

Un modelo explicativo de la continuidad del servicio eléctrico en España

Ester Gutiérrez Moya¹

¹ Lda. Ciencias y Técnicas Estadísticas. Lda. Admón. y Dirección de Empresas.
Dpto. Organización Industrial y Gestión de Empresas.
Universidad de Sevilla, egm@esi.us.es

RESUMEN

Las empresas eléctricas españolas tienen como uno de los objetivos prioritarios, en su planificación estratégica, la mejora de la calidad de su producto esencial, la energía eléctrica. Más aún, en este nuevo mercado liberalizado de electricidad donde será una importante técnica de fidelizar clientes. Este trabajo tiene como objetivo la estimación de un modelo explicativo del indicador más utilizado en la calidad del suministro eléctrico en el sector eléctrico, éste es el TIEPI (tiempo de interrupción equivalente de la potencia instalada).

Palabras clave: Calidad del Servicio Eléctrico, Economía de la Energía, TIEPI.

1. Introducción

El incremento del coste de la energía, tras la crisis del petróleo de 1973, desarrolló los estudios de eficiencia energética, en general, y en el sector eléctrico, en particular, originando un impulso en el análisis de la gestión de la demanda, de la calidad del servicio y de los costes de interrupción. Así, las empresas eléctricas han de tener en cuenta, en su planificación, los costes de una mayor fiabilidad del suministro de energía eléctrica.

La energía es uno de los pilares básicos del desarrollo social y económico de los países, toda vez que sus actuaciones, basadas en la seguridad del abastecimiento, el respeto por el entorno, el incremento de la competitividad y la diversificación de las fuentes de suministro, provocan que las decisiones de los distintos gobiernos afecten a toda la humanidad. Respecto a la Garantía del Suministro Eléctrico, la ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sistema Eléctrico en el artículo 10 dice:

“Todos los consumidores tendrán derecho al suministro de energía eléctrica, en el territorio nacional, en las condiciones de calidad y seguridad que reglamentariamente se establezcan por el Gobierno”.

La fiabilidad del suministro es una condición a la cual debe aspirar cualquier sistema eléctrico. La energía eléctrica, como servicio de primera necesidad, debe tener en consideración la calidad del suministro, que está integrada por la *continuidad del servicio* y la *forma de la onda de tensión*; ya que ésta no es perfectamente sinusoidal si hay perturbaciones que la degradan. Concretamente, para medir y controlar la continuidad del servicio, se estiman algunos índices. El más empleado es el "tiempo de interrupción equivalente de la potencia instalada" (TIEPI), el cual refleja, para cada año, la duración, en horas, de una hipotética interrupción del suministro a toda potencia instalada en el territorio nacional, que

fuera equivalente a la suma de la duración de todas las interrupciones reales del servicio y de la potencia a la que ha afectado cada una de ellas.

En este trabajo se pretende conocer los factores que ayudan a explicar el indicador de la continuidad del suministro eléctrico, TIEPI, con datos de panel pertenecientes a los principales cuatro grupos eléctricos nacionales de ciclo completo. Estos grupos eléctricos son Endesa, Hidrocantábrico, Iberdrola y Unión Fenosa, durante el periodo 1998-2001. Se ha desarrollado a través del análisis de la regresión lineal múltiple considerando sus distintas extensiones, ya que el modelo lineal general de regresión sólo requiere la linealidad de los parámetros, pero no necesariamente de las variables.

2. La Continuidad de Suministro

El documento “Procedimiento de Medida y Control de la Continuidad de Suministro Eléctrico” presentado por UNESA (Asociación Española de la Industria Eléctrica), ASEME (Asociación de Empresas Eléctricas) y CIDE (Centro de Investigación y Desarrollo) en cumplimiento con el artículo 108.3 del Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, viene a proponer los criterios y metodología a seguir para la recogida y tratamiento de los datos de la continuidad de suministro: TIEPI, percentil del 80 por ciento del TIEPI y NIEPI.

La continuidad del suministro viene determinada por el número y la duración de las interrupciones. Las interrupciones pueden ser previstas para permitir la ejecución de trabajos programados en la red, en cuyo caso los consumidores deberán ser informados de antemano por la empresa distribuidora, previa autorización de la Administración competente de acuerdo con lo previsto en el presente artículo. La situación creada en el estado de California en el verano de 2001 y en algunos puntos de la geografía española en el invierno de 2002, pusieron de manifiesto la vulnerabilidad del parque de generación ante el creciente aumento de demanda de electricidad, esto ha provocado la necesidad de adoptar medidas adecuadas a la realidad de un mercado caracterizado por un incremento constante de la demanda.

La determinación de la continuidad del suministro, por las interrupciones de suministro, se basa en dos parámetros:

- El tiempo de interrupción, igual al tiempo transcurrido desde que la misma se inicia hasta que finaliza, medido en horas. El tiempo de interrupción total será la suma de todos los tiempos de interrupción durante un plazo determinado.
- El número de interrupciones. El número de interrupciones total será la suma de todas las interrupciones habidas durante un plazo determinado.

De los índices que definen la continuidad de suministro, en España, se emplea, casi exclusivamente, el TIEPI (1), definido como el tiempo de interrupción equivalente de la potencia instalada en media tensión ($1\text{kV} < V \leq 36\text{kV}$). Este índice se define mediante la siguiente expresión:

$$TIEPI = \frac{\sum_{i=1}^k P_i H_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (1)$$

siendo

P_i : potencia instalada de los centros de transformación de media y baja tensión del distribuidor, más la potencia contratada en media tensión, afectada por la interrupción i -ésima de duración H_i , expresado en kVA.

$\sum_{i=1}^n P_i$: suma de la potencia instalada de los centros de transformación de media y baja tensión del distribuidor más la potencia contratada en media tensión, en kVA.

H_i : tiempo de interrupción del suministro que afecta a la potencia P_i , expresado en horas.

k : número total de interrupciones durante el período considerado.

Los índices que se definen a continuación son de menor utilización en el sector eléctrico en España.

Percentil 80 del TIEPI: es el valor del TIEPI que no es superado por el 80 por cien de los municipios del ámbito provincial definidos.

NIEPI: es el número de interrupciones equivalente de la potencia instalada en media tensión ($1 \text{ kV} < V \leq 36 \text{ kV}$). Este índice (2) se define mediante la siguiente expresión:

$$NIEPI = \frac{\sum_{i=1}^k P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2)$$

donde:

P_i : potencia instalada de los centros de transformación media y baja tensión del distribuidor más la potencia contratada en media tensión, afectada por la i -ésima interrupción.

$\sum_{i=1}^n P_i$: suma de la potencia instalada de los centros de transformación de media y baja tensión del distribuidor más la potencia contratada en media tensión, en kVA.

k : número total de interrupciones durante el período considerado.

Las interrupciones que se considerarán en el cálculo del NIEPI serán las de duración superior a tres minutos.

3. Evaluación de modelos explicativos de la continuidad del suministro eléctrico

En este apartado se realiza el estudio de los factores que contribuyen a explicar el índice de continuidad del suministro de energía eléctrica, TIEPI, y por lo tanto, en la calidad del mismo.

El éxito de cualquier análisis de carácter cuantitativo depende en última instancia, de la disponibilidad de la información adecuada. En nuestro caso, para desarrollar el análisis empírico se ha contado con datos de panel, es decir, son observaciones de corte transversal que proceden de series temporales. En definitiva, son las observaciones repetidas a lo largo

del periodo 1998-2001 para una muestra de unidades individuales los cuatro principales grupos eléctricos españoles. Con estos datos se pretende construir un modelo econométrico que nos permita conocer los factores que contribuyen a explicar la calidad del servicio de suministro eléctrico en España, TIEPI.

Las variables que inicialmente se desea incluir como regresores o variables explicativas del TIEPI son: la potencia instalada expresada en megavatios (PTI), la longitud de las líneas de distribución de baja tensión expresada en kilómetros (LBT), la longitud de las líneas de distribución alta tensión expresada en kilómetros (LAT), la energía facturada expresada en gigavatios por hora (ENG), el número de personas empleadas (EMP) y el número de clientes (CLI). Existen varios modelos de regresión que conducen a determinar cuales son los factores que influyen en la continuidad del suministro eléctrico, medido a través del Tiempo de Interrupción Equivalente de la Potencia Instalada, de los principales cuatro grupos eléctricos españoles. En relación a la forma funcional de los modelos de regresión considerados, los modelos que van a interesar son aquellos que sean lineales en los parámetros y no necesariamente en las variables tal como se establece en el modelo de regresión lineal general. Así, consideramos diferentes modelos que no son lineales en las variables pero que sí lo son en los parámetros o que pueden serlo mediante transformaciones adecuadas en las variables, además del modelo lineal general (lineal en los parámetros y variables).

Específicamente, consideramos cuatro tipos de relaciones funcionales entre el TIEPI y las distintas variables explicativas:

- El modelo lineal. (Regresión 1)

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + u_i$$

- El modelo log lineal o modelo de elasticidad constante. (Regresión 2)

$$\ln Y_i = \beta_1 + \beta_2 \ln X_{2i} + \dots + \beta_k \ln X_{ki} + u_i$$

- El modelos semilog, considerando los modelos log-lin y lin-log. (Regresión 3 y 4)

$$\ln Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + u_i \quad \text{y} \quad Y_i = \beta_1 + \beta_2 \ln X_{2i} + \dots + \beta_k \ln X_{ki} + u_i$$

- El modelo recíproco. (Regresión 5)

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 \left(\frac{1}{X_{2i}} \right) + \dots + \beta_k \left(\frac{1}{X_{ki}} \right) + u_i$$

donde β_1 es el término constante, β_k son los coeficientes de regresión o elasticidades asociadas a cada una de las $k-1$ variables explicativas X_2, X_3, \dots, X_k y u_i la perturbación de carácter aleatorio del modelo.

En la tabla 1, se reflejan los resultados obtenidos tras la aplicación del método de mínimos

cuadrados ordinarios a los cinco modelos lineales mencionados. También se podría haber utilizado el método de máxima verosimilitud, sin embargo, los dos métodos arrojan idénticos estimadores de los coeficientes de regresión.

Teniendo en cuenta que la columna fila define el valor inicial o constante así como las distintas variables explicativas consideradas en cada uno de los modelos, el resto de columnas hace referencia a la estimación de los coeficientes de regresión así como sus t-estadísticos (p-valores). Respecto a las últimas dos columnas, éstas son los resultados de aplicar la prueba F al modelo.

| | <i>Regresión 1</i> | <i>Regresión 2</i> | <i>Regresión 3</i> | <i>Regresión 4</i> | <i>Regresión 5</i> |
|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Valor Inicial/ Intersección | 1.695901 (0.0001) | 11.23536 (0.1970) | 0.580275 (0.0003) | 16.74681 (0.4527) | 3.364123 (0.0000) |
| PTI | 0.000358 (0.3173) | | 0.000145 (0.3321) | | |
| LBT | 6.30 10 ⁻⁶ (0.5314) | | 1.86 10 ⁻⁶ (0.6567) | | |
| LAT | 0.000564 (0.2267) | | 0.000255 (0.1934) | | |
| ENG | 4.67 10 ⁻⁵ (0.4807) | | 1.89 10 ⁻⁵ (0.4944) | | |
| EMP | 0.000205 (0.3244) | | -8.73 10 ⁻⁵ (0.3168) | | |
| CLI | -2.36 10 ⁻⁶ (0.1357) | | -1.01 10 ⁻⁶ (0.1285) | | |
| <i>ln</i> PTI | | 1.524458 (0.0252) | | 3.41237 (0.0495) | |
| <i>ln</i> LBT | | 0.0950721 (0.0497) | | 3.110485 (0.0207) | |
| <i>ln</i> LAT | | 1.050330 (0.3045) | | 1.093363 (0.6784) | |
| <i>ln</i> ENG | | -0.084180 (0.7999) | | -0.460452 (0.6024) | |
| <i>ln</i> EMP | | -0.617836 (0.0517) | | -1.467247 (0.0751) | |
| <i>ln</i> CLI | | -2.539934 (0.0647) | | -4.847165 (0.1634) | |
| Inv PTI | | | | | 7148.731 (0.3536) |
| Inv LBT | | | | | -302942.7 (0.1379) |
| Inv LAT | | | | | 1589.023 (0.8491) |
| Inv ENG | | | | | 19174.31 (0.3645) |
| Inv EMP | | | | | -626.9382 (0.9072) |
| InvCLI | | | | | 9105365 (0.1563) |
| R ² | 0.865654 | 0.876087 | 0.839807 | 0.872991 | 0.632979 |
| R ² corregido | 0.776090 | 0.793478 | 0.733012 | 0.788319 | 0.388299 |
| Estadístico F | 9.665216 | 10.60525 | 7.86370 | 10.31023 | 2.586963 |
| P-valor (Estadístico F) | 0.001692 | 0.001198 | 0.003560 | 0.001332 | 0.096809 |

Tabla 1: Modelos Econométricos.

A la vista de los resultados, puede observarse que se trata de modelos globalmente bien estimados ya que el estadístico F nos indica que las variables conjuntamente son significativas al 95% de confianza. Por otra parte, el coeficiente de determinación R^2 es elevado, comprendido entre 0.632979 y 0.876087. Además, se puede comprobar que en los modelos lineal, log lin y recíproco la significación individual de las variables explicativas resultan ser no significativas en la explicación del TIEPI. Salvo en los modelos log lineal y lin log, en los que resultan ser algunos de los coeficientes de regresión significativos, estos son, el logaritmo neperiano de la potencia instalada y la longitud de las líneas de baja tensión. Por tanto, parece plausible que en el modelo explicativo del TIEPI intervengan estas dos variables explicativas transformadas convenientemente.

Cuando estas dos características se presentan de forma simultánea (R^2 elevado y variables no significativas), como ocurre en este análisis, puede sospecharse acerca de la presencia de multicolinealidad en el /los modelo/os. Se ha procedido a verificar esta posibilidad realizando un análisis de la matriz de correlaciones (2) de los cuatro tipos de relaciones funcionales, resultando ser matrices casi singulares, lo que también es indicativo de presencia de multicolinealidad.

$$|R_j| \cong 0 \quad ; \quad j=1, 2, 3. \quad (3)$$

A continuación para los cinco modelos considerados se procede a detectar la presencia de variables superfluas a fin de tratar de eliminar la presencia de multicolinealidad entre las variables explicativas. Para ello se ha evaluado la significancia de los coeficientes de regresión, β_k , estimado con la prueba t usual. Todo lo anterior se recoge en la tabla 2, donde en la primera fila se detallan las variables que tienen carácter redundante y que no aportan información al modelo, así como la prueba F para la exclusión de las mismas.

| | <i>Regresión 1</i> | <i>Regresión 2</i> | <i>Regresión 3</i> | <i>Regresión 4</i> | <i>Regresión 5</i> |
|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------------------------|-------------------------|--|
| Variables Redundantes | PTI CLI EMP ENG | lnENG lnLAT | LBT ENG | lnLAT lnENG lnEMP | INVCLI INVENG INVLAT INVLBT INVEMP 0.558601 0.299062 |
| P-valor (F) | 0.504409 | 0.442477 | 0.654595 | 0.313739 | |
| P-Valor (RV) | 0.251613 | 0.234678 | 0.470804 | 0.111100 | |
| Valor Inicial/ Intersección | 1.875997 (0.0000) | 2.413410 (0.0134) | 0.645416 (0.0000) | 7.682299 (0.0057) | 3.024312 (0.0000) |
| PTI | | | 0.000254 (0.0015) | | |
| LBT | 1.73 10 ⁻⁵ (0.0004) | | | | |
| LAT | -0.000117 (0.0039) | | 0.000326 (0.0024) | | |
| ENG | | | | | |
| EMP | | | -0.000151 (0.0046) | | |
| CLI | | | -1.14 10 ⁻⁶ (0.0017) | | |
| lnPTI | | 0.860264 (0.0093) | | 1.169812 (0.0077) | |

| | Regresión 1 | Regresión 2 | Regresión 3 | Regresión 4 | Regresión 5 |
|----------------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
| <i>lnLBT</i> | | 1.289164 (0.0005) | | 2.886340 (0.0011) | |
| <i>lnLAT</i> | | | | | |
| <i>lnENG</i> | | | | | |
| <i>lnEMP</i> | | -0.466345 (0.0724) | | | |
| <i>lnCLI</i> | | -1.327488 (0.0006) | | -3.234199 (0.0009) | |
| Inv PTI | | | | | -2164.138 (0.0037) |
| Inv LBT | | | | | |
| Inv LAT | | | | | |
| Inv ENG | | | | | |
| Inv EMP | | | | | |
| InvCLI | | | | | |
| Estadístico F | 28.09343 | 15.76503 | 12.87406 | 17.63123 | 12.09528 |
| P-valor (Estadístico F) | 0.000019 | 0.000158 | 0.000392 | 0.000108 | 0.003694 |

Tabla 2: Especificación del Modelo.

Los resultados de las nuevas estimaciones expresan la significatividad global de los modelos, así como también la de los coeficientes individualmente, al 95 por ciento de confianza.

4. Conclusiones

Se podría decir que entre los factores principales que influyen en la disminución del TIEPI estarían la potencia instalada en las centrales eléctricas, es decir el grado de disponibilidad de las mismas, el número de empleados de las compañías y el número de clientes a quienes en potencia podrían dejar sin suministro eléctrico. Además, es preciso puntualizar que cualquiera de los cuatro modelos, lineal, log-lineal, log-lin y lin-log, propuestos podrían ayudar a explicar el comportamiento del TIEPI, por alcanzar sus criterios valores próximos entre sí. Por lo tanto, sería recomendable poder discriminar entre alguno de ellos con la idea de definir y plantear una única función explicativa del TIEPI, etapa que hemos abordado en la comunicación denominada *Elección de un modelo explicativo del TIEPI a través de la técnica de decisión multicriterio Promethee*.

Agradecimientos

Se desea agradecer a la profesora M^a Teresa Arévalo Quijada las sugerencias y comentarios aportados para el desarrollo de este trabajo.

Referencias

- [1] Boletín Estadístico de Energía Eléctrica, números 7, 19, 31, 43. Red Eléctrica de España. Ministerio de Economía.
- [2] Calidad de Onda (2000). Unesa

- [3] Carmona, D et al . Mejora de la calidad del suministro eléctrico, *Revista Energía* marzo/abril 1999, número 2, vol. 25.
- [4] Carrascal, U. (2000); Análisis Econométrico con Eviews. Ed. Ra-Ma.
- [5] Eguíluz, L. I. (2001); Incidencia del Suministro Eléctrico en el Proceso de Fabricación. Seminario *Innovación Tecnológica: Energía y Telecomunicaciones*, Santander.
- [6] Energía 2002. Foro de la Industria Nuclear Española.
- [7] Ley 54/97 del Sector Eléctrico. BOE, número 285, de 27 de noviembre de 1997.
- [8] Informe Anual de Endesa, S.A. 1998, 1999, 2000, 2001.
- [9] Informe Anual de Hidroeléctrica del Cantábrico, S.A. 1998, 1999, 2000, 2001.
- [10] Informe Anual de Iberdrola, S.A. 1998, 1999, 2000, 2001.
- [11] Informe Anual de Unión Fenosa, S.A. 1998, 1999, 2000, 2001.