad renta de largo plazo superior para los hogares de renta alta que para los de renta baja, al igual que Baker, Blundell y Micklewright (1989). Finalmente, los resultados de este

trabajo indican que los hogares de renta alta son más sensibles al cambio de precios de la energía que los de renta baja.⁴¹

Halvorsen y Larsen (2001) estimaron un modelo discreto-continuo en dos etapas para resolver el problema de la endogeneidad de variables como el precio medio y el nivel de renta en la ecuación de demanda de electricidad. La estimación se llevó a cabo con una serie temporal, entre 1975 y 1994, sobre un total de 23.284 hogares en Noruega.

Los autores concluyeron que las elasticidades precio de la electricidad no diferían significativamente entre el corto y el largo plazo, con valores de $-0,43$ y $-0,44$ respectivamente. Esta escasa variación llevó a los autores a afirmar que la electricidad es un bien necesario a nivel doméstico. Asimismo, el trabajo afirma que sus resultados de largo plazo no difieren significativamente respecto de estudios previos con enfoques diferentes en su país. En este sentido, Halvorsen y Larsen (2001) argumentaron que la similitud de los resultados podía deberse a la ausencia de alternativas en el uso de insumos energéticos para el stock de electrodomésticos analizados.

En cuanto a la elasticidad renta, ésta no se calculó explícitamente en el corto plazo, mientras que en el largo plazo toma un valor bastante bajo, de $0,09$.

Hondroyannis (2004) analizó empíricamente la demanda residencial griega con datos mensuales agregados entre 1986 y 1999, e intentó obtener evidencia sobre si existía una función de electricidad estable a lo largo del tiempo, en el corto y el largo plazo, dentro y fuera del período de estimación, empleando un enfoque multivariante.

Este trabajo tiene interés, puesto que es uno de los pocos estudios empíricos de estas características para los países del sur del mediterráneo.

La estimación se llevó a cabo sobre una forma funcional doble logarítmica para la demanda residencial de largo plazo, donde la renta, el precio medio de la electricidad y la temperatura media ponderada eran las variables exógenas, y el

⁴¹ A efectos de facilitar la presentación de los resultados, en la Tabla 2.2 hemos calculado una media del conjunto de elasticidades obtenidas por Nesbakken (1999) para contar con un valor único de referencia, pese a que como hemos dicho el autor calcula elasticidades desagregadas por tramos de renta de los individuos, tanto para el nivel de precios de la electricidad, como para su nivel de renta.

consumo doméstico de electricidad era la variable endógena. En la estimación de esta ecuación, el mecanismo de corrección del error captura la dinámica de corto plazo de las variables. En cuanto al análisis de cointegración, para estudiar la demanda de electricidad griega, éste se lleva a cabo en tres etapas.

En sus resultados, Hondroyannis (2004) calculó una elasticidad renta de largo plazo de 1,56 y una elasticidad precio de largo plazo de -0,41. Adicionalmente, la variación en la temperatura también mostró un impacto significativo sobre el consumo de electricidad en el largo plazo, aunque no así en el corto plazo. La demanda en el corto plazo era más inelástica a la renta y al precio, mientras que el crecimiento corriente del consumo eléctrico doméstico se determinaba a través de una relación negativa con el consumo de electricidad retardado cuatro períodos y a través de una relación positiva con el consumo de electricidad retardado doce meses.

Por último, Benavente, Galetovic, Sanhueza y Serra (2005) pretendieron verificar que la hipótesis de que el consumo de electricidad es insensible al precio es equivocada. Según los autores, tanto en el corto como en el largo plazo, la demanda de electricidad doméstica responde al precio de forma considerable.

Para ello, los autores estimaron un modelo de ajuste parcial, utilizando datos de panel agregados, entre 1995 y 2001, en Chile. Las unidades de observación eran las distintas regiones en las que se divide el país. El modelo se estima a través de un estimador intra grupos, que se elige, de entre cuatro estimadores posibles, tras realizar un ejercicio de *Montecarlo*.

Los resultados ofrecieron una elasticidad precio de -0,27 y -0,39, en el corto y el largo plazo, respectivamente. Por su parte, la elasticidad renta de corto y largo plazo obtenida fue menor, con valores de 0,08 y 0,20, respectivamente.

Con estos resultados, los autores argumentaron que contrariamente a la creencia de que cuando existe una escasez de energía causada, por ejemplo, por una sequía, la mejor solución es recurrir al racionamiento porque la demanda de energía es perfectamente inelástica, la evidencia empírica sugiere que esto no es así, sino que la demanda es relativamente elástica y, por tanto, sería posible gestionar la escasez energética recurriendo a la variación del precio de la electricidad.

Asimismo, los autores pusieron en tela de juicio las discusiones de política eléctrica en Chile, en las que se parte de la base de que la demanda de electricidad

crece a un ritmo de un 7% todos los años, independientemente del estado de la economía y de las condiciones del mercado eléctrico. Sin embargo, este trabajo indica que no debe desatenderse la evolución de los precios de la electricidad a la hora de pronosticar la evolución de la demanda.

En este punto, damos por concluida la revisión a la evidencia empírica más relevante de la demanda eléctrica residencial en las últimas décadas. A continuación, daremos cuenta de las principales conclusiones que pueden extraerse de este ejercicio de revisión, tanto teórica como empírica, que se ha llevado a cabo en este capítulo.

4. Conclusiones

En este capítulo hemos hecho una revisión de la literatura más relevante de las últimas décadas respecto a la estimación de la demanda doméstica de electricidad y la obtención de resultados, en términos de elasticidades precio y renta del consumo.

Los modelos utilizados en las estimaciones empíricas se dividen entre las aproximaciones de corto y largo plazo. Esta distinción radica en si el stock de electrodomésticos en el hogar es fijo, lo cual correspondería al corto plazo, o bien se permite que varíe, que concuerda con una aproximación de largo plazo.

En el primer grupo de modelos hemos destacado la contribución seminal de Fisher y Kaysen (1962) que propusieron estimar la demanda residencial de electricidad condicionada, o de corto plazo, como la suma de las demandas individuales de cada uno de los electrodomésticos en el hogar. Estos autores concluyeron que el stock de electrodomésticos, las características de los individuos y el nivel de renta del consumidor son las variables más influyentes sobre la demanda, siendo el nivel de precios de esta fuente de energía una variable de importancia secundaria.

Con el paso del tiempo, hubo una serie de trabajos que replicaron las conclusiones anteriores, en el sentido que el precio de la electricidad es una variable clave a la hora de determinar el consumo de energía eléctrica. Esta conclusión se ha defendido por Acton, Mitchell y Mowill (1976), Parti y Parti (1980), Gillingham y Hagemann (1981), Baker, Blundell y Micklewright (1989), Branch (1993) o Reiss y White (2005a), entre otros.

De hecho, la discusión sobre cuál es la especificación del precio de la electricidad que mejor aproxima la estructura tarifaria de este bien, ha sido uno de los debates más relevantes en la literatura empírica del sector, tanto en los enfoques de corto plazo como en los de largo plazo.

En este sentido hay autores que apuestan por la inclusión de una medida del precio marginal de la energía eléctrica cuando los consumidores se enfrentan a un programa tarifario por bloques de consumo, como Houthakker (1951a), Taylor (1975, 1977a, 1977b), Hsiao y Mountain (1985) o Leth-Petersen y Togeby (2001), mientras que otros autores van más allá y sugieren que la variable de precios debe especificarse conjuntamente a través de un indicador del precio marginal y del precio intramarginal. Ejemplos de esta última tendencia son Roth (1981), Garbacz (1983) y Reiss y White (2005a).

Asimismo, hay trabajos que obtienen evidencia a favor del uso exclusivo de un indicador del precio medio de la electricidad, como Parti y Parti (1980), Baker, Blundell y Micklewright (1989) o Branch (1993).

Por otro lado, los grandes requisitos de información que demandaba una aproximación como la de Fisher y Kaysen (1962), respecto al stock de electrodomésticos en cada hogar, ha dado paso a una evolución de este enfoque. En efecto, existen trabajos que han optado por especificar las demandas de corto plazo utilizando variables *dummy* que informan sobre la tenencia o ausencia de un electrodoméstico determinado en el hogar, o bien se ha optado por calcular consumos medios genéricos por tipo de aparato. En esta línea de trabajo están los estudios de Parti y Parti (1980), Baker (1992), Leth-Petersen y Togeby (2001) o Halvorsen, Larsen y Nesbakken (2003).

La estimación econométrica de los trabajos de corto plazo se ha servido del método de mínimos cuadrados ordinarios, las variables instrumentales y otros métodos de estimación en dos etapas, la máxima verosimilitud, el método de las regresiones aparentemente no relacionadas o el método generalizado de los momentos.

Estas estimaciones tienen lugar, mayoritariamente, sobre datos de corte transversal, aunque en ocasiones se ha optado por el uso de series temporales y datos de panel. En cualquier caso la mayoría de evidencia empírica se localiza en Estados Unidos, y con menor asiduidad en Europa.

Los resultados sugieren que la elasticidad precio es negativa y tiene una magnitud no despreciable. El valor medio de esta elasticidad es de -0,42 en el conjunto de trabajos que hemos analizado en este capítulo.

La elasticidad renta, por su parte, acostumbra a tener signo positivo y tiene un rango de variación mayor que en el caso de la elasticidad precio. Sin embargo, algunos autores apuntan que esta elasticidad renta puede llegar a ser negativa, sugiriendo que la electricidad es un bien inferior. Otros autores creen que esta elasticidad es bastante rígida o bien que su valor aumenta a medida que lo hace el nivel de renta de los individuos.

Por último la práctica totalidad de los trabajos de corto plazo encuentran evidencia de que los determinantes fundamentales del consumo eléctrico doméstico son, el nivel de precios del bien, su nivel de renta y las características de los individuos y del hogar.

En el segundo grupo de modelos, encontramos las aproximaciones de largo plazo a la estimación de la ecuación de demanda residencial de energía eléctrica.

En estos trabajos, las inquietudes son muy similares a las que concernían a los trabajos de corto plazo. En primer lugar, ha existido un debate intenso sobre la especificación del precio de la electricidad en la ecuación de demanda y, al igual que en el corto plazo, la evidencia se divide entre los autores que utilizan indicadores de precio marginal, como Halvorsen (1975), Dubin y McFadden (1984) o Dubin (1985), los trabajos que utilizan simultáneamente un indicador de precio marginal e intramarginal, como McFadden, Kirshner y Puig (1977) o Mount y Chapman (1977), y los autores que sugieren que el precio medio es el indicador correcto, como Griffin (1974), Silk y Joutz (1997), Nesbakken (1999) o Benavente, Galetovic, Sanhueza y Serra (2005).

Asimismo, la mayoría de trabajos obtienen mejores resultados en el caso de que se incluyan características de los individuos y del hogar para estimar la demanda de electricidad de largo plazo.

Los modelos de largo plazo experimentaron un avance notable en la década de los ochenta, con el desarrollo de la metodología necesaria para estimar los modelos discretos-continuos de forma simultánea. Los precursores de este avance metodológico fueron, fundamentalmente, Dubin y McFadden con su trabajo de 1984.

Bajo este nuevo enfoque la demanda eléctrica residencial parte de la idea de que estamos considerando una demanda derivada del uso de electrodomésticos, a partir de los cuales se obtienen una serie de servicios. Bajo este supuesto, la demanda de electricidad comprendía dos decisiones, una elección de carácter discreto: qué configuración de electrodomésticos utilizar en el hogar, y una elección continua, en la que, una vez decidido el stock de aparatos, abordar simultáneamente la decisión de cuánta energía consumir.

Con el paso del tiempo estos modelos han adquirido un mayor grado de sofisticación y han dado paso a modelos de ingeniería (Dubin, 1985) y modelos de ajuste parcial, (Mount y Chapman, 1977; Fouquet, 1995 o Hondroyiannis, 2004).

La estimación de estos modelos se ha servido de técnicas de estimación cualitativas *logit* multinomial, *probit* y variables instrumentales, en el caso de los modelos discretos-continuos; *logit* anidado y regresiones aparentemente no relacionadas, para los modelos de ingeniería y el mecanismo de corrección del error y cointegración, en el caso de los modelos de ajuste parcial.

Las estimaciones de los trabajos de largo plazo han utilizado mayoritariamente series temporales y datos de panel y se han concentrado en Estados Unidos.

Respecto a los resultados, la tendencia general es que las elasticidades de largo plazo sean superiores, en valor absoluto a las de corto plazo. Las elasticidades precio obtenidas son negativas y las elasticidades renta positivas, aunque conviene destacar que, en el caso de las elasticidades renta, los valores de corto plazo son sensiblemente inferiores a los obtenidos en los trabajos que utilizaban exclusivamente un enfoque de corto plazo.

Además, hay trabajos que encuentran evidencia de elasticidades renta negativas, como Fouquet (1995), lo cual estaría en consonancia con la argumentación de que la electricidad es un bien inferior. Por su parte, una serie de trabajos encuentran que la elasticidad renta es bastante reducida, o bien es creciente con el nivel de ingreso de los consumidores, como Dubin y McFadden (1984), Dubin (1985), Nesbakken (1999) o Benavente, Galetovic, Sanhueza y Serra (2005), lo cual iría a favor del argumento de que la electricidad es un bien de consumo necesario.

Por tanto, teniendo en cuenta que en esta investigación se ha optado por seguir un enfoque de corto plazo, deberemos tomar como referencia el siguiente contexto derivado de la literatura revisada:

En primer lugar, deberemos atender a la especificación de la demanda eléctrica residencial condicionada, tanto en el sentido de establecer que es una demanda de corto plazo sujeta a la tenencia de electrodomésticos, como a la especificación del nivel de renta de los consumidores, el nivel de precios de la electricidad, debiendo decidir si optamos por un indicador de precio marginal, medio o ambos, y la inclusión de características personales y del hogar.

En segundo lugar, deberemos tener en cuenta que la evidencia empírica internacional se decanta mayoritariamente por una relación negativa entre el consumo de electricidad y el nivel de precios de este bien. Además, la elasticidad surgida de esta relación parece ser inferior a uno, aunque con valores que no podrían calificarse de modestos.

Respecto a la sensibilidad de variaciones en el nivel de renta, la literatura empírica de las últimas décadas no establece un consenso claro, aunque deberemos corroborar o rechazar la naturaleza de bien necesario o inferior del consumo doméstico de electricidad.

