

DOCUMENTO DE EVALUACIÓN DE POLÍTICAS N° 002-2017

Evaluación Ex Post del Impacto de la Regulación de las Pérdidas de Energía en el Perú



Bernardo Monteagudo 222, Magdalena del Mar
Lima – Perú

www.osinergmin.gob.pe

Gerencia de Políticas y Análisis Económico
Teléfono: 219-3400 Anexo 1057

http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/institucional/acerca_osinergmin/estudios_economicos/oficina-estudios-economicos

Índice

Prólogo	3
Introducción	4
Las pérdidas de energía en distribución.....	5
Las pérdidas de energía en el Perú y los esquemas de regulación tarifaria	8
Marco metodológico	10
Estimación del impacto	12
Conclusiones	14
Anexo N° 1: El efecto Joule	16
Anexo N° 2: Medidas de bienestar.....	18
Anexo N° 3: Derivación de la fórmula de la Variación Equivalente	20
Referencias.....	23

Prólogo

El Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - Osinergmin, como una institución cuya visión es ser un regulador de clase mundial, busca crear valor y bienestar para la sociedad en su conjunto, tomando como referencia las mejores prácticas internacionales recomendadas por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y cumpliendo los principios de calidad regulatoria. En ese contexto, reconoce la importancia de implementar buenas prácticas de transparencia y rendición de cuentas como un medio necesario para mantener la confianza de sus grupos de interés y para garantizar los resultados deseados ya que las empresas y los ciudadanos esperan que Osinergmin logre sus objetivos y cumpla sus funciones haciendo el mejor uso de los recursos que dispone con integridad y objetividad.

Además del principio de rendición de cuentas (accountability), Osinergmin considera para el cumplimiento de sus funciones el concepto de costo/efectividad, cuyo objetivo está orientado a garantizar la obtención de los mejores resultados posibles con los recursos que dispone. En este sentido, como parte de sus actividades asociadas a la gestión del conocimiento dentro de Osinergmin y en cumplimiento de sus funciones, la Gerencia de Políticas y Análisis Económico está elaborando documentos que cuantifican el impacto ex post de las actividades de supervisión y fiscalización que realiza Osinergmin a las empresas reguladas. Esta evaluación se basa en los principios de independencia y “accountability”, los cuales son necesarios para garantizar que la regulación sea justa, necesaria y efectiva. Así, la evaluación ex post de las regulaciones existentes es importante para garantizar la eficacia y eficiencia de las medidas ejecutadas, a fin de evaluar hasta qué punto dichas actividades cumplen con las metas para las que fueron diseñadas.

La identificación de todos los costos y beneficios derivados de la ejecución de la política de regulación contribuyen a mostrar que las funciones que realiza Osinergmin tienen una repercusión positiva en el bienestar de la población, a través de una mejora en la calidad y confiabilidad del suministro eléctrico y la reducción de las tarifas eléctricas. En este documento mostramos los resultados de la evaluación de las medidas regulatorias que han permitido disminuir el porcentaje de pérdidas de energía en la actividad de distribución eléctrica, una medida que resulta indispensable para que la ciudadanía tenga mejores niveles de calidad del servicio público de electricidad.

Ing. Jesús Tamayo Pacheco
Presidente del Consejo Directivo

Introducción¹

En el Perú el porcentaje de pérdidas de energía a inicios de la década de los años noventa fue cercano al 20%, es decir, que de cada 100 MWh de energía eléctrica que las empresas de distribución recibían, 20 MWh se perdían por diversas causas en el proceso de distribución. Por su parte, para el año 2015 dicho porcentaje fue de apenas 7.6%. Esta disminución se puede explicar por los procesos de reforma y reestructuración del sector eléctrico que se llevaron a cabo en el país a inicios de la década de 1990. De esta forma en el Perú, y en diversos países, se establecieron esquemas regulatorios basados en incentivos (*benchmark regulation*) que han logrado que las empresas reguladas disminuyan sus costos a niveles eficientes, entre ellos, los costos asociados a las pérdidas de energía, impactando de manera positiva sobre la evolución de las tarifas eléctricas y, a través de ello, sobre el nivel de bienestar de los hogares.

Por ello, en el presente documento se cuantifica la magnitud del impacto de la disminución de las pérdidas de energía sobre el bienestar de los consumidores como resultado de la regulación de las tarifas de distribución eléctrica en el Perú. En la primera sección se describirán las características técnico - económicas de las pérdidas de energía en la actividad de distribución, mientras que en la siguiente sección se presenta la relación que existe entre las pérdidas y la remuneración de las empresas de distribución a través del Valor Agregado de Distribución (VAD). La tercera sección presenta el marco metodológico o modelo empleado para estimar el impacto económico de la regulación de las pérdidas de energía. En la cuarta sección se muestran los resultados, y finalmente en la última sección se esbozan algunas conclusiones.

¹ Esta evaluación ha sido presentada en Tamayo, Salvador, Vásquez y Vílches (2016) (editores), Capítulo 8.

Las pérdidas de energía en distribución

Las pérdidas de energía en distribución se definen como la diferencia entre la energía ingresada al sistema de distribución y la energía que efectivamente es suministrada a los consumidores finales². Las pérdidas de energía se pueden clasificar en dos tipos: pérdidas técnicas y pérdidas comerciales. A continuación se señalará en qué consiste cada tipo de pérdida.

Pérdidas técnicas

Se definen como aquellas pérdidas de energía que surgen debido a la operación de la red de distribución, como consecuencia del calentamiento natural de los transformadores y conductores, es decir, por razones técnicas propias de toda la red de distribución. Siguiendo a Pérez-Arriaga (2013), las pérdidas técnicas están compuestas por un componente fijo, asociado al calor que se desprende cuando los transformadores son energizados, y un componente de pérdidas variable que surge debido al calentamiento de los conductores eléctricos mediante los cuales se suministra la electricidad. Esta conversión de energía eléctrica a energía calorífica se denomina efecto Joule (ver **Anexo N° 1** para mayor detalle).

Se puede realizar una clasificación de las pérdidas técnicas según la función del componente donde se origina la pérdida y según la causa que la origina.

a) Por la función del componente:

Pérdidas por transporte

- En circuitos de distribución primaria,
- En circuitos de distribución secundaria,
- En transformadores de distribución.

Pérdidas por transformación

- En subtransmisión/distribución,
- En transformadores de distribución.

b) Por la causa que la origina

- Pérdidas fijas,
- Pérdidas por efecto Joule.

² En sentido estricto, las empresas distribuidoras compran energía y potencia a las generadoras, por lo que existen pérdidas de energía y también pérdidas de potencia. No obstante, para simplificar la notación, en el presente documento se utiliza el término pérdidas de energía para referirse a ambas.

Este tipo de pérdidas son normales en cualquier empresa distribuidora de energía y no pueden ser eliminadas totalmente, solo pueden reducirse a través del mejoramiento de la red. Para lograr un plan adecuado de control y reducción de pérdidas técnicas, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros (Maldonado, 2005):

- Diagnóstico del estado actual del sistema,
- Proyección de la carga,
- Revisión de criterios de expansión,
- Estudios de flujos de carga para optimizar la operación de líneas y redes,
- Analizar la ubicación óptima de transformadores y usuarios,
- Realizar estudios de reconfiguración de alimentadores primarios.

Pérdidas comerciales

Las pérdidas comerciales, también denominadas pérdidas no técnicas, surgen debido a razones ajenas a las propiedades físicas de los conductores eléctricos y transformadores. Entre las principales causas se tiene:

- *Consumo de usuarios no suscriptores*

Comprende fundamentalmente la conexión directa de usuarios del servicio a una red sin haber suscrito un contrato o acuerdo con la empresa distribuidora de energía. En este grupo también se encuentran los usuarios que habiendo tenido un contrato con la empresa distribuidora son desconectados a la red, y se vuelven a conectar a esta sin autorización.

- *Fraude o hurto*

Comprende todos los casos en los que el usuario, siendo un suscriptor de la empresa distribuidora de energía de la red, altera intencionalmente el medidor eléctrico o toma directamente energía de la red de distribución.

- *Errores de medida*

Si en un mes, el consumo de electricidad es medido incorrectamente, demasiado bajo por ejemplo, cuando la lectura del medidor sea correcta el siguiente mes, se registrará un consumo mayor. En este sentido, la energía faltante en el primer mes puede asociarse a un aumento en las pérdidas de energía, pero si se toman en consideración ambos meses, entonces el nivel de pérdidas será el correcto. Sin embargo, si la lectura no es la correcta el siguiente mes el problema persistirá.

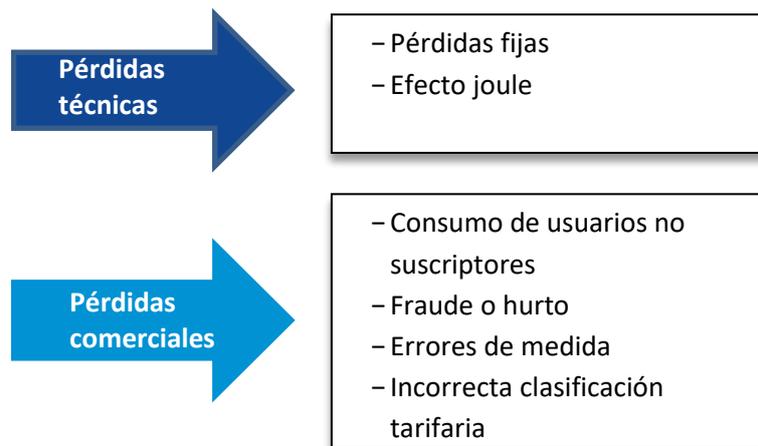
- *Incorrecta clasificación tarifaria*

Los usuarios se agrupan según su consumo de electricidad en categorías tarifarias. Por ejemplo, los usuarios residenciales e industriales pertenecen a categorías distintas, y por ende, sus

consumos también son registrados de manera distinta. Así, si un usuario es clasificado erróneamente, entonces, su consumo de electricidad no será el correcto, generándose pérdidas de energía.

A modo de resumen, en el siguiente gráfico se presenta la clasificación de las pérdidas de energía:

Gráfico N° 1: Tipos de pérdidas de energía



Fuente: OLADE (1993)

Efectos de las pérdidas de energía

Tener pérdidas de energía significa económicamente para las empresas distribuidoras lo siguiente:

- Menor disponibilidad de capacidad instalada.
- Disminución de ingresos por los consumos no facturados.
- Mayor pago en la compra de energía debido al despilfarro de energía de aquellos usuarios conectados indebidamente a la red.
- Mayor costo en el mantenimiento de las redes de distribución.

Estos hechos tienen las siguientes consecuencias:

- Mayor pago por el transporte de la energía por el sistema de transmisión nacional y el sistema de distribución local.
- Disminución de la vida útil de la infraestructura eléctrica (redes o instalaciones) obligando a fuertes inversiones tanto en renovación como en ampliaciones.
- Cobros no reales en la factura de los clientes.

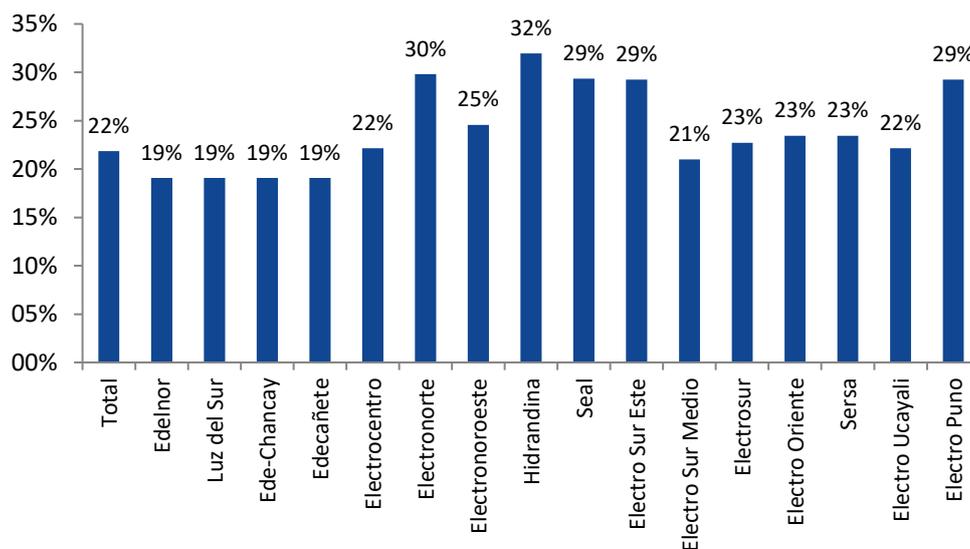
Entre los principales factores que hacen que aumenten las pérdidas de energía en una empresa distribuidora se tienen:

- La situación económica del país,
- La vulnerabilidad de las redes para que los clientes se conecten directamente,
- La falta de inversión en comercialización,
- Compromisos ilícitos con personal de la empresa o de índole político,
- Desorden administrativo en la empresa distribuidora,
- Falta de recursos financieros y humanos para implementar proyectos y programas de reducción de pérdidas,
- Falta de continuidad de los programas de reducción de pérdidas para asegurar resultados permanentes,
- Desplazamientos de estos programas dando mayor prioridad a los programas de inversión, ya que los anteriores reflejan menos beneficios visibles para las gestiones operativas a corto plazo.

Las pérdidas de energía en el Perú y los esquemas de regulación tarifaria

A inicios de la década de 1990 las empresas de distribución se caracterizaban por tener elevados niveles de pérdidas de energía, que en algunos casos superaban el 20% de la energía recibida. Este problema era más notorio en empresas como Electro Puno, Hidrandina y Electronorte, mientras que a nivel nacional dicho porcentaje era de 21.9%. En el **Gráfico Nº 2** se muestra el porcentaje de pérdidas de energía que tenían las empresas de distribución en 1993.

Gráfico Nº 2: Pérdidas de energía por empresa, 1993



Fuente: GRT – Osinergmin. Elaboración: GPAE - Osinergmin

Posteriormente, con el proceso de reestructuración y privatización del sector eléctrico iniciado en 1992, las pérdidas de energía han venido disminuyendo debido a la implementación de la regulación por incentivos, a través del esquema de Empresa Modelo Eficiente. Dicho esquema de regulación de la actividad de distribución eléctrica genera incentivos económicos para reducir costos, incluido el costo asociado a las pérdidas de energía. Para ello, se establece un porcentaje de pérdidas referenciales que es reconocido en la tarifa de electricidad, de tal manera que, si la distribuidora tiene un porcentaje de pérdidas menor al monto referencial, entonces el distribuidor recibe ingresos adicionales. En cambio, si el porcentaje de pérdidas es mayor al referencial, la empresa se perjudica puesto que la tarifa final solo reconoce el porcentaje de pérdidas referencial, más no el porcentaje de pérdidas real de las empresas.

Nótese que bajo este esquema los consumidores solo pagan por el porcentaje de pérdidas referencial, mas no por el porcentaje de pérdidas reales de las empresas. Así, se generan fuertes incentivos para que las empresas aumenten su eficiencia, disminuyan sus costos por debajo de los referenciales y obtengan beneficios por estas acciones. El porcentaje de pérdidas referencial es actualizado periódicamente por el regulador, al final de cada período regulatorio. A medida que estos valores referenciales disminuyen, los consumidores se benefician de las mejoras en eficiencia por parte de las empresas que se traducen en menores tarifas por el servicio de electricidad.

Al respecto, inicialmente las pérdidas referenciales fijadas por el regulador estuvieron conformadas por las pérdidas estándar y las pérdidas reconocidas.

Pérdidas estándar

Según el artículo 143 del Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas (LCE), Decreto Ley N° 25844 y sus modificatorias, las pérdidas estándar que se incorporan en las tarifas de electricidad incluyen las pérdidas técnicas y comerciales. Asimismo, las pérdidas técnicas deben garantizar un nivel determinado de calidad establecido en la Ley y las pérdidas comerciales no podrán ser superiores al 50% de las pérdidas técnicas. En otras palabras, las pérdidas estándar representan las pérdidas eficientes que deberían tener las empresas distribuidoras.

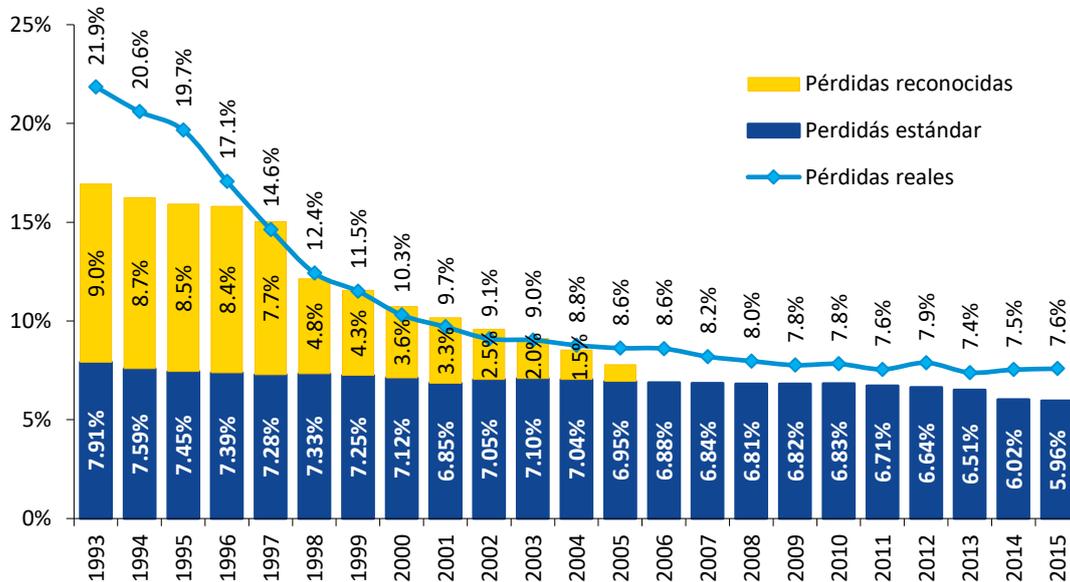
Pérdidas reconocidas

En los primeros años de implementación de la LCE, las pérdidas reales de energía eran demasiado altas debido principalmente a un gran porcentaje de pérdidas comerciales. Por ello, inicialmente se incorporó en la tarifa un porcentaje de pérdidas adicional a las pérdidas estándar, denominado como **pérdidas reconocidas**. En las disposiciones transitorias del Reglamento de la LCE, Decreto Supremo N° 009-1993-EM y disposiciones modificatorias, se estableció que el porcentaje de pérdidas reconocidas iría disminuyendo gradualmente hasta desaparecer luego de tres fijaciones tarifarias. Además, para la primera fijación tarifaria se debería reducir por lo menos el 50% de la diferencia entre las pérdidas reales y las pérdidas estándar.

El **Gráfico Nº 3** muestra la evolución del porcentaje de pérdidas reales, estándar y reconocidas. En 1993, el porcentaje de pérdidas reales de energía en distribución a nivel nacional fue equivalente a 21.9%, mientras que para el 2015, dicho porcentaje fue de tan solo 7.6%. Esta reducción se explica por la implementación de los esquemas de regulación tarifaria incorporados en la LCE. Nótese, que el porcentaje total de pérdidas incorporadas en las tarifas es igual a la suma de la barra azul (pérdidas estándar) y la barra amarilla (pérdidas reconocidas).

Como se muestra en el **Gráfico Nº 3**, luego del 2005 solo se incluyen las pérdidas estándar dentro de las tarifas de distribución. Además, este porcentaje ha ido disminuyendo, lo cual ha favorecido a que se reduzcan las tarifas de electricidad.

Gráfico Nº 3: Evolución de las pérdidas de energía a nivel nacional, 1993 - 2015

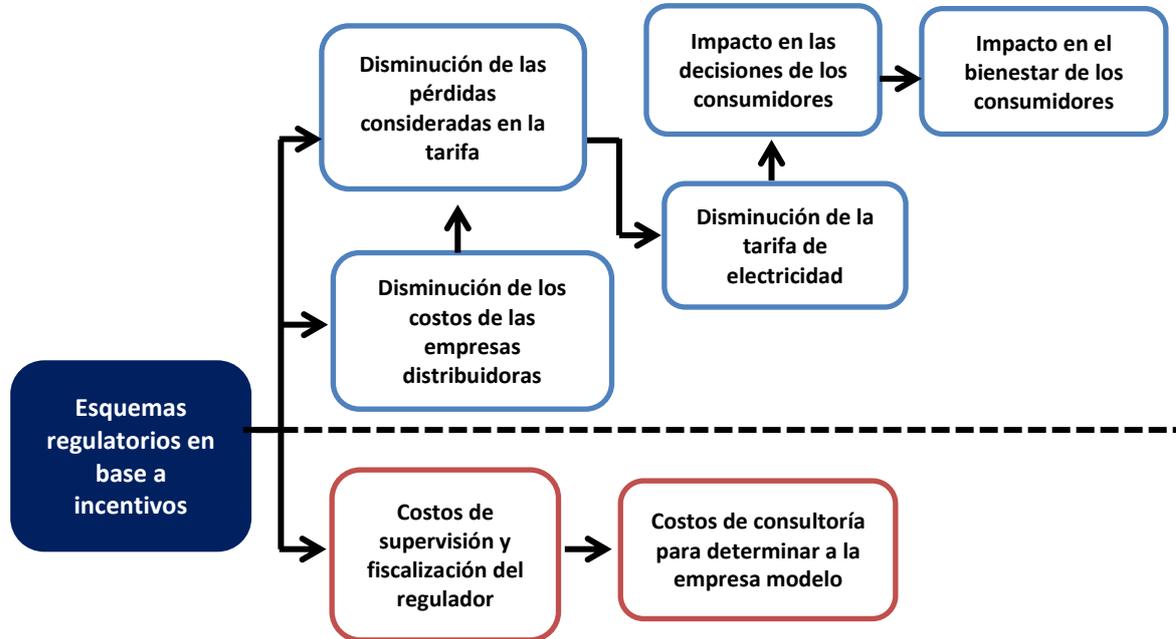


Fuente: GRT – Osinergmin. Elaboración: GPAE - Osinergmin

Marco metodológico

El primer paso para el análisis de evaluación de impacto ex post fue definir una secuencia de los posibles efectos producto de la política que se está evaluando (véase la **Ilustración Nº 1**). Esto permite determinar el efecto final sobre el cual se cuantifica el impacto. De esta manera la reducción del porcentaje de pérdidas consideradas en el Valor Agregado de Distribución permitiría reducir la tarifa de electricidad y a su vez, siguiendo a Filippini y Pachauri (2004), la disminución de la tarifa de electricidad aumentaría el bienestar de los consumidores. En efecto, los hogares no demandan electricidad como un bien final, sino como un bien intermedio que les permite la utilización de sus artefactos eléctricos. Por lo tanto, al disminuir el precio de la electricidad se genera un efecto ahorro que aumenta el bienestar de los consumidores.

Ilustración N° 1: Impactos de la regulación en base a incentivos



Fuente y elaboración: GPAE-Osinergmin

De esta manera, para cuantificar los beneficios de las menores pérdidas de energía se calculó una tarifa contrafactual, asumiendo que el porcentaje de pérdidas incorporadas en la tarifa se mantuvo constante en el nivel correspondiente al año 2001.

Por lo tanto, para cuantificar los beneficios de las menores pérdidas se compara el bienestar de los consumidores en la situación vigente (escenario real) con el bienestar en una situación donde las pérdidas consideradas en la tarifa no han disminuido (escenario contrafactual). Se utilizó como medida de bienestar la variación equivalente, la cual se interpreta como la **cantidad de dinero que los consumidores están dispuestos a pagar para que el regulador mantenga la política de reducción de pérdidas** (véase el **Anexo N° 2** para mayor detalle sobre las medidas de bienestar).

Para cuantificar la variación equivalente, se asumió una función de demanda de electricidad lineal (ver **Ecuación 1**), ya que existe evidencia de que la especificación lineal es una buena aproximación de la curva de demanda de electricidad de los usuarios residenciales, debido a que permite obtener elasticidades precio e ingreso distintos para familias de altos y bajos ingresos, capturando así la heterogeneidad de los hogares (Bendezú y Gallardo, 2006).

$$x = \alpha p + \delta y + \gamma z. \quad \text{Ecuación 1}$$

donde,

x : Cantidad demandada de electricidad en kWh,

- α : Coeficiente asociado a la variable precio,
- p : Precio nominal de la energía eléctrica en Soles por kWh,
- y : Ingreso del consumidor,
- δ : Coeficiente asociado a la variable ingreso,
- γ : Coeficiente asociado a las características socioeconómicas,
- z : Vector de características socioeconómicas.

A partir de la función de demanda anterior, utilizando la identidad de Roy y el teorema de la función explícita es posible recuperar la función de utilidad indirecta. Luego por dualidad se obtiene la función de gasto mínimo. Así, se derivó la siguiente expresión para la variación equivalente (véase el **Anexo N° 3** para mayor detalle)

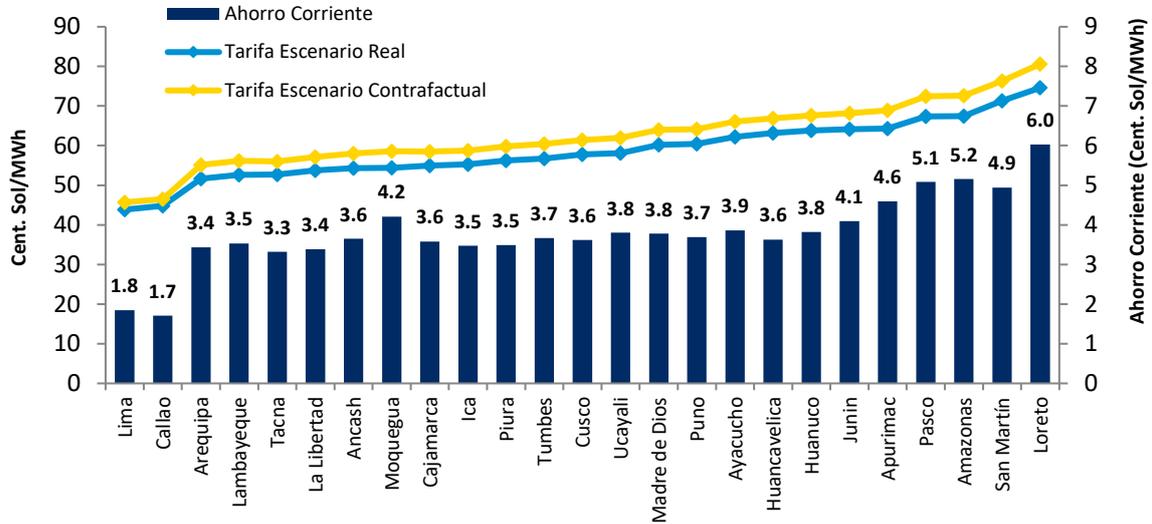
$$VE = \frac{1}{\delta} \left(x_0 + \frac{\alpha}{\delta} \right) - e^{\delta(p_0 - p_1)} \frac{1}{\delta} \left(x_1 + \frac{\alpha}{\delta} \right). \quad \text{Ecuación 2}$$

Los valores de x_0 y p_0 corresponden a las cantidades y precios en el escenario real, mientras que de x_1 y p_1 , a las cantidades y precios en el escenario contrafactual. Posteriormente, en base a las elasticidades precio e ingreso estimadas por Bendezú y Gallardo (2006), se obtuvieron los valores para los parámetros α y δ (véase el **Anexo N° 3** para mayor detalle). Nótese que la demanda de electricidad para los hogares de ingresos bajos es más elástica puesto que estas familias poseen otras fuentes alternativas de energía (como lámparas a kerosene o velas), a diferencia de los hogares de ingresos altos donde existen menores fuentes de sustitución.

Estimación del impacto

Empleando la ecuación 2, se estimó el impacto de las menores pérdidas de energía en distribución, los cálculos se centran en los consumidores residenciales. En el **Gráfico N° 4** se muestran las tarifas de electricidad que pagaron los usuarios residenciales en cada escenario para el 2015. Por ejemplo, la tarifa para los usuarios de la región Lima en el escenario real fue aproximadamente S/. 0.51 por kWh, mientras que en el escenario contrafactual fue S/. 0.55 por kWh, generándose un ahorro estimado de S/. 0.04 por kWh consumido.

Gráfico N° 4: Tarifas de electricidad para usuarios residenciales por escenarios, año 2015



Fuente y elaboración: GPAE-Osinergmin

Entre 2012 y 2015, el esquema regulatorio empleado por Osinergmin permitió que las pérdidas de energía disminuyan, lo cual generó un impacto positivo en el presupuesto familiar debido a las menores tarifas de electricidad, beneficiándose de esta forma a los consumidores. En efecto, el beneficio total, a valores de 2015, alcanzaría los US\$ 252 millones. El **Cuadro N° 2** resume el impacto económico atribuible a la disminución de las pérdidas de energía.

**Cuadro N° 1: Impacto económico por región de las menores pérdidas de energía, 2012-2015
(en millones de US\$ de 2015)**

Región	2012	2013	2014	2015	Total ¹
Amazonas	0.07	0.07	0.08	0.08	0.31
Ancash	1.77	1.81	1.54	1.63	6.75
Apurímac	0.43	0.41	0.40	0.41	1.65
Arequipa	4.49	4.82	4.73	4.89	18.9
Ayacucho	0.49	0.59	0.59	0.61	2.28
Cajamarca	0.53	1.06	1.06	1.09	3.74
Cusco	1.78	1.96	1.91	1.95	7.59
Huancavelica	0.08	0.08	0.08	0.08	0.33
Huánuco	0.69	0.78	0.71	0.75	2.93
Ica	2.08	2.21	2.26	2.06	8.61
Junín	1.66	1.97	1.74	2.12	7.48
La Libertad	3.41	3.81	3.94	4.14	15.3
Lambayeque	2.57	2.92	2.94	2.99	11.4
Lima	31.48	32.74	30.74	30.97	125.9
Loreto	0.15	0.20	0.17	0.18	0.70
Madre De Dios	0.10	0.39	0.38	0.38	1.25
Moquegua	0.53	0.67	0.63	0.65	2.49
Pasco	0.41	0.29	0.21	0.21	1.12
Piura	2.75	3.08	3.16	3.33	12.3
Puno	1.15	1.19	1.15	1.17	4.65
San Martín	0.99	1.74	1.65	1.80	6.18
Tacna	0.95	0.97	0.97	1.00	3.89
Tumbes	0.49	0.53	0.51	0.54	2.07
Ucayali	0.84	1.07	0.97	1.06	3.93
Total²	59.9	65.4	62.5	64.1	252

Notas: ¹ Utilizando el tipo de cambio promedio venta del Banco Central de Reserva del Perú, se estimó el beneficio neto agregado. ² Se utilizó una tasa social de descuento publicada por el Ministerio de Economía y Finanzas, 9% en soles, pero ajustada por inflación y devaluación equivalente al 14.01%, en dólares (Para mayores detalles véase Tamayo et al., 2016).

Fuente y elaboración: GPAE-Osinergmin.

Conclusiones

La implementación del esquema regulatorio de Empresa Modelo Eficiente que reconoce un nivel eficiente de pérdidas de energía en la remuneración de las empresas de distribución eléctrica ha permitido un aumento en el nivel de eficiencia de la operación de las empresas y una reducción en el porcentaje de pérdidas de energía. De esta manera se ha pasado de un porcentaje de pérdidas a nivel nacional de 21.9% en 1993 a 7.6% en el 2015, es decir, una reducción de 14.3 puntos porcentuales.

La reducción de las pérdidas ha tenido un impacto importante sobre el bienestar de los consumidores al reducirse las tarifas eléctricas. Es así que en el periodo 2012 - 2015 la reducción

en las pérdidas ha representado una mejora en el bienestar de los consumidores, medida a través de la variación equivalente, en US\$ 252 millones en valores de 2015.

Estos resultados evidencian la necesidad de adoptar esquemas de regulación, en los cuales se definan de forma clara y transparente los indicadores de monitoreo, las estrategias de supervisión y el diseño de mecanismos de incentivos que permiten alinear los objetivos de las empresas con los del regulador, que en última instancia se traducen en mejoras en la operación del sistema que impactan de manera positiva en el bienestar de los consumidores.

Este enfoque de regulación se enmarca en la formulación de políticas sistemáticas y coherentes, la cual incorpora el Análisis de Impacto Regulatorio fomentado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y que Osinergmin recientemente ha adoptado. En este sentido, este Documento se encuentra en línea con lo recomendado por la OCDE en relación al cierre del ciclo de la gobernanza regulatoria a través de la realización de una evaluación ex post sistemática de las políticas regulatorias,³ habiendo demostrado que el beneficio del esquema de regulación de las pérdidas de energía en distribución eléctrica, implementada por Osinergmin desde la década de 1990, ha reportado US\$ 252 millones (expresados en valores del 2015) en beneficios netos a la sociedad entre los años 2012 y 2015.

Por otra parte, la agenda de investigación sobre la regulación de las pérdidas de distribución vigente estaría vinculada a la factibilidad de reducir los niveles de pérdidas de las empresas de distribución estatales hasta un nivel cercano al que presentan las empresas privadas. Este objetivo podría alcanzarse diseñando nuevos mecanismos de incentivos que impulsen a las propias distribuidoras estatales a que reduzcan los indicadores de pérdidas de energía, complementando el diseño regulatorio actual.

³ Véase para mayores detalles OCDE (2015), Capítulo 5. Como menciona la OCDE: “La evaluación de políticas se ha convertido en una práctica institucionalizada en el siglo XX y la política regulatoria no es la excepción. Sin embargo, la evaluación de regulaciones es principalmente hecha ex ante a través del Análisis de Impacto Regulatorio (RIA), mientras que la evaluación ex post permanece como la herramienta regulatoria menos desarrollada. Las prácticas de países específicos son esporádicas en este campo. No obstante, es posible obtener lecciones importantes de la aplicación de la evaluación ex post en un número de jurisdicciones que abren oportunidades promisorias para mejorar la calidad regulatoria...” (traducción propia). En este sentido, la evaluación ex post realizada en este Documento contribuye a cerrar esta brecha en el conocimiento sobre los impactos ex post de las políticas regulatorias identificada por la OCDE. Este Documento permite, entonces, cerrar el ciclo de la buena gobernanza regulatoria para el procedimiento de reducción de las pérdidas de energía como consecuencia de la regulación de las tarifas de distribución eléctrica en el Perú .

Anexo N° 1: El efecto Joule

La electricidad se genera ante la presencia del movimiento de electrones; la fuerza que induce este movimiento se denomina voltaje (V), el flujo de electrones se denomina corriente eléctrica y la velocidad a la cual fluye la corriente eléctrica se denomina intensidad de corriente (I). Con estos elementos, se define la energía eléctrica (E) como:

$$E = V * I * t \quad \text{Ecuación A.1.1}$$

donde:

E : Energía eléctrica (medida en MWh),

V : Voltaje o tensión (medido en voltios - V),

I : Intensidad de corriente (medida en Amperios - A),

t : Tiempo transcurrido (medido en horas - h).

Para transportar la electricidad hasta los centros de consumo se utilizan conductores eléctricos, de manera análoga al transporte de agua mediante ductos y tuberías. Sin embargo, estos conductores presentan cierta resistencia al paso de la corriente eléctrica. Debido a ello, el movimiento de electrones a lo largo del conductor eléctrico genera un aumento de la temperatura del conductor; de esta forma, una parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor, generándose pérdidas de energía. Esto se conoce como el efecto Joule; matemáticamente se tiene que:

$$Q = I^2 R, \quad \text{Ecuación A.1.2}$$

donde:

Q : Energía calorífica (medida en calorías – cal),

I : Intensidad de corriente (medida en Amperios – A),

R : Resistencia del conductor (medido en Ohmios – Ω).

Como se indica en la Ecuación A.1.2, las pérdidas de energía dependen de manera más que proporcional de la intensidad de corriente. Por lo tanto, para minimizar estas pérdidas se busca reducir la intensidad de corriente. Sin embargo, de acuerdo a la ecuación 1, la menor intensidad de corriente disminuiría la energía eléctrica total transportada. Por ello, para no afectar el flujo total de energía se eleva el voltaje; este cambio de voltaje se realiza en las subestaciones de transformación.

Por otra parte, otro factor que interviene en el efecto Joule es la resistencia del conductor. Esta se define como:

$$R = \frac{\rho * L}{A},$$

Ecuación A.1.3

donde:

R Resistencia del conductor (medido en Ohmios – Ω),

ρ : Resistividad (constante),

L : Longitud del conductor (medida en metros – m),

A : Área de la sección transversal del conductor.

De la Ecuación A.1.3, se pueden obtener dos conclusiones. En primer lugar, en términos económicos es conveniente reducir el área de la sección transversal del conductor, puesto que así se disminuyen los costos de las empresas. No obstante, esto origina un aumento en la resistencia del conductor y, por ende, un mayor nivel de pérdidas de energía. Debe tenerse en cuenta que el área del conductor también afecta al flujo de corriente eléctrica que puede transportarse. Segundo, una menor longitud del conductor implica una menor resistencia, aunque esto debe contrapesarse con el costo de la cantidad de torres que deben instalarse.

Anexo N° 2: Medidas de bienestar⁴

En este apartado se presenta el análisis de bienestar del consumidor usando la teoría del enfoque de las preferencias, esto es, se evalúa los efectos de cambios en el entorno del consumidor sobre su bienestar usando los indicadores de bienestar: la variación equivalente y la variación compensada (Hick, 1939).

Conociendo las demandas ordinarias del consumidor se puede conocer sus preferencias, y por lo tanto, su función de utilidad. Sabiendo esto uno puede determinar si el consumidor se encuentra mejor o peor ante cambios en el precio de un bien. Si el ingreso del consumidor es I , el vector de precios iniciales p^0 y el vector de precios finales p^1 , entonces ante cambios en el vector de precios, el consumidor se encuentra mejor siempre y cuando la utilidad $V(.)$ obtenida con el nuevo vector de precios sea mayor que la utilidad obtenida con el vector de precios inicial, es decir que tiene que cumplir la siguiente condición:

$$V(p^1, I) - V(p^0, I) > 0. \quad \text{Ecuación A.2.1}$$

Puesto que la utilidad no es directamente observable, para cuantificar este cambio en el bienestar del consumidor, se hace uso de la función de utilidad indirecta métrica en dinero, que es una construcción por medio de la función de gasto $e(.)$ que consiste en⁵:

$$e(\bar{p}, V(p^1, I)) - e(\bar{p}, V(p^0, I)). \quad \text{Ecuación A.2.2}$$

Esto es, dado que \bar{p} se mantiene fijo y la función de gasto es monótona (conserva el orden del cambio) en la función de utilidad indirecta, mantiene la lógica de medida del bienestar inicial, esto es el consumidor está mejor ante cambios en el precio de un bien cuando se cumple lo siguiente:

$$e(\bar{p}, V(p^1, I)) - e(\bar{p}, V(p^0, I)) > 0. \quad \text{Ecuación A.2.3}$$

De la ecuación anterior se definen los siguientes indicadores de bienestar, dependiendo de los precios (\bar{p}) que se utilicen como ponderadores.

La Variación Equivalente

La variación equivalente es un indicador de bienestar que utiliza como ponderador los precios iniciales y se define como:

$$VE = e(p_1^0, u^1) - e(p_1^0, u^0). \quad \text{Ecuación A.2.4}$$

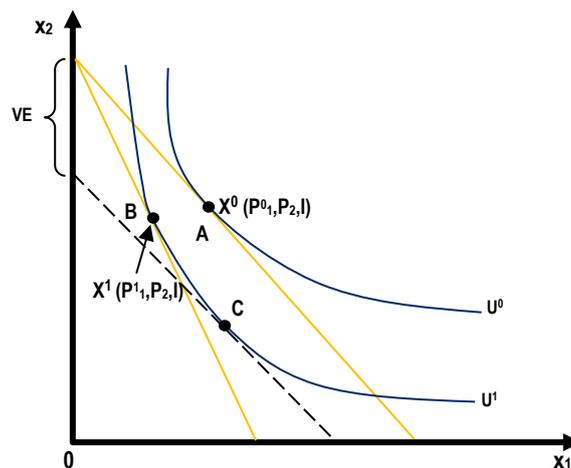
⁴ Esta sección está basada en Mas-Colell, Whinston y Green (1995), Capítulo 3.

⁵ Se asume que las preferencias del consumidor son racionales, continuas y cumplen la propiedad de no saciedad local.

Inicialmente el consumidor elige la cesta X^0 (punto A en el Gráfico N° A.2.1) y alcanza el nivel de utilidad U^0 . Luego, ante un aumento en el precio del bien 1, el consumidor elige la cesta de consumo X^1 (punto B) alcanzando el nivel de utilidad menor U^1 . En consecuencia, el cambio en el bienestar del consumidor es igual a U^1 menos U^0 , entonces la variación equivalente se define como la diferencia entre el ingreso necesario para alcanzar el nivel de utilidad U^1 , utilizando los precios iniciales, menos el ingreso inicial necesario para alcanzar el nivel de utilidad U^0 .

En este sentido, el consumidor está peor cuando la variación equivalente es menor a cero, es decir, cuando la variación del precio empeora el bienestar del individuo. Por ejemplo, si el gobierno establece un impuesto indirecto al bien 1 y por lo tanto sube su precio, se tendría que la variación equivalente es negativa, y en soles sería la cantidad de dinero que el consumidor estaría dispuesto a pagar al gobierno para que no le ponga el impuesto, como se observa en el siguiente gráfico.

Gráfico N° A.2.1: Representación gráfica de la Variación Equivalente



Fuente: Mas-Colell et al. (1995). Elaboración: GPAE-Osinergmin

La Variación Compensada

Este indicador utiliza como ponderadores, los precios finales

$$VC = e(p_1^1, u^1) - e(p_1^1, u^0).$$

La variación compensada (VC) es el ingreso que se le debe indemnizar al consumidor para que regrese a su nivel de utilidad inicial después del cambio en los precios. Si después del cambio en los precios el consumidor se encuentra en un estado peor y tiene que ser indemnizado, entonces la variación compensada es negativa. En el ejemplo anterior en que el gobierno establecía un impuesto indirecto al bien 1 y por lo tanto subía su precio, tendríamos que la variación compensada (igual que la variación equivalente) es negativa, y en soles la variación compensada **sería la cantidad de dinero que el consumidor está dispuesto a aceptar del gobierno por haberle puesto el impuesto al bien 1.**

Anexo N° 3: Derivación de la fórmula de la Variación Equivalente

Para determinar la ecuación de la VE se asumió una demanda de electricidad lineal (véase la **Ecuación A.3.1**), ya que existe evidencia de que la especificación lineal es una buena aproximación de la curva de demanda de electricidad de los usuarios residenciales, debido a que permite obtener elasticidades precio e ingreso distintos para familias de altos y bajos ingresos, capturando así la heterogeneidad de los hogares (Bendezú y Gallardo, 2006).

$$x = \alpha p + \delta y + \gamma z, \quad \text{Ecuación A.3.2}$$

donde:

- x : Cantidad demandada de electricidad en kWh,
- α : Coeficiente asociado a la variable precio,
- p : Precio nominal de la energía eléctrica en Soles por kWh,
- y : Ingreso del consumidor,
- δ : Coeficiente asociado a la variable ingreso,
- γ : Coeficiente asociado a las características socioeconómicas,
- z : Vector de características socioeconómicas

Utilizando el teorema de la función implícita y la identidad de Roy, Hausman (1981) encuentra la siguiente función de utilidad indirecta.

$$v(p, y) = e^{-\delta p} \left[y + \frac{1}{\delta} \left(\alpha p + \frac{\alpha}{\delta} + \gamma z \right) \right]. \quad \text{Ecuación A.3.3}$$

Por la teoría de la dualidad, si despejamos el ingreso "y" de la función de utilidad indirecta, se obtiene la función de gasto mínimo

$$e(p, \bar{u}) = e^{\delta p \bar{u}} - \frac{1}{\delta} \left(\alpha p + \frac{\alpha}{\delta} + \gamma z \right). \quad \text{Ecuación A.3.4}$$

Para estimar la Variación Equivalente (VE), se definieron cantidades y precios correspondientes al escenario real (periodo "0") y al escenario contrafactual (periodo "1"). Para este último escenario, se estimó la tarifa que hubieran pagado los usuarios residenciales si las pérdidas de energía hubieran sido las correspondientes al año 2001.

Ante un aumento en el precio, la VE se define como⁶:

$$VE = e(p_0, \bar{u}_0) - e(p_0, \bar{u}_1).$$

Tomando en consideración que $e(p_0, \bar{u}_0) = y = e(p_1, \bar{u}_1)$, tenemos que:

$$VE = e(p_1, \bar{u}_1) - e(p_0, \bar{u}_1).$$

Reemplazando las funciones de gasto mínimo y la utilidad indirecta obtenemos:

$$VE = e^{\delta p_1 \bar{u}_1} - \frac{1}{\delta} \left(\alpha p_1 + \frac{\alpha}{\delta} + \gamma z \right) - \left[e^{\delta p_0 \bar{u}_1} - \frac{1}{\delta} \left(\alpha p_0 + \frac{\alpha}{\delta} + \gamma z \right) \right],$$

$$VE = e^{\delta p_1 \bar{u}_1} - \frac{1}{\delta} (\alpha p_1 - \alpha p_0) - (e^{\delta p_0 \bar{u}_1}).$$

Reemplazando el valor de \bar{u}_1 :

$$VE = e^{\delta p_1} e^{-\delta p_1} \left[y + \frac{1}{\delta} \left(\alpha p_1 + \frac{\alpha}{\delta} + \gamma z \right) \right] - \frac{1}{\delta} (\alpha p_1 - \alpha p_0) - e^{\delta p_0} e^{-\delta p_1} \left[y + \frac{1}{\delta} \left(\alpha p_1 + \frac{\alpha}{\delta} + \gamma z \right) \right],$$

$$VE = y + \frac{1}{\delta} \left(\alpha p_0 + \frac{\alpha}{\delta} + \gamma z \right) - e^{\delta(p_0 - p_1)} \left[y + \frac{1}{\delta} \left(\alpha p_1 + \frac{\alpha}{\delta} + \gamma z \right) \right].$$

Considerando la función de demanda lineal se obtiene la siguiente expresión de la VE:

$$VE = \frac{1}{\delta} \left(x_0 + \frac{\alpha}{\delta} \right) - e^{\delta(p_0 - p_1)} \frac{1}{\delta} \left(x_1 + \frac{\alpha}{\delta} \right).$$

En base a las elasticidades precio e ingreso estimadas por Bendezú y Gallardo (2006), (véase el **Cuadro N° A.3.1**), se obtuvieron los valores para los parámetros α y δ . Nótese que la demanda de electricidad para los hogares de ingresos bajos es más elástica puesto que estas familias poseen otras fuentes alternativas de energía (como lámparas a kerosene o velas), a diferencia de los hogares de ingresos altos donde existen menores fuentes de sustitución.

⁶ Se define de esta forma para que la VE sea positiva, puesto que el gasto mínimo necesario para alcanzar el nivel de utilidad final es menor al gasto necesario para alcanzar el nivel de utilidad inicial (dado que se ha asumido un aumento en el precio por lo que la utilidad final es más baja).

Cuadro N° A.3.2: Elasticidades precio e ingreso por deciles de ingreso

Decil	Elasticidad precio	Elasticidad Ingreso
1	-0.9357	0.2693
2	-0.7317	0.3323
3	-0.584	0.3556
4	-0.464	0.3346
5	-0.3529	0.2578
6	-0.2665	0.171
7	-0.2334	0.1694
8	-0.2077	0.1726
9	-0.1982	0.2039
10	-0.1653	0.2552

Fuente: Bendezú y Gallardo (2006)

A partir de la elasticidad precio (e_p), se puede obtener el parámetro α :

$$e_p = \frac{dx \bar{p}}{dp \bar{x}} = \alpha \frac{\bar{p}}{\bar{x}} \rightarrow \alpha = e_p \frac{\bar{x}}{\bar{p}}$$

Asimismo, a partir de la elasticidad ingreso (e_y), se obtiene el valor del parámetro δ :

$$e_y = \frac{dx \bar{y}}{dy \bar{x}} = \delta \frac{\bar{y}}{\bar{x}} \rightarrow \delta = e_y \frac{\bar{x}}{\bar{y}}$$

donde los valores \bar{x} y \bar{y} representan la demanda promedio y el ingreso promedio dentro de cada decil.

Referencias

Bendezú, L. y J. Gallardo (2006). *Análisis Econométrico de la Demanda de Electricidad en Hogares Peruanos*. Documento de Trabajo N° 16, Oficina de Estudios Económicos – Osinergmin, Perú.

Filippini, M. y S. Pachauri (2004). “Elasticities of electricity demand in urban Indian households”. *Energy Policy*, 32(3): 429-436.

Hausman, Jerry A. (1981). “Exact Consumer’s Surplus and Deadweight Loss”. *American Economic Review*, 71(4): 662-676.

Hicks, J. (1939). *Value and Capital*. Oxford: Clarendon Press.

Maldonado, R. (2005). *Reflexiones sobre las pérdidas de energía eléctrica*. Revista CIEPI, N° 8, Quito, Junio.

Mas-Colell, A.; Whinston, M. y J. Green (1995). *Microeconomic Theory*. Oxford: Oxford University Press.

OCDE (2015). *OECD Regulatory Policy Outlook*. Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico. Paris: OECD Publishing. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1787/9789264238770-en>

Organización Latinoamericana de Energía – OLADE (1993). *Manual latinoamericano y del Caribe para el control de pérdidas eléctricas*. 1ª ed. Quito, Ecuador.

Osinergmin (2016). *Guía de Política Regulatoria N°1: Guía Metodológica para la realización de Análisis de Impacto Regulatorio en Osinergmin*. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. Gerencia de Políticas y Análisis Económico. Lima, Perú Disponible en http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/RIA/Guia-Politica-Regulatoria-N-1.pdf

Pérez-Arriaga, I. (Ed.) (2013). *Regulation of the Power Sector*. Berlin: Springer.

Tamayo, Jesús; Salvador, Julio; Vásquez Cordano, Arturo y Carlo Vílches (editores) (2016). *La Industria de la Electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. Lima: Osinergmin.

