

EL COSTO DE FALLA RESIDENCIAL EN CHILE: UNA ESTIMACION USANDO LA CURVA DE DEMANDA*

JOSE MIGUEL BENAVENTE**

Universidad de Chile

ALEXANDER GALETOVIC***

Universidad de los Andes

RICARDO SANHUEZA***

Universidad de los Andes

PABLO SERRA****

Universidad de Chile

Abstract

This paper estimates the residential outage cost in Chile's Central Interconnected System (SIC), using consumer's willingness to pay for energy. We first estimate the cost of reducing energy consumption efficiently, that is only the less valuable kWh (as indicated by the market demand curve) are rationed. Then we estimate the per-kWh cost of rationing by cutting off service. We find that the outage cost varies

* Estamos muy agradecidos por los útiles comentarios y sugerencias de un árbitro anónimo. Galetovic y Serra agradecen el financiamiento de Fondecyt (proyecto 1030490). Galetovic también agradece el financiamiento de AES Gener S.A. Sin embargo, las opiniones expresadas en el trabajo no comprometen de manera alguna a AES Gener S.A.

** Departamento de Economía, Universidad de Chile. E-mail: jbenaven@econ.uchile.cl.

*** Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de los Andes. E-mail autores: agaletovic@uandes.cl. y rsanhueza@uandes.cl.

**** Centro de Economía Aplicada, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile. E-mail: pserra@dii.uchile.cl.

considerably depending on the length of the rationing period; and on how energy is rationed. Longer restrictions allow users to adjust more, and hence are cheaper. Similarly, we estimate that rationing efficiently is between two and six times cheaper than rationing by cutting off service.

Keywords: *Chile, Demand, Duality, Elasticity, Energy, Rationing.*

JEL Classification: *L94.*

I. Introducción

En casi todos los países la tarifa eléctrica que pagan los hogares se regula. Normalmente, el precio permanece fijo por varios meses y no refleja las fluctuaciones de la disponibilidad de energía. En condiciones normales, la capacidad de reserva es suficiente para absorber estas fluctuaciones, pero cuando ocurre una sequía extrema, o bien la demanda aumenta de manera imprevista, la rigidez tarifaria obliga a racionar. Este trabajo utiliza la curva de demanda de energía para estimar la pérdida de bienestar que soportan los hogares cuando se raciona la electricidad –el así llamado costo de falla residencial–. Luego mostramos cómo usar este método, estimando el costo de falla residencial en el Sistema Interconectado Central (SIC) de Chile.

El costo de una falla de energía depende de la duración y profundidad del racionamiento, de la forma en que se raciona (v.gr. mediante incentivos, metas de reducción de consumo o cortes rotativos de suministro) y de la tarifa que están pagando los hogares cuando ocurre el racionamiento^{1, 2}. En general, cuando los usuarios pueden decidir qué consumos reducir, el costo de falla aumenta con la profundidad del racionamiento, porque primero se sacrifican los usos de menor valor. Por igual razón, el costo de falla es mayor cuando se raciona por parejo o mediante cortes temporales de suministro. Finalmente, el costo de falla crece con el precio de la energía, porque la energía no entregada vale más cuando los kWh marginales consumidos en tiempos normales son más valiosos.

El párrafo anterior sugiere que, en realidad, existen varios “costos de falla”; todo depende de cómo se racione y de la duración y profundidad de la falla. Sin embargo, podríamos estimar cada uno de ellos si conociéramos la demanda de cada consumidor. En efecto, en cada caso bastaría computar un área debajo de la curva de demanda relevante. Esta es, precisamente, la finalidad de este trabajo. Mostraremos cómo sistematizar este cálculo utilizando resultados de la teoría de la dualidad, los que permiten deducir el costo de falla en función de los parámetros de la curva de demanda, en particular la elasticidad-precio. Por tanto, si se cuenta con estimaciones de esta elasticidad, se pueden estimar los costos de falla que se

consideren relevantes. Las expresiones que ligan la demanda del consumidor con el costo de falla se deducen en la sección II.

A continuación, en la sección III, utilizamos el modelo para estimar tres costos de falla:

- El costo de falla *marginal*. Corresponde al valor del kWh marginal para racionamientos del consumo de monto dado, suponiendo que el racionamiento se anuncia con anticipación y que se administra de tal forma que se dejan de consumir los kWh menos valiosos. Este racionamiento es eficiente.
- El costo de falla *medio*. Corresponde al valor promedio de los kWh que se dejan de consumir cuando el racionamiento es eficiente.
- El costo de falla por *cortes*. Corresponde al valor promedio de los kWh que se dejan de consumir cuando se raciona mediante cortes de suministro.

Nuestros resultados indican que el costo de una restricción puede diferir ampliamente, dependiendo de cómo se racione y de cuánto dure la restricción. A modo de ejemplo, supóngase un racionamiento “grande” de 10% que dura tres meses (este es un racionamiento bastante mayor que el ocurrido durante abril, mayo y junio de 1999, que fue del orden de 6%). En ese caso, el costo de falla por cortes es algo más de tres veces el costo de falla medio si se raciona eficientemente.

También mostramos que el costo de falla eficiente es proporcional al precio inicial y varía en la misma dirección. La intuición es que, en el margen, se consumirá energía hasta que el beneficio marginal de un kWh adicional sea igual al precio de la energía.

Por último, mientras más elástica sea la función de demanda, menor es el costo de falla, porque un alza moderada en el precio permite que la demanda caiga una magnitud mayor. Por esta razón, el costo de falla de restricciones más prolongadas es menor, porque los usuarios tienen más tiempo para ajustarse. Por el contrario, el costo de falla de restricciones por cortes seguramente es decreciente en la duración, porque es más fácil ajustarse mientras más largo sea el período de restricción.

Nuestro trabajo contribuye a la literatura sobre el costo de falla residencial en el SIC. Este ha sido estimado antes en tres oportunidades. Primero, CNE (1986) estimó que, si se restringía a costo mínimo para el país, el costo de falla medio residencial era igual a US\$ 18/kWh si el consumo se restringía en 10%³. Finalmente, Fierro y Serra (1993) estimaron que el costo de falla medio residencial por una restricción de un año era de US\$ 15,3/kWh, similar a los US\$ 18,7/kWh de una restricción de nueve meses estimados en este estudio.

El resto del trabajo se organiza de la siguiente manera. En la sección II explicamos cómo se puede estimar el costo de falla con información de la curva de demanda. En la sección III aplicamos el método para estimar el costo de falla residencial en el SIC. La sección IV concluye.

II. Desde la Demanda por Energía Hasta el Costo de Falla

En esta sección analizamos el costo que un racionamiento le impone a los consumidores residenciales cuando el precio de la energía se mantiene constante. Para medir el costo de falla es necesario precisar en qué forma se raciona la energía. Aquí analizaremos dos tipos de racionamiento: el eficiente, cuando se dejan de consumir los kWh que el conjunto de los usuarios valoran en menos, y aquél que se materializa con cortes de suministro.

2.1 Costo de falla residencial con racionamiento eficiente

2.1.1 La disposición a pagar por el kWh marginal y el costo de falla

En lo que sigue, d denotará la función de demanda por electricidad del hogar durante el período en que sea necesario racionar (v.gr. tres meses, nueve meses). La función de demanda es

$$q = d(p; y),$$

donde q es la cantidad demandada al precio p , y la letra y denota el ingreso del hogar. Al mismo tiempo,

$$p = v(q; y)$$

es la función de demanda inversa (el precio de la energía tal que el hogar demanda q kWh). Denotaremos por p_0 al precio de cada kWh durante el racionamiento, q_0 al consumo normal al precio p_0 , y_0 el ingreso del hogar y $\lambda \in (0,1)$ la fracción de la energía racionada. Así, durante el racionamiento el hogar sólo puede consumir $(1-\lambda)q_0$ kWh.

El racionamiento eficiente implica que cada hogar tiene libertad para elegir de qué consumos prescindir, por lo que deja de consumir aquellos kWh que son menos valiosos. Con un pequeño abuso de notación, denotaremos por v_λ al precio de la energía tal que el consumidor demandaría $(1-\lambda)q_0 \equiv q_\lambda$ kWh. Este precio es igual al *costo de falla marginal*, es decir

$$\text{CFMg}(\lambda) = v_\lambda$$

es el costo de falla marginal *neto* cuando se raciona eficientemente una fracción λ de la energía. Este costo de falla se muestra en el Gráfico 1.

Ahora bien, dado que el hogar paga p_0 por kWh, siendo que estaría dispuesto a pagar v_λ por el último kWh consumido, el racionamiento es equivalente a la suma de dos medidas. Primero, un aumento del precio desde p_0 hasta v_λ . Ese aumento de precio es el responsable de la caída del consumo. Pero, además, el consumidor no paga v_λ sino p_0 por los kWh consumidos. En otras palabras, es como si se le devolvieran $(v_\lambda - p_0) \cdot q_\lambda$, cantidad que se le debería sumar al

ingreso inicial y_0 . Así, definiendo $y_\lambda \equiv y_0 + (v_\lambda - p_0) \cdot q_\lambda$, la función v_λ queda definida implícitamente por la ecuación

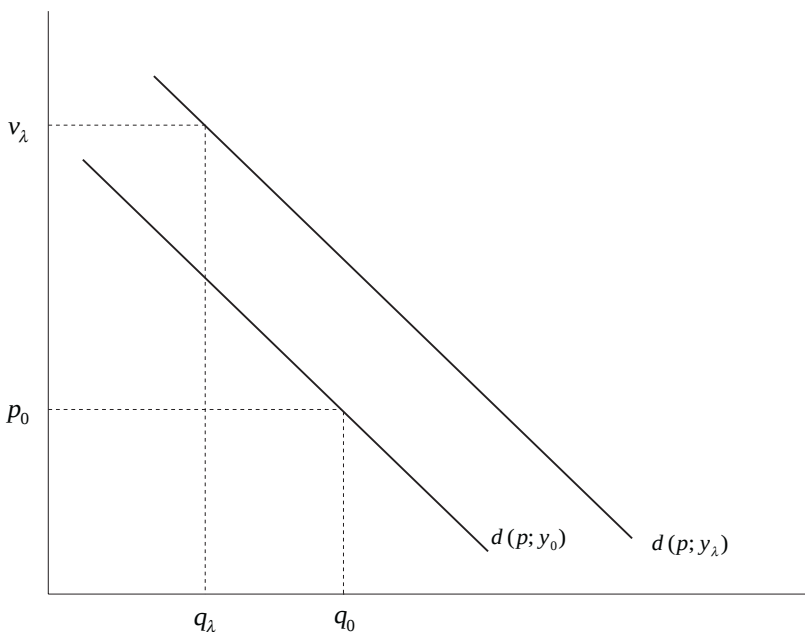
$$d(v_\lambda; y_\lambda) \equiv q_\lambda = (1 - \lambda)q_0 \quad (2.1)$$

(véase el Gráfico 1). La función de demanda (2.1) es la clave para estimar el costo de falla, pues indica el valor del kWh marginal, v_λ , como función de la magnitud de la restricción. Si diferenciamos totalmente esta expresión con respecto de la profundidad del racionamiento, λ , el resultado es

$$v'(\lambda) \equiv \frac{1 - (v_\lambda - p_0) \cdot d_y(v_\lambda; y_\lambda)}{d_p(v_\lambda; y_\lambda) + q_\lambda d_y(v_\lambda; y_\lambda)} \times q_0$$

GRAFICO 1

EL COSTO DE FALLA MARGINAL



El gráfico muestra el costo de falla marginal —el precio que sería necesario para que el hogar consuma una fracción $(1 - \lambda)$ de su consumo normal. La curva de demanda se desplaza hacia la derecha por el efecto ingreso, debido a que los kWh suministrados se siguen pagando a p_0 .

Esta expresión se puede volver a escribir como

$$v'(\lambda) = \frac{1 - (v_\lambda - p_0) d_y(v_\lambda; y_\lambda)}{h_p(v_\lambda; u_\lambda)} \times q_0,$$

donde $h(p; u)$ es la demanda hicksiana por electricidad del hogar. Luego, si el numerador en el lado derecho de esta ecuación es positivo, entonces $v'(\lambda) > 0$. Una condición suficiente para que así ocurra es que la elasticidad-ingreso sea menor que uno.

2.1.2 Desde la demanda hasta el costo de falla medio

La variación equivalente. Una forma de medir el valor total de los kWh racionados es suponiéndolo igual al monto que el hogar estaría dispuesto a pagar para que le devolvieran toda la energía racionada. Esta es, por supuesto, la variación equivalente, correspondiente a disminuir el precio desde v_λ a p_0 , la disposición a pagar por consumir q_0 en vez de $(1 - \lambda)q_0$. En este caso, la variación equivalente es igual a

$$\int_{p_0}^{v_\lambda} h(p; u_\lambda) dp,$$

donde $u_\lambda \equiv u(v_\lambda, y_\lambda)$ es la utilidad que alcanza el hogar cuando el ingreso es y_λ y el precio de la energía es v_λ .

Pero, además, en este caso a la variación equivalente hay que restarle $y_\lambda - y_0 = (v_\lambda - p_0) \cdot q_\lambda$. La razón es que la caída de bienestar de los hogares no incluye $(v_\lambda - p_0) \cdot q_\lambda$, porque los kWh que consume una vez racionado se siguen cobrando a p_0 . Luego, el cambio de bienestar que le causa el racionamiento al hogar es

$$C^{VE}(\lambda) = \int_{p_0}^{v_\lambda} h(p; u_\lambda) dp - (v_\lambda - p_0) \cdot q_\lambda,$$

Este monto es el triángulo sombreado en el Gráfico 2a.

La variación compensatoria. La segunda manera de medir el valor total de los kWh racionados es suponiéndolo igual al monto que está dispuesto a pagar el hogar por no disminuir su consumo. Esta es, por supuesto, la variación compensatoria, y es igual a

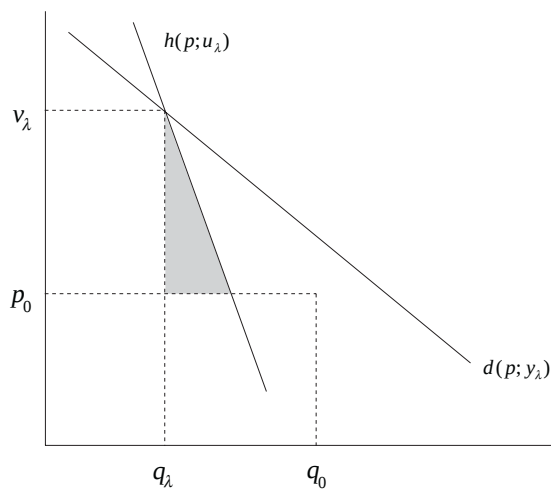
$$\int_{p_0}^{v_\lambda} h(p; u_0) dp,$$

donde $u_0 \equiv u(p_0, y_0)$; es decir, la demanda hicksiana se parametriza para mantener la utilidad en u_0 , el nivel inicial sin racionamiento. Sin embargo, y tal como

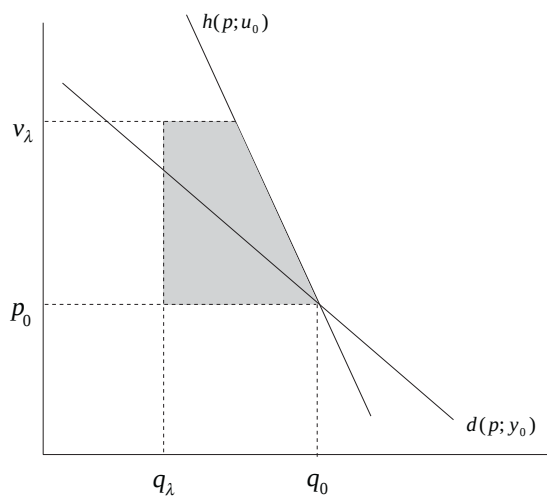
GRAFICO 2

EL CAMBIO DE BIENESTAR DE LOS USUARIOS

(a) A partir de la variación equivalente



(b) A partir de la variación compensatoria



se hizo en el caso anterior, para obtener el cambio en bienestar hay que restarle $y_\lambda - y_0$ a la variación compensatoria: el hogar no está dispuesto a pagar por este monto porque sabe que una vez racionado continuará pagando p_0 por los kWh consumidos. Luego, la caída del bienestar del hogar es igual a

$$C^{VC}(\lambda) = \int_{p_0}^{v_\lambda} h(p; u_0) dp - (v_\lambda - p_0) \cdot q_\lambda.$$

Efectos ingreso pequeños. Ahora bien, las expresiones anteriores consideran los efectos ingreso causados por el racionamiento. Un caso de interés es cuando las demandas marshalliana y la hicksiana coinciden porque el efecto ingreso es pequeño al punto que se puede ignorar. Entonces v es simplemente la función inversa de demanda, es decir, la solución de

$$d(v_\lambda) = (1 - \lambda)q_0.$$

En ese caso la caída del bienestar del hogar es igual a,

$$C^M(\lambda) = \int_{p_0}^{v_\lambda} d(p) dp - (v_\lambda - p_0) \cdot q_\lambda.$$

El costo de falla medio. En cada uno de los tres casos calcular el costo de falla medio es muy simple:

$$CFMe_i(\lambda) = p_0 + \frac{C^i(\lambda)}{\lambda q_0},$$

el valor promedio de cada kWh racionado.

2.2 Aplicaciones

Agregación de hogares y racionamiento parejo. En rigor, los costos de falla marginales y medios que deducimos corresponden al de un consumidor individual. Para determinar el costo de falla agregado de todos los consumidores se puede utilizar la demanda agregada, si acaso cada usuario administra su reducción en el suministro, y además la restricción es selectiva, cortándose primero los consumos menos valiosos para la sociedad, independientemente de quién los realice.

Sin embargo, si la restricción es proporcional, es decir que afecta por parejo a todos los consumidores, se subestima el costo del racionamiento si se usa la curva de demanda agregada. En este caso, el costo de falla agregado se debe calcular como el promedio ponderado de los costos de falla individuales para una muestra representativa de usuarios. No obstante, es muy difícil estimar una fun-

ción de demanda para cada uno de los usuarios de la muestra, por lo que probablemente habrá que recurrir a un método distinto para estimar los costos de falla individuales.

Precios marginales. El racionamiento eficiente se puede alcanzar partiendo de uno parejo, por la vía de flexibilizar la tarifa en el margen. Llamemos Q_0 al consumo agregado en condiciones normales, entonces la energía disponible durante el racionamiento sería $Q_\lambda = (1 - \lambda)Q_0$. Ahora imaginemos que los usuarios tienen derecho a consumir una fracción $(1 - \lambda)$ de su consumo habitual al precio fijo p_0 . Si exceden dicha cantidad, tienen que pagar $v(Q_\lambda)$ por kWh. Por el contrario, aquellos que disminuyen su consumo por debajo del límite reciben $v(Q_\lambda) - p_0$ por cada kWh que consumen por debajo de su cuota. Un mecanismo de este tipo se usó en Brasil durante la última sequía extrema que afectó a ese país.

Esta regla es equivalente a subir el precio a $v(Q_\lambda)$, junto con entregar a cada usuario una transferencia igual a $[v(Q_\lambda) - p_0]q_\lambda$. De esta manera, se igualaría la demanda agregada con la energía disponible, y se racionarían sólo aquellos consumos que la sociedad valora menos. Por lo tanto, bajo estas condiciones es apropiado usar la curva de demanda agregada para medir el costo de falla.

A primera vista parecería que el sistema de precios flexibles en el margen no difiere de los precios *spot*. Sin embargo, presenta dos ventajas prácticas. La demanda eléctrica es inelástica a cambios en el precio (Benavente *et al.*, 2005), por lo que el precio que equilibra el mercado cuando hay que racionar es bastante mayor al de condiciones normales (ver las estimaciones líneas abajo). Con precios flexibles en el margen, sólo una fracción menor del consumo se ve afectada por los vaivenes de precios, preservándose el objetivo de estabilizar los precios. Además, con precios a usuarios que sigan muy de cerca al precio *spot* los generadores podrían actuar estratégicamente para subir aún más los precios cuando hay contingencias e incluso provocar condiciones que fuercen a racionar, lo que no ocurre cuando los precios son flexibles sólo en el margen.

Racionamiento mediante cortes de suministro. Una manera distinta de racionar es cortando el suministro. Cuando la energía se raciona a través de cortes de suministro, las familias tienen menos control sobre los consumos eliminados. En un extremo se podría suponer que el usuario no tiene control alguno sobre la forma de reducir el consumo. Bajo este supuesto, la caída de bienestar es aproximadamente igual al costo medio de falla cuando la restricción es total por una fracción λ del tiempo, es decir

$$C^{Co}(\lambda) = \lambda \int_{p_0}^{\bar{p}} h(p; u_i) dp,$$

donde $\bar{p}$ es el precio tal que la curva de demanda intersecta al eje vertical e $i = 0$ si se trata de la variación compensatoria o $i = \lambda$ si se trata de la variación equivalente. El costo de falla medio es, entonces,

$$\text{CFMe}_{\text{Co}}(\lambda) = p_0 + \frac{1}{q_0} \int_{p_0}^{\bar{p}} h(p; u_i) dp. \quad (2.2)$$

Nótese que en este caso el costo de falla medio no depende de la profundidad de la restricción.

La expresión (2.2) es una cota superior del costo de falla medio cuando los cortes de suministro son anunciados, porque los usuarios debieran poder reprogramar parte de su consumo. Por el contrario, si los cortes fuesen intempestivos, el costo de falla sería mayor que la expresión (2.2), porque el consumidor puede quedar con actividades a medio realizar (por ejemplo, ver la primera mitad de una película en televisión o quedar encerrado en un ascensor).

Es importante notar que el costo de falla medio alcanzado mediante cortes es siempre mayor que el costo medio de falla eficiente, tal como lo muestra la siguiente proposición.

Proposición 2.1. Para todo $\lambda \in (0,1)$,

$$C^{\text{Ef}}(\lambda) < C^{\text{Co}}(\lambda)$$

Demostración. Un poco de álgebra muestra que la desigualdad es equivalente a

$$C^{\text{Ef}}(0) - C^{\text{Ef}}(\lambda) < \lambda[C^{\text{Ef}}(0) - C^{\text{Ef}}(1)]$$

o bien

$$C^{\text{Ef}}(0) - C^{\text{Ef}}[\lambda \cdot 1 + (1 - \lambda) \cdot 0] < C^{\text{Ef}}(0) - [\lambda C^{\text{Ef}}(1) + (1 - \lambda) C^{\text{Ef}}(0)].$$

Esta desigualdad se cumple si y sólo si

$$C^{\text{Ef}}[\lambda \cdot 1 + (1 - \lambda) \cdot 0] > \lambda C^{\text{Ef}}(1) + (1 - \lambda) C^{\text{Ef}}(0),$$

para todo $\lambda \in (0, 1)$, lo que es equivalente a que C^{Ef} sea estrictamente cóncava en el intervalo (la desigualdad de Jensen). Pero esto tiene que ser cierto: la función de excedente del consumidor es cóncava porque la pendiente de la función de demanda es negativa, lo que completa la demostración. ■

III. Una Estimación del Costo de Falla Residencial en el SIC

En esta sección estimamos los costos de falla marginal, medio y por cortes para el SIC chileno.

3.1 Preparando el modelo para los datos

3.1.1 Los costos de falla marginal y medio

La función de demanda. Para estimar el costo de falla marginal y medio usaremos una función de demanda log-lineal de la forma

$$q = \alpha \cdot p^\beta y^\gamma,$$

con $\alpha \equiv q_0 p_0^{-\beta} y_0^{-\gamma}$. Nótese que β es la elasticidad-precio de la demanda y γ es la elasticidad-ingreso.

El costo de falla marginal. Para obtener el costo de falla marginal, $v_\lambda - p_0$, se necesita estimar v_λ . Este se obtiene resolviendo la ecuación

$$(1 - \lambda)q_0 = \alpha v_\lambda^\beta y_\lambda^\gamma$$

$$\alpha v_\lambda^\beta [y_0 + (v_\lambda - p_0) \cdot q_\lambda]^\gamma.$$

Si la elasticidad-ingreso γ es menor que uno, entonces v_λ es una función creciente que tiende a infinito cuando λ tiende a uno.

El costo de falla medio. Deduciremos primero el costo de falla medio mediante la variación equivalente. Dada la función de demanda, la teoría de la dualidad permite deducir que el ingreso que se requiere para alcanzar el nivel de utilidad u_λ cuando el precio es p_0 en vez de v_λ es

$$y = \left\{ y_0^{1-\gamma} + \alpha \cdot \frac{\gamma-1}{1+\beta} [v_\lambda^{1+\beta} - p_0^{1+\beta}] \right\}^{\frac{1}{1-\gamma}}$$

Luego, la variación equivalente es

$$VE(v_\lambda, p_0, u_\lambda) = y_0 - \left[y_0^{1-\gamma} + \alpha \cdot \frac{\gamma-1}{1+\beta} (v_\lambda^{1+\beta} - p_0^{1+\beta}) \right]^{\frac{1}{1-\gamma}}.$$

Así, el costo de falla medio es

$$CFMe_{VE}(\lambda) = p_0 + \frac{C^{VE}(\lambda)}{\lambda q_0}$$

$$= p_0 + \frac{VE(v_\lambda, p_0, u_\lambda) - (v_\lambda - p_0)q_\lambda}{\lambda q_0}.$$

De manera similar, el ingreso que se requiere para alcanzar el nivel de utilidad u_0 cuando el precio es v_λ en vez de p_0 es

$$y = \left[y_0^{1-\gamma} + \alpha \cdot \frac{\gamma-1}{1+\beta} (p_0^{1+\beta} - v_\lambda^{1+\beta}) \right]^{\frac{1}{1-\gamma}}.$$

Luego, la variación compensatoria es

$$VC(v_\lambda, p_0, u_0) = \left\{ y_0^{1-\gamma} + \alpha \cdot \frac{\gamma-1}{1+\beta} [p_0^{1+\beta} - v_\lambda^{1+\beta}] \right\}^{\frac{1}{1-\gamma}} - y_0.$$

Así, el costo de falla medio es

$$\begin{aligned} CFMe_{VC}(\lambda) &= p_0 + \frac{C^{VC}(\lambda)}{\lambda q_0} \\ &= p_0 + \frac{VC(v_\lambda, p_0, u_0) - (v_\lambda - p_0)q_\lambda}{\lambda q_0} \end{aligned}$$

El cambio de excedente si $\gamma = 0$. Nótese que si el efecto ingreso es muy pequeño, el precio que logra disminuir el consumo en una fracción λ es

$$v_\lambda = p_0(1-\lambda)^{\frac{1}{\beta}}.$$

Más aún, las variaciones equivalente y compensatoria son iguales, y el cambio del excedente del consumidor es igual a

$$\begin{aligned} &\int_{p_0}^{p_0(1-\lambda)^{\frac{1}{\beta}}} \alpha p^\beta y_0^\gamma dp \\ &= \frac{\alpha y_0^\gamma p_0^{\beta+1}}{1+\beta} \left[1 - (1-\lambda)^{\frac{\beta+1}{\beta}} \right]. \end{aligned}$$

Luego de un poco de álgebra se obtiene que

$$\begin{aligned} CFMe_M(\lambda) &= p_0 + \frac{C^M(\lambda, p_0)}{\lambda q_0} \\ &= p_0 + \frac{p_0}{\lambda} \left\{ \frac{(1-\lambda)^{\frac{\beta+1}{\beta}} - 1}{\beta+1} - \left[(1-\lambda)^{\frac{\beta+1}{\beta}} - (1-\lambda) \right] \right\}. \end{aligned}$$

3.1.2 El costo de falla por cortes

Cuando se raciona mediante cortes no se puede estimar el costo de falla suponiendo que la demanda es isoelástica, porque la curva nunca corta el eje vertical y las expresiones del costo de falla tienden a infinito. Esa es, simplemente, una limitación de la función de demanda de elasticidad constante. Por eso, para estimar el costo de falla por cortes (o de una restricción muy grande) puede ser más apropiado usar una función de demanda lineal. La virtud de esta función es que la elasticidad-precio crece en valor absoluto a medida que aumenta el precio, una característica que, eventualmente, deben mostrar todas las curvas de demanda.

Si se usa una demanda lineal que pasa por (p_0, q_0) , y cuyas elasticidades precio e ingreso están dadas en ese punto por β y γ , la especificación resulta ser

$$q = \hat{\alpha} + \hat{\beta}p + \hat{\gamma}y,$$

$$\text{donde } \hat{\alpha} \equiv q_0 - \hat{\beta}p_0 - \hat{\gamma}y_0, \hat{\beta} \equiv \frac{q_0}{p_0}\beta \text{ y } \hat{\gamma} \equiv \frac{q_0}{p_0}\gamma.$$

Entonces

$$\bar{p} = p_0 \frac{\beta - 1}{\beta}$$

El costo de falla por cortes es, entonces,

$$\begin{aligned} \text{CFMe}_{\text{Co}}(\lambda) &= p_0 + \frac{1}{2}(\bar{p} - p_0) \\ &= p_0 - \frac{p_0}{2\beta}. \end{aligned}$$

3.2 Resultados

3.2.1 Los datos

Estimaremos el costo de falla para restricciones de tres y nueve meses. Estos períodos se eligen porque corresponden a las dos circunstancias en que un racionamiento por sequía es más probable en el SIC: entre principios de marzo y junio, mientras aún no llegan las lluvias pero ya se han terminado los deshielos; y entre septiembre y junio del año siguiente, cuando ya se sabe que el deshielo será malo y la sequía se prolongará por lo menos hasta el invierno siguiente.

Utilizaremos las elasticidades que obtuvimos en un estudio previo (Benavente *et al.*, 2005). Allí estimamos una función de demanda con ajuste parcial que entrega

elasticidades precio e ingreso a uno, dos, tres, y más meses, y que se resumen en el Cuadro 1. Se aprecia que las elasticidades crecen en magnitud con el paso de los meses. Esta no es sino la consecuencia del ajuste parcial.

CUADRO 1

ELASTICIDADES DE LA DEMANDA RESIDENCIAL POR ENERGIA

Elasticidad a x meses	Elasticidad precio	Elasticidad ingreso
1	-0,0548	0,0746
2	-0,0729	0,0992
3	-0,1079	0,1469
4	-0,1290	0,1756
5	-0,1545	0,2103
6	-0,1740	0,2370
7	-0,1940	0,2642
8	-0,2110	0,2873
9	-0,2271	0,3093
10	-0,2415	0,3288
11	-0,2547	0,3469
12	-0,2667	0,3632
Promedio de tres meses	-0,0785	0,1069
Promedio de nueve meses	-0,1472	0,2005
Largo plazo	-0,3900	0,5312

Fuente: Benavente *et al.* (2005).

En nuestros ejercicios consideraremos la elasticidad promedio a tres meses, igual a -0,0785, y a nueve meses, igual a -0,1472. De manera similar, la elasticidad ingreso a tres meses es 0,1069, mientras que a nueve meses es 0,2005⁴.

Supondremos, además, que el precio residencial es \$ 61,02/kWh (pesos de diciembre de 2001), la tarifa BT1 promedio durante el período que utilizamos para estimar la demanda residencial en Benavente *et al.* (2005). Además, en ese estudio encontramos que el consumo mensual per cápita (q_0) alcanzaba a 19,96 kWh y el ingreso per cápita (y_0) fue de aproximadamente \$ 242.000.

3.2.2 El costo de falla

Tres meses. El Cuadro 2 muestra nuestras estimaciones para una restricción desde uno y hasta 10% que dura tres meses⁵. Las columnas 1 y 2 muestran el costo de falla marginal, v_λ , con y sin efectos ingreso; mientras que las siguientes tres (columnas 3 a la 5) muestran los costos de falla medios. Es evidente que los efectos ingreso no son importantes. La columna 6 muestra el costo de

falla por cortes y, por último, la columna 7 muestra la razón entre el costo de falla por cortes y el costo de falla medio, y da una idea de cuánto más caro es racionar por cortes.

CUADRO 2

EL COSTO DE FALLA A TRES MESES
(elasticidad = $-0,0785$; precio kWh = \$ 61,02;
en \$ de diciembre de 2001)

Restricción	(1) Marginal	(2) Marginal sin efecto ingreso	(3) Medio VE	(4) Medio VC	(5) Medio sin efecto ingreso	(6) Cortes	(7) Razón (6)/(5)
1%	69,56	69,35	65,12	65,06	65,09	388,64	6,0
2%	79,33	78,93	69,63	69,48	69,56	388,64	5,6
3%	90,31	89,94	74,60	74,35	74,48	388,64	5,2
4%	103,12	102,64	80,08	79,70	79,89	388,64	4,9
5%	117,77	117,28	86,14	85,60	85,87	388,64	4,5
6%	134,85	134,21	92,85	92,11	92,48	388,64	4,2
7%	154,99	153,79	100,31	99,29	99,81	388,64	3,9
8%	178,18	176,50	108,62	107,24	107,94	388,64	3,6
9%	205,64	202,86	117,88	116,05	116,99	388,64	3,3
10%	237,37	233,52	128,25	125,84	127,07	388,64	3,1

De inmediato, es claro que los efectos ingreso son muy pequeños. Esto no ocurre porque la demanda sea insensible al ingreso (la elasticidad-ingreso de largo plazo es igual a 0,5312), ni tampoco porque los cambios de precio necesarios para disminuir el consumo sean pequeños. Antes bien, ocurre que existen costos de ajuste y por eso en tres meses la demanda responde muy poco a los efectos ingreso. Por eso, los cálculos de la variación equivalente y compensatoria no cambian las conclusiones que se obtienen de la demanda que ignora los efectos ingreso.

También es evidente que el costo de racionar eficientemente es mucho menor que el costo de racionar por cortes. Por ejemplo, si hay que racionar 1%, el costo por kWh cortado es seis veces mayor. La razón cae a medida que el tamaño del racionamiento aumenta, pero aún en un racionamiento de 10% es 3,1 veces mayor.

Por último, si bien el costo de un racionamiento eficiente es pequeño relativo al costo de los cortes, también es cierto que el valor de los kWh racionados es considerablemente mayor que el precio de la electricidad ($p_0 = \$ 61,02/\text{kWh}$). Esto no debería sorprender, porque la elasticidad de la demanda es pequeña. Lo relevante, sin embargo, es que aún una elasticidad pequeña permite manejar un racionamiento de manera eficiente, porque éstos rara vez superan el 10%.

Nótese que los distintos costos de falla son proporcionales al precio corriente de la energía y ambos varían en la misma dirección y magnitud. La razón es que los racionamientos siempre son relativos a lo que se hubiera consumido de no haberse racionado y el precio corriente indica el valor marginal de una unidad adicional de energía. En Chile, el precio de la energía que pagan los usuarios del sector servicios (tarifa BT2 o BT3) es significativamente menor que el precio que pagan los usuarios residenciales (tarifa BT1). Por lo tanto, el costo de falla residencial de restricciones eficientes será, en general, más alto que el costo de falla en el sector servicios.

Nueve meses. El Cuadro 3 repite el ejercicio, pero esta vez el cálculo es para una restricción que dura nueve meses. El costo de falla es menor porque el período más prolongado estimula los ajustes. A pesar de que la elasticidad-ingreso es ahora mayor, las diferencias entre las distintas medidas ahora son despreciables. La razón es que la mayor elasticidad-precio de la demanda implica aumentos de precio menores y, por lo tanto, el término $(v_{\lambda} - p_0)q_{\lambda}$ es menor. Esto prácticamente elimina el efecto ingreso.

CUADRO 3

EL COSTO DE FALLA A NUEVE MESES
(elasticidad = -0,1472; precio kWh = \$ 61,02;
en \$ de diciembre de 2001)

Restricción	(1) Marginal	(2) Marginal sin efecto ingreso	(3) Medio VE	(4) Medio VC	(5) Medio sin efecto ingreso	(6) Cortes	(7) Razón (6)/(5)
1%	65,29	65,33	63,16	63,13	63,15	207,67	3,3
2%	70,17	70,00	65,42	65,36	65,39	207,67	3,2
3%	75,05	75,05	67,81	67,70	67,76	207,67	3,1
4%	80,55	80,52	70,33	70,18	70,25	207,67	3,0
5%	86,65	86,46	73,00	72,79	72,89	207,67	2,8
6%	93,36	92,90	75,82	75,55	75,68	207,67	2,7
7%	100,38	99,90	78,80	78,47	78,64	207,67	2,6
8%	108,01	107,52	81,97	81,55	81,76	207,67	2,5
9%	116,55	115,80	85,33	84,82	85,08	207,67	2,4
10%	125,70	124,83	88,90	88,29	88,60	207,67	2,3

IV. Conclusiones

Hemos deducido expresiones que nos permiten calcular el costo de falla con información de la curva de demanda por energía, tanto cuando se raciona eficientemente como cuando se raciona con cortes de energía. Usamos dichas expresiones junto con los resultados de las estimaciones econométricas que obtu-

vimos en Benavente *et al.* (2005) para calcular los respectivos costos de falla. Las expresiones deducidas son de carácter general y permiten calcular el costo de falla asociado a restricciones de distintas magnitudes y duraciones.

Calculamos los costos de falla para dos especificaciones de la curva de demanda, considerando racionamientos de hasta 10%. Aunque las estimaciones del costo de falla dependen en parte de las formas funcionales elegidas, hay conclusiones que son de validez general. En primer lugar el costo de falla es mucho menor cuando se raciona en forma eficiente que cuando se hace a través de cortes. Es posible obtener los resultados de un restricción eficiente, aun cuando la restricción sea inicialmente equiproporcional. Para ello bastará con asignar su cuota a los distintos usuarios, y luego permitirles que consuman más pagando el costo de falla marginal, o bien pagarles una compensación igual al costo de falla marginal menos el precio regulado por cada kWh de su cuota que dejen de consumir. Si el costo de falla marginal ha sido correctamente estimado, el mercado se debería equilibrar.

En segundo lugar, el costo de falla depende fundamentalmente del precio inicial y de la elasticidad precio de la demanda, pues el impacto del efecto ingreso no es significativo en el caso de los consumidores residenciales. El costo de falla es proporcional al precio inicial y varía en la misma dirección. La intuición es que, en el margen, se consumirá energía hasta que el beneficio marginal de un kWh adicional sea igual al precio de la energía. Asimismo, entre más elástica al precio sea la función de demanda, menor es el costo de falla, pues un alza moderada en el precio permite que la demanda caiga una magnitud importante.

Notas

- ¹ Sanghvi (1983) distingue el costo de corto plazo que genera una falla del costo de las respuestas adaptativas de largo plazo que adoptan los consumidores en respuesta al grado de confiabilidad que perciben en el sistema. Este trabajo se centra en el costo de corto plazo.
- ² La literatura denomina “fallas de energía” a las de un mes o más. Estas ocurren principalmente en sistemas predominantemente hidráulicos cuando el agua embalsada es insuficiente para satisfacer la demanda por energía durante un año hidrológico seco. Por su parte, las fallas de corta duración (minutos u horas), denominadas “fallas de potencia”, son infrecuentes en los sistemas hidráulicos, porque normalmente la potencia instalada supera holgadamente a la demanda máxima y las centrales hidráulicas pueden responder en un plazo breve a las contingencias.
- ³ El costo de racionar por parejo a todos los consumidores (todos disminuyen su consumo en la misma proporción) lo estima en US\$ 66/kWh para una restricción de 10%.
- ⁴ La elasticidad precio de largo plazo estimada es $-0,39$. La elasticidad ingreso de largo plazo estimada es $0,53$.
- ⁵ El racionamiento promedio durante el último déficit en 1998-1999 fue del orden del 2,5% en nueve meses, aunque en abril de 1999 llegó a poco más de 7%.

Referencias

- BENAVENTE, J.M., A. GALETOVIC, R. SANHUEZA y P. SERRA (2005). “Estimando la Demanda Residencial por Electricidad en Chile: El Consumo es Sensible al Precio”, *Cuadernos de Economía*, 42 (mayo), pp. 31-61.

- CNE (1986). "Estudio del Costo de Falla en el Sistema Interconectado Central". *Mimeo*, Comisión Nacional de Energía.
- FIERRO, G. y P. SERRA (1993). "Un Modelo de Estimación del Costo de Falla: El Caso de Chile", *Cuadernos de Economía*, 30 (90), pp. 247-259.
- SANGHVI, A. P. (1983). "Optimal Electricity Supply Reliability Using Customer Shortage Costs", *Energy Economics*, 5 (2), pp. 129-136.