

GENERACIÓN Y COSTO DEL MEGAWATTS A PARTIR DE TÉCNICAS ECONOMETRICAS

GENERATION AND COST OF THE MEGAWATTS USING ECONOMETRICS

Dr. C Raimundo Juan Lora-Freyre¹, Lic. Elio David Zaldívar-Linares¹, Lic. Léster Leonel Leonard-González¹¹

lora@eco.uo.edu.cu, zaldivar@eco.uo.edu.cu

¹Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Oriente, Cuba; ¹¹Central Termoeléctrica "Antonio Maceo Grajales" (RENTÉ), Santiago de Cuba, Cuba

Resumen

Este artículo refleja las acciones investigativas desarrolladas en la Central Termoeléctrica "Antonio Maceo Grajales" (RENTÉ), de la provincia de Santiago de Cuba, perteneciente al Ministerio de Energía y Minas. Tiene como objeto de estudio el perfeccionamiento del proceso de planificación y como campo de acción la modelación econométrica aplicada a la producción de energía eléctrica. El objetivo general de la investigación es realizar estimaciones de la generación de energía eléctrica y de sus costos totales, así como el análisis de la influencia de los factores productivos, mediante técnicas econométricas. Para el cumplimiento del objetivo antes mencionado se utilizó y perfeccionó el "Sistema Informático para el Cálculo de los Estimados de Producción" (SICEP), el cual permite determinar las funciones de respuestas, considerando los principales factores manejables que influyen en la generación de energía eléctrica y en sus costos totales. Los resultados permiten demostrar que el factor más influyente en la generación de energía eléctrica es el combustible, apreciado esto a través del análisis del coeficiente b estandarizado que refleja el valor más alto (0,39). Por otro lado, el factor más influyente en el costo total de generación es el aditivo, que muestra un coeficiente b estandarizado de 0,51. Las estimaciones que se ofrecen muestran valores del error estándar casi coincidentes con la desviación típica obtenida en el reporte de normalidad de los errores. Los resultados serán de utilidad al proceso de planificación de la producción y al aseguramiento material del mismo.

Palabras clave: regresión, correlación, sistema informático, generación de energía eléctrica.

Abstract

This work was conducted at the Energy Plant "Antonio Maceo" (Renté), in the province of Santiago de Cuba, under the Ministry of Energy and Mining. Aims to study the improvement of the planning process and as field of action the econometric modeling applied to the production of electricity. The overall objective of this research is to develop estimates of electricity generation and its total costs, and the analysis of the influence of production factors, using econometric techniques. In order to fulfill the above objective was used and perfected the "Information System for the Calculation of Production Estimates" (SICEP), which determines the response functions, considering the main factors influencing the electricity generation and its total costs. The results allow to show that the most influential factor in the generation of electricity is the fuel, it appreciated by analyzing the standardized b coefficient that reflects the highest value (0,39). Furthermore, the most influential factor in the total cost of generation is the additive, which shows a coefficient b standardized 0,51. The estimates given show the standard error values almost coincide with the standard deviation obtained in the reporting of error normality. The results will be useful to the process of production planning and securing materials from it.

Keywords: regression, correlation, computer system, electric power generation.

Introducción

En los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, se hace referencia a la necesidad de acceder a niveles superiores de eficiencia en los procesos de producción y servicios.

Puntualmente, el Lineamiento N° 7 expresa: "Lograr que el sistema empresarial del país esté constituido por empresas eficientes, bien organizadas y eficaces"¹

En lo que respecta al tema relacionado con la generación de energía eléctrica, puede apreciarse también, en el referido documento, una alusión directa, en el Lineamiento N° 242, que establece: "Eleva significativamente la eficiencia en la generación eléctrica, dedicando la atención y recursos necesarios al mantenimiento de las plantas en operación, y lograr altos índices de disponibilidad en las plantas térmicas y en las instalaciones de generación con grupos electrógenos".²

De aquí que se pueda considerar de gran actualidad las acciones relacionadas con la búsqueda de niveles adecuados de eficiencia en el desarrollo de los procesos organizativos de las instalaciones dedicadas a la producción de energía eléctrica, con énfasis en el análisis de los factores que intervienen en la generación y en las causas que pudiesen provocar el desaprovechamiento de los recursos materiales, muchos de los cuales, en el objeto que se somete a estudio, son combustibles fósiles o insumos cuya adquisición es sólo posible a través del pago de moneda libremente convertible (divisa).

Otro elemento que demanda un análisis riguroso del uso de los recursos que intervienen en la producción de Megawatts por hora MWH está relacionado con las frecuentes violaciones que tienen lugar en el empleo de los tipos de combustibles, del agua, así como en las proporciones de componentes importantes como el aditivo químico Bycosín³.

El crecimiento gradual de los precios del combustible y sus derivados, así como de otros insumos incidentes en la generación (producción) de MWH, han proporcionado un incremento gradual de los costos de adquisición y con ello, del costo total. En el Anexo N°1 se puede apreciar nítidamente, esta tendencia.

El consumo indiscriminado de los insumos necesarios para producir electricidad, sin tener en cuenta, el efecto que estos tienen sobre el estado de los equipos y sobre el medio ambiente, la pérdida de una proporción importante del agua utilizada, la carencia de análisis sistemáticos de los elementos del costo y de la organización operativa, sugieren el enfrentamiento de esta dinámica, desde una óptica científica, orientada a la evaluación de las causas que inciden en indicadores económicos y técnicos que se muestran por debajo de los programados.

Del análisis sistemático del proceso de generación de electricidad en la Termoeléctrica "Antonio Maceo Grajales" (Renté), de Santiago de Cuba, se ha podido acceder a una evaluación integral, a modo de diagnóstico, de sus principales problemas. Algunos de los más significativos se relacionan a continuación:

- La selección del tipo de combustible a utilizar en cada momento no se realiza teniendo en cuenta la conveniencia del uso de uno u otro tipo de producto del petróleo. Con ello, se viola el diseño de explotación, desde el punto de vista tecnológico, de la planta.

- Como consecuencia de los dos aspectos anteriores, se violan los patrones de utilización del aditivo químico, el cual es un recurso restrictivo y costoso. No se aprovecha en su totalidad el aditivo, ya que existe un porcentaje que no es aprovechable y no existe entre cliente y suministrador un convenio para la contabilización de la merma que el mismo produce.

- Por razones técnicas, se pierde una proporción determinada de agua, lo cual, además de tener un efecto negativo en los costos, incide en el incremento de los niveles de contaminación ambiental.

¹ Partido Comunista de Cuba. Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. La Habana. Cuba. Año 2011.

² *Ibidem*

³ Producto derivado del petróleo que se utiliza para positivar zonas de baja temperatura, evitar incrustamientos de sales y como catalizador de la combustión.

No se realizan análisis de costos, que influyan en la toma de decisiones y en el empleo racional de los recursos disponibles.

Estos elementos, unidos a otros factores, no han permitido brindar un marco apropiado para la búsqueda de la mejor planificación y organización de la producción de energía eléctrica y el uso racional de los recursos. Se aprecia una tendencia al empleo de prácticas empíricas de planificación y en sentido general carencia de un análisis riguroso de la marcha de los procesos. Todo ello, unido a una situación de incertidumbre en torno a cuales serían los resultados económicos y los niveles de costo en los próximos años.

A partir de este punto del análisis se estableció como problemática a resolver el perfeccionamiento de los estimados de generación de energía eléctrica y sus costos y evaluar el efecto que los factores productivos tienen en ambos.

En consonancia con este problema, se estableció como Objetivo General la realización de estimaciones de la generación eléctrica y de sus costos totales, así como el análisis de la influencia de los factores productivos, mediante técnicas econométricas.

Para ello se hacía necesario determinar funciones de respuestas en dos direcciones, a saber:

- Considerando los principales factores manejables que influyen en la generación de energía eléctrica.
- Considerando los principales factores manejables que influyen en los costos de generación de energía eléctrica.

A partir de este punto se podría, utilizando el Sistema Informático para el Cálculo de los Estimados de Producción (SICEP), determinar las funciones de respuestas que mejor se adapten al objeto de estudio, así como realizar el análisis económico correspondiente que permita trazar perspectivas al respecto.

Antecedentes y situación actual de la temática

La electricidad es una de las fuentes secundarias de energía más empleada por el hombre, dada las múltiples aplicaciones que tiene. Sin embargo es un

servicio muy costoso y su uso indiscriminado afecta a la economía y al medio ambiente. Es por ello, que la educación energética de la población en general es importante. En el desarrollo del sistema energético en Cuba, se distinguen tres etapas principales. La primera hasta 1959, caracterizada por un esquema energético compuesto por una pequeña e insuficiente capacidad instalada para la generación de electricidad, básicamente en centrales termoeléctricas, que ascendía a 397 MW, lo que garantizaba el suministro de energía eléctrica al 56 % de la población.

La segunda etapa hasta 1989, caracterizada por un sostenido y estable desarrollo, sobre la base de la política trazada por el gobierno cubano y la contribución en cuanto a suministros de combustibles y tecnologías de los países de Europa del Este, en particular la extinta Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS).

En este período se llegaron a instalar capacidades para generar aproximadamente 3 083 MW con la utilización de petróleo, que aseguró el suministro de energía eléctrica, por medio del Sistema Eléctrico Nacional al 95 % de la población.

La tercera y actual etapa (entre 1989 hasta nuestros días) se caracteriza por no contar con un suministro suficiente y estable de petróleo debido a la desaparición de la URSS.

El reto hoy en Cuba es lograr una mayor independencia energética mediante la utilización de todas las fuentes de energía, según se expresa en el Programa de Desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía del Gobierno Cubano.

Diversificación de la Producción de Energía Eléctrica en Cuba. Situación actual de la generación de electricidad

Históricamente la producción de energía eléctrica en Cuba ha tenido como soporte principal la utilización de centrales termoeléctricas, que consumen actualmente alrededor del 40 % de los combustibles derivados del petróleo, para generar más del 80 % de la electricidad total producida en el país.

Esta situación implica que la producción de energía eléctrica depende de la capacidad para la importación

de combustible para lo cual se destina una parte importante de las divisas disponibles. La única alternativa viable para cambiar esta dependencia de los necesarios combustibles importados, es logrando el aprovechamiento de las fuentes nacionales de energía.

La producción de petróleo crudo en Cuba no prevé superar la cifra de 1,4 millones de toneladas anuales, siendo el mismo, de baja calidad por su alta viscosidad y contenido de azufre, lo que dificulta su utilización en las centrales termoeléctricas.

Por tanto, una posible alternativa es el aprovechamiento pleno de las fuentes renovables de energía. La utilización de la hidroenergía en Cuba es limitada, por no contar con un potencial significativo de ese recurso, que se evalúa actualmente en unos 650 MW. De ellos, en estos momentos, existen instalados 55 MW. Para el aprovechamiento de la energía eólica se realizan de manera incipiente trabajos para la prospección de su potencial.

En el caso de la energía solar, los costos del equipamiento comercial, aún no son competitivos con las fuentes convencionales en la mayoría de los casos. A partir de este análisis sólo la utilización de la biomasa como fuente de energía representa una alternativa real para la disminución del consumo de portadores energéticos convencionales en la generación de electricidad. En esta esfera, se ha planteado lograr a mediano plazo que el consumo de electricidad de todas sus actividades sea satisfecho a partir de un aprovechamiento más eficiente de la biomasa de la caña, lo que significa incrementos de la generación de electricidad sobre la base del bagazo y la paja como combustibles.

A largo plazo se propone que la industria azucarera pase a ser un suministrador neto de electricidad al Sistema Eléctrico Nacional, lo cual, en una primera aproximación, puede llegar a superar los incrementos logrados en el período anterior, además de satisfacer sus necesidades de combustible fósil mediante la utilización de la biomasa renovable. En un segundo plano se ha considerado la evaluación del uso de la biomasa forestal para la generación de electricidad. En este caso se parte del criterio de realizar la producción de electricidad en regiones aisladas, en las

cuales se dificulta técnica y económicamente el suministro a través del Sistema Eléctrico Nacional.

El consumo anual de petróleo en el país asciende a unos 6 millones de toneladas (t) y de ellos el 55 % se destina a la generación de electricidad en termoeléctricas. El resto se emplea fundamentalmente en los procesos de combustión en hornos y calderas de la industria azucarera, química, del níquel, papel y cartón, sideromecánica y cemento, entre las más significativas. Además de utilizarse en el transporte marítimo de la flota mercante.

Metodología para la determinación de los estimados de la generación eléctrica y los costos de producción

Uso del enfoque econométrico

La econometría posee una metodología de aplicación que consta de diferentes etapas, las cuales se expondrán a continuación, vinculadas a la presente investigación:

- Enunciado de la hipótesis para la utilización del modelo econométrico
- Especificación del modelo econométrico
- Estimación de los parámetros
- Verificación o Inferencia estadística
- Predicción
- Utilización del modelo para fines de control o formulación de políticas

Enunciado de la hipótesis para la utilización del modelo econométrico

En este caso el enunciado de la hipótesis está vinculado a los resultados de la investigación, está dada para mostrar las cantidades de materias primas necesarias y monetarias en el futuro, para demostrar que la solución del problema que se pretende resolver puede lograrse mediante un modelo econométrico. En este sentido se utilizará la hipótesis para la obtención de modelos econométricos para dar solución a la problemática de la determinación de los estimados de la Generación Eléctrica y los Costos de Producción a corto plazo, en el proceso de planificación de la Generación Eléctrica.

Hipótesis para la utilización del modelo econométrico

Existe una relación funcional entre los Estimados de la Generación Eléctrica, (expresados en MWH) y el consumo de combustible (en toneladas de Fuel Oil, Pesado, Extrapesado, el aditivo 98 164 y 3 945 (expresado en litros) y el agua desmineralizada (m^3), por tanto puede aplicarse un modelo econométrico capaz de expresar esta relación (Modelo N° 1).

De igual manera, existe una relación funcional entre los Estimados del Costo Total de la generación (miles de pesos) y el consumo de combustible (toneladas de Fuel Oil, Pesado, Extrapesado, CNM), el aditivo 98 014 y 3 945-CM (litros) y el agua desmineralizada (m^3), por tanto puede aplicarse un modelo econométrico capaz de establecer esta relación (Modelo N° 2).

Especificación del modelo econométrico

Descripción del problema a resolver, mediante el modelo econométrico

Con estas premisas se conoce que la Generación Eléctrica y los Costos de Producción, se pueden expresar cada una, en una relación funcional de dependencia con las variables independientes Combustible (t), Aditivos (litros) y Agua Desmineralizada (m^3). Se podría así definir la ecuación de regresión que mejor se ajusta al objeto de estudio. Existen condiciones técnicas y organizativas para determinar series históricas con los datos relevantes del problema.

Con estas premisas el problema sería, a partir de la valoración de un conjunto de funciones de respuestas, si se podría determinar la mejor función de regresión de la Generación Eléctrica y los Costos de Producción, mediante las cuales se puedan estimar la Generación Eléctrica y los Costos de Producción para producciones futuras, así como conocer la influencia que tienen los factores considerados en las correspondientes variables dependientes.

Planteamiento Matemático General (Modelo 1)

Variable dependiente:

Y_{ij} - estimado de la generación de MW

Variables independientes:

$X_{ij}^{(1)}$ - toneladas de combustible consumidas.

$X_{ij}^{(2)}$ - litros de aditivos consumidos.

$X_{ij}^{(3)}$ - agua desmineralizada utilizada en el proceso (m^3).

Parámetros:

$B_{ij}^{(0)}$ - constante del modelo. Representa la generación esperada de MW en la Planta, cuando las variables independientes sean cero.

$B_{ij}^{(1)}$ - Coeficiente asociado al combustible, representa la variación de la producción de MW por variación unitaria de la variable independiente combustible, manteniendo constante el resto de las variables

$B_{ij}^{(2)}$ - Coeficiente asociado al aditivo, representa la variación de la producción de MW por variación unitaria de la variable independiente aditivo, manteniendo constante el resto de las variables

$B_{ij}^{(3)}$ - Coeficiente asociado al agua desmineralizada, representa la variación de la producción de MW por variación unitaria de la variable independiente agua desmineralizada, manteniendo constante el resto de las variables.

Planteamiento Matemático (Modelo 2)

Variable dependiente:

Y_{ij} - estimado de costo producción.

Variables independientes:

$X_{ij}^{(1)}$ - toneladas de combustible consumidas.

$X_{ij}^{(2)}$ - litros de aditivos consumidos.

$X_{ij}^{(3)}$ - agua desmineralizada utilizada en el proceso (m^3).

Parámetros:

$B_{ij}^{(0)}$ - constante del modelo. Representa el costo esperado en la Planta de Generación, cuando las variables independientes sean cero.

$B_{ij}^{(1)}$ – Coeficiente asociado al combustible, representa la variación de los costos por variación unitaria de la variable independiente combustible, manteniendo constante el resto de las variables

$B_{ij}^{(2)}$ - Coeficiente asociado al aditivo, representa la variación de los costos por variación unitaria de la

variable independiente aditivo, manteniendo constante el resto de las variables

$B_{ij}^{(3)}$ - Coeficiente asociado al agua desmineralizada, representa la variación de los costos por variación unitaria de la variable independiente agua desmineralizada, manteniendo constante el resto de las variables.

Se partirá de cuatro funciones de respuesta que son las siguientes:

Lineal:

$$(Lin-log): Y_{ij} = \beta_{0ij} + \beta_{1ij} \ln(X_{1ij}) + \beta_{2ij} \ln(X_{2ij}) + \beta_{3ij} \ln(X_{3ij}) + \varepsilon$$

$$(Log-log): \ln Y_{ij} = \ln \beta_{0ij} + \beta_{1ij} \ln(X_{1ij}) + \beta_{2ij} \ln(X_{2ij}) + \varepsilon$$

$$(Log-lin): \ln Y_{ij} = \beta_{0ij} + \beta_{1ij} X(1)_{ij} + \beta_{2ij} X(2)_{ij} + \beta_{3ij} X(3)_{ij} + \varepsilon$$

Estimación de los parámetros

Para la determinación de los coeficientes en las funciones de respuesta se utiliza el método de los mínimos cuadrados ordinarios, el cual garantiza que la suma de los cuadrados de las desviaciones con respecto a la media es mínima, es decir, el método es de varianza mínima y además, si se cumplen los supuestos planteados en el teorema de Gauss-Markov, entonces los coeficientes de regresión hallados en la muestra serán los mejores estimadores lineales (MELI) y por tanto las estimaciones realizadas se acercarán con los niveles de confianza dados a los coeficientes poblacionales.

Para la obtención de los parámetros se utiliza el sistema informático SICEP, el cual ha sido elaborado para dar solución a este problema con un mayor grado de automatización que el SPSS.

Si todas las pruebas son significativas se acepta la curva y se utiliza para la proyección.

El proceso de selección considera primeramente si los signos de las variables independientes concuerdan con el fenómeno que se está estudiando, por ejemplo, si estamos relacionando combustible con costo no es correcto que el coeficiente de regresión del combustible sea negativo. Posteriormente se analiza el coeficiente R^2 para

determinar la bondad del ajuste, después, si la prueba **F** es significativa queda demostrado que hay relación entre las variables independientes y la dependiente. Después se analizan las pruebas **t** para conocer los coeficientes no significativos; luego se realizan las pruebas de normalidad, independencia de los errores y homocedasticidad, las que, si son significativas demuestran que los estimadores son de máxima verosimilitud. Por último se analiza la multicolinealidad mediante el coeficiente R^2 y la significación de los coeficientes, conociéndose que una alta "bondad de ajuste" y pocos coeficientes significativos es síntoma de un grado considerable de multicolinealidad.

Predicción

Si se confirma el modelo escogido mediante la inferencia, entonces el próximo paso es la predicción la cual debe corresponder, para determinados valores de las variables independientes, con el comportamiento teórico de la variable dependiente.

El cumplimiento de estos aspectos permitiría concluir que la curva es significativa y que con las muestras que se analizan se podrían hacer predicciones sobre la población. En caso contrario se procede a ampliar la muestra, tratar la información nuevamente o cambiar la muestra definitivamente y hallar una nueva curva.

Utilización del modelo para fines de control o formulación de políticas

La evaluación es el manejo de un modelo econométrico estimado para elegir entre políticas alternas. En el caso que se analiza a partir de las funciones de respuestas halladas, puede determinarse la influencia que tienen los distintos factores en el estimado que se realiza de maneras en que se pueda tomar las medidas pertinentes para su perfeccionamiento.

Uno de los factores clave que ha ayudado a una mayor utilización de la modelación económico-matemático ha sido el advenimiento de las microcomputadoras, debido a que los procesos de solución que se utilizan pueden volverse bastante laboriosos y, en algunos casos, complejos.

Por fortuna, utilizando la computadora, es posible reducir gran parte de la complejidad matemática y de la carga de cálculos implícitos en el uso de diferentes técnicas de solución.

Tratamiento de la Información de partida

La información de partida es fundamental para la correcta medición de la información final o de salida.

El sistema de información utilizado, brindado por los directivos de la Central Termoeléctrica "Antonio Maceo Grajales", se sustentó en los estados financieros correspondientes a los años comprendidos entre el 2008 y el 2011, en los cuales se reflejan, por partidas, todos los componentes del costo de generación. Igualmente, para el mismo año se obtuvieron los reportes de consumo de aditivo y combustible, tablas contentivas del consumo de agua desmineralizada. Por su parte, también se utilizaron las informaciones correspondientes a los niveles de generación, en MWH, en el año referido.

Para el procesamiento de estos datos se utilizó un sistema de generación de datos aleatorios, que ofrece el Sistema Informático para el Cálculo de los Estimados de Producción (SICEP).

Este procedimiento consiste en desarrollar un proceso de simulación de la información de partida, que considerando valores máximos y mínimos de las

series estudiadas, permita gestar una muestra del tamaño que se desee, representativa de la población.

Sistema Informático SICEP

El sistema SICEP, fue inicialmente confeccionado para estimar los rendimientos cañeros y cafetaleros a partir de funciones de respuestas. Luego se han extendido sus aplicaciones, al punto de haberse logrado su adaptación y perfeccionamiento a un universo más amplio. En la actualidad se ha perfeccionado su utilización, permitiéndose su aplicación a diferentes sectores de la producción y los servicios. En este caso, se ha perfilado su perfecta adaptación al campo de la generación de energía eléctrica.

El sistema resuelve varios modelos de regresión lineal múltiple, a partir de un conjunto de series históricas, a fin de hallar la mejor función que exprese la dependencia de la generación de energía eléctrica (MWH) o de los costos totales de generación (Miles de Pesos), con los factores que influyen en éste, para con estos resultados predecir los rendimientos futuros.

El sistema SICEP incluye las siguientes tareas:

- Administra series históricas y estimadas.
- Realiza reportes estadísticos e históricos.
- Edita, comprueba y guarda modelos de regresión lineal múltiple.
- Genera ecuaciones de regresión lineal múltiple a partir de los modelos definidos.
- Resuelve modelos de regresión lineal múltiple.

Aplicación práctica

Análisis de la ecuación de regresión cuando la variable dependiente es la generación.

La información de partida correspondiente a los 48 meses comprendidos entre los años 2008 y 2011 relacionada con los niveles de generación de energía eléctrica en MWH, así como las correspondientes al consumo de combustibles en t, el gasto de aditivo (litros) y el agua desmineralizada (m^3), se sometió, utilizando el Sistema Informático SICEP previa determinación de los valores máximos y mínimos de

cada variable, a un proceso de simulación que permitió generar una muestra aleatoria de más de 100 filas, para la evaluación de cuatro tipos de funciones de regresión, a saber:

- Lineal
- Lin-Log
- Log-Log
- Log-Lin

El procesamiento de esta base de datos, evaluando las cuatro posibles funciones a considerar, seleccionó la función Lineal. Se obtuvo como resultado la siguiente salida del SICEP:

Reporte SICEP

Reporte: Resumen Estadístico General

Hipótesis:	Significación	Homos.	Aleatoriedad	Normalidad		
Prueba:	--Fisher--	--White--	--Rachas--	--- Test K-S ---		
R ²	StdError	Pvalor	Pvalor	Pvalor	Calc	Tabla
0,9975	1614,714	0,0002	0,0537	0,1198	0,1016	0,1059
Decisión:	Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar		
	la curva	homos.	aleatoriedad	normalidad		

Análisis de Coeficientes

Coefficiente	Valor	B Est.	Pvalor	Significación
B0	3509,809		0,0020	Significativo
B1_1	1,288616	0,391230	0,0000	Significativo
B1_2	3,133922	0,351382	0,0002	Significativo
B1_3	0,539263	0,257182	0,0026	Significativo

Análisis económico de los resultados

Como se aprecia, se acepta la Línea Recta como curva para el caso de esta base de datos. Un incremento unitario de las toneladas de combustible, manteniendo constantes los otros factores, incrementa en 1, 3 la producción de MWH. Un incremento unitario de los

Nombre de la Empresa: Termoeléctrica

Tipo: Producción y Servicios

Función: Generación Eléctrica

Variables:

y: Generación

x₁: Combustible

x₂: Aditivo

x₃: Agua

Significación: 0,01

Función de Respuesta: **Lineal**

Ecuación de Regresión:

$$y=B0+B1_1*(x1)+B1_2*(x2)+B1_3*(x3)$$

litros de aditivo, manteniendo constantes los restantes factores incrementa en 3, 1 la producción de MWH.

Un incremento unitario de los m³ de agua desmineralizada, manteniendo constantes los otros factores incrementa en 0,5 la producción de MWH.

El análisis del coeficiente estandarizado refleja que el factor de más importancia es el combustible (0,39).

Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de centrar la atención en el consumo de este recurso, el cual, además de ser una fuente fósil de energía, su adquisición se realiza a través de la importación, con el consiguiente pago en moneda libremente convertible.

Debe insistirse en el perfeccionamiento del manejo de las disponibilidades de esta importante materia prima para la generación, pues no sólo tiene trascendencia su uso racional, sino también el empleo del tipo de combustible indicado, en evitación de acciones agresivas a las calderas y al resto del equipamiento de la central termoeléctrica.

Proyección de la generación (ver anexo I)

Los valores observados de generación oscilan entre 39 000 MWH y 153 000 MWH, con una media de 96 000 MWH.

Las estimaciones que se ofrecen muestran valores que se acercan de manera significativa a esos datos, considerando un error de 1 674,71 MWH.

Se pudo constatar la aproximación de este dato anterior a la desviación típica, la cual es de 1 599,77 MWH para una media de 0.00000.

La certidumbre de estos resultados podría ser de utilidad al proceso de planificación de la producción y al aseguramiento material del mismo.

Análisis de la ecuación de regresión cuando la variable dependiente es el Costo Total.

Al igual que en el epígrafe anterior, la información de partida correspondiente a los 48 meses

comprendidos entre los años 2008 y 2011, relacionada, en este caso, con los niveles de costo total (miles de pesos), así como las correspondientes al consumo de combustibles (t), el gasto de aditivo (litros) y el agua desmineralizada (m³), se sometió, al igual que en ejemplo anterior, a un proceso de simulación, que permitió generar una muestra aleatoria de más de 100 filas, para la evaluación de las cuatro funciones antes comentadas.

El procesamiento de esta base de datos, evaluando las cuatro posibles funciones a considerar, seleccionó la función Lineal. Se obtuvo como resultado la siguiente salida del SICEP:

Reporte SICEP

Reporte: Resumen Estadístico General

Nombre de la Empresa: Termoeléctrica

Tipo: Producción y Servicios

Función: Costo Total

Variables:

y: Costo

x₁: Combustible

x₂: Aditivo

x₃: Agua

Significación: 0,01

Función de Respuesta: Lineal

Ecuación de Regresión:

$$y=B_0+B_1_1*(x_1)+B_1_2*(x_2)+B_1_3*(x_3)$$

Hipótesis:	Significación	Homos.	Aleatoriedad	Normalidad	
Prueba:	--Fisher--	--White--	--Rachas--	--- Test K-S ---	
R ²	StdError	Pvalor	Pvalor	Calc	Tabla
0,9963	78449,79	0,0001	0,0326	0,0831	0,1027
Decisión:	Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar	
	la curva	homos.	aleatoriedad	normalidad	

Análisis de coeficientes

Coeficiente	Valor	B Est.	Pvalor	Significación
B0	15801783		0,0000	Significativo
B1_1	28,43922	0,215625	0,0090	Significativo
B1_2	184,6154	0,517500	0,0000	Significativo
B1_3	22,22425	0,265933	0,0069	Significativo

Análisis económico de los resultados:

Como se aprecia, se acepta la Línea Recta como curva para el caso de esta base de datos.

Un incremento unitario de las toneladas de combustible, manteniendo constantes el resto de los factores incrementa en 28,4 pesos, los costos totales.

Un incremento unitario de los litros de aditivo, manteniendo constantes los otros factores incrementa en 184,6 pesos, los costos totales.

Un incremento unitario de los m³ de agua desmineralizada, manteniendo constantes los otros factores incrementa en 22,2 pesos, los costos totales

El análisis del coeficiente $\hat{\alpha}$ Estandarizado refleja que el factor de más importancia es el aditivo (0,52).

Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de centrar la atención en el consumo de este recurso, el cual, además de ser muy costoso es decisivo desde el punto vista técnico en la calidad del proceso de generación de energía eléctrica.

Proyección del costo (ver anexo II)

Los valores observados de costos totales oscilan entre 17 379 498 (CUP y CUC) Y 21 706 089 (CUP y CUC), con una media de 19 542 793.5 (CUC y CUP).

Las estimaciones que se ofrecen muestran valores que se acercan de manera significativa a esos datos, considerando un error de 78 449.79 pesos.

Se pudo apreciar la aproximación de este dato anterior a la desviación típica, la cual es de 79 993 pesos, para una media de 0.00000.

Igual que en el caso del análisis para la generación, la certidumbre de estos resultados podría ser de utilidad al proceso de planificación de la producción y al aseguramiento material del mismo.

Conclusiones

1. El empleo del Sistema Informático para el Cálculo de los Estimados de Producción (SICEP), permitió seleccionar las funciones de respuestas que mejor se adaptan a (al) universo estudiado, coincidiendo en ambos casos (generación y costo) la selección de la función lineal.

2. El factor productivo que mayor incidencia tiene en el nivel de generación es el combustible, en tanto el factor más incidente en los costos totales es el empleo del aditivo.

3. La aplicación de las técnicas econométricas le otorga un mayor rigor científico al proceso de determinación de los estimados de generación eléctrica y de sus costos totales, a la vez que permite conocer el efecto que tiene, en ambos indicadores los más importantes factores productivos. De esta manera, se incide en el perfeccionamiento de la planificación.

Recomendación

Crear las condiciones para el perfeccionamiento de la aplicación del Sistema SICEP en la Central Termoeléctrica "Antonio Maceo Grajales" (RENTÉ), en beneficio del sistema de planificación de la entidad, incorporando el análisis de otros factores no considerados en esta investigación.

Bibliografía

1. CALERO VINELO, A. *Estadística II*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana 1987.
2. COCHRAN, William G. "Técnicas de Muestreo". Año 2006. (Yamane, Taro. *Estadística*. III Edición. Harla, S.A. de C.V. México. 1974.
3. CUÉMUÑIZ, Juan L. y otros: *Estadística*. La Habana, Cuba, 1987 Guerra Bustillo, Caridad W. y otros: *Estadística*. Editorial. Pueblo y Educación. La Habana. Cuba, 1991.
4. DRAPPER, N. R.; H. SMITH. "Análisis de Regresión Aplicada". Universidad de la Habana. 1998.
5. FERRÁN ARANAZ, Magdalena. *Estadística Clásica y Bayesiana*. Editado por el Autor. Bilbao. SSPS para Windows. Análisis Estadístico.
6. GUJARATI, D. N. *Econometría*. Quinta Edición. Editorial Grijalba. México 2005.
7. GUTIÉRREZ CABRIA, S. (1983a). "Desarrollo de la Inferencia Estadística .desde sus Comienzos hasta Principios de este Siglo". *Estadística Española*. P N° 98.
8. INTRILIGATOR, M. D. "Modelos Económicos". Fondo de Cultura Económica. México 1998.
9. *Manual del SICEC*. Centro de Estudio de Investigaciones azucareras, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Año 2008.
10. MILLER R., Irwin y otros. *Probabilidad y Estadística para ingenieros*. Abril, 2004.
11. PCC. *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución*. La Habana. 2011.

WebGrafía

- <http://www.anthro.mankato.msus.edu/prehistory/aegean/timeline.html>
- http://www.anthro.mankato.msus.edu/archaeology/archaeology/historical_archaeology.html
- <http://users.hol.gr/~dilos/prhis.htm>
- <http://www.anthro.mankato.msus.edu/prehistory/egypt/hieroglyphics/heiroglyphics.html>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Gasto>
- <http://www.estadistico.com/arts.html?20001106-56k>
- http://www.ecured.cu/index.php/Revoluci%C3%B3n_Energ%C3%A9tica_en_Cuba. Categorías: [Ciencias Aplicadas y Tecnologías](#) | [Ingenierías y Tecnologías](#)

ANEXO I**Proyección de la generación**

Reporte: Análisis de Regresión

Función: Generación Eléctrica

Variables:

y: Generación

 x_1 : Combustible x_2 : Aditivo x_3 : Agua

Estadística: Estimados

Significación: 0,01

Curva: Lineal

Ecuación de Regresión:

$$y = B_0 + B_1 \cdot x_1 + B_2 \cdot x_2 + B_3 \cdot x_3$$

y[i] observado	y[i] estimado	Diferencia	CI<estimado<CS
83506,29	82523,9297936783	982,360206321711	En rango
91455,47	91035,1188573521	420,35114264788	En rango
81308,37	82026,8814182584	-718,511418258408	En rango
78539,18	77181,0617014247	1358,11829857533	En rango
87357,11	84594,8947926861	2762,2152073139	En rango
75419,9	75993,4888525706	-573,588852570581	En rango
72299,85	74674,9684508118	-2375,1184508118	En rango
89112,92	87662,0105637942	1450,90943620582	En rango
70888,04	72721,102064788	-1833,06206478797	En rango
96408,48	94878,1136059961	1530,36639400394	En rango
80358,39	80716,6703007624	-358,280300762432	En rango
70833,12	71779,3585163177	-946,238516317724	En rango
79314,01	78772,5393448952	541,470655104844	En rango
90879,64	89885,5298097899	994,110190210078	En rango
73864,75	75547,7019860391	-1682,95198603906	En rango
83660,55	83400,3487970044	260,20120299558	En rango
94630,57	93549,5371320657	1081,03286793426	En rango
88387,85	85723,2845262099	2664,56547379014	En rango
93292,74	92335,1629333005	957,577066699538	En rango
94740,38	94328,9443496488	411,43565035121	En rango
92850,12	91259,4622320406	1590,65776795935	En rango
80043,62	80091,2790260648	-47,6590260647645	En rango
120854,86	118282,897250679	2571,96274932093	En rango
110797,93	112453,777742856	-1655,84774285635	En rango
107872,89	109324,862560505	-1451,97256050458	En rango
105569,52	105510,894984626	58,6250153744768	En rango
101321,66	104064,293885141	-2742,63388514148	En rango
124132,8	120200,817196222	3931,9828037783	En rango
108931,34	110755,867318663	-1824,52731866305	En rango
135204,03	135944,914544548	-740,884544548404	En rango
131639,3	129917,030511657	1722,26948834323	En rango
142270,48	143660,987844805	-1390,50784480522	En rango
131419,14	128434,406531798	2984,73346820244	En rango

137499,67	139277,921685533	-1778,25168553332	En rango
133491,76	133055,30478329	436,455216710165	En rango
153168,66	152934,308564881	234,351435119373	En rango
134416	135047,797614405	-631,797614405106	En rango
150190,95	151319,690005426	-1128,74000542649	En rango
150800,1	152005,829909969	-1205,72990996914	En rango
133259,67	132039,735602397	1219,93439760266	En rango
139726,23	141796,596812149	-2070,36681214938	En rango
143549,89	144011,074706571	-461,184706571192	En rango
67426,04	68949,8217120983	-1523,78171209828	En rango
66030,38	68054,7663839645	-2024,38638396452	En rango
61284,4	60522,5567868926	761,843213107364	En rango
58168,75	56916,2912710155	1252,45872898448	En rango
49744,58	51287,4556730513	-1542,87567305132	En rango
62963,07	63021,8102427676	-58,7402427676352	En rango
65012,72	66363,8815324375	-1351,16153243749	En rango
62071,56	61776,3771892657	295,182810734339	En rango
48325,74	48880,8831170928	-555,143117092834	En rango
49283,82	49460,76283292	-176,94283291998	En rango
54619,96	53860,3392880005	759,620711999538	En rango
60962,37	58808,0509295679	2154,31907043211	En rango
58702,63	57437,516050394	1265,11394960596	En rango
56801,53	55495,7165337567	1305,81346624332	En rango
50248,94	52825,2371219997	-2576,29712199969	En rango
49861,48	52321,431877004	-2459,95187700404	En rango
49306,08	50161,8294452369	-855,749445236863	En rango
63175,81	64713,6906130791	-1537,88061307914	En rango
60263,94	58089,7948634669	2174,14513653306	En rango
64884,13	65810,2133857092	-926,083385709157	En rango
47062,73	48096,7120922487	-1033,98209224867	En rango
56540,63	54975,2703076457	1565,35969235432	En rango
46045,6	46984,0278840969	-938,427884096862	En rango
54522,53	53175,3800569058	1347,14994309424	En rango
73348,07	74871,9388537963	-1523,86885379629	En rango
96777,77	95499,5288856798	1278,24111432018	En rango
90244,78	88467,948367379	1776,83163262103	En rango
112831,85	114514,096771711	-1682,24677171141	En rango
100756,57	99033,6073804889	1722,96261951109	En rango
114605,68	116173,525492968	-1567,84549296844	En rango
105491,64	105001,600589383	490,039410616722	En rango
107049,03	108433,125724886	-1384,09572488577	En rango
100313,76	98406,5995744368	1907,16042556318	En rango
106115,34	106191,279695943	-75,9396959429432	En rango
121904,74	118783,267890123	3121,47210987676	En rango
106259,25	108056,375249165	-1797,12524916464	En rango
108061,1	110274,195923164	-2213,09592316364	En rango
101018,7	101528,210401441	-509,510401440537	En rango

111437,36	113418,817335753	-1981,45733575276	En rango
103562,34	104658,443328526	-1096,10332852605	En rango
99169,3	98036,4563409604	1132,84365903959	En rango
150138,72	148752,481848825	1386,23815117491	En rango
130255,38	127797,125772828	2458,25422717164	En rango
139065,05	140406,166447239	-1341,11644723944	En rango
130102,13	126572,817846046	3529,31215395364	En rango
144165,25	145391,621522914	-1226,37152291372	En rango
144664,49	146195,52422431	-1531,03422431037	En rango
148522,13	146920,425684221	1601,70431577921	En rango
141997,13	143135,91574084	-1138,78574083975	En rango
134143,89	134170,229618301	-26,3396183011646	En rango
132316,97	131217,66103706	1099,3089629398	En rango
135296,13	137572,996148787	-2276,86614878738	En rango

ANEXO II**Proyección del costo**

Reporte: Análisis de Regresión

Función: Costo Total

Variables:

y: Costo

 x_1 : Combustible x_2 : Aditivo x_3 : Agua

Estadística: Estimados

Significación:0,01

Curva: Lineal

Ecuación de Regresión:

$$y=B_0+B_1(x_1)+B_2(x_2)+B_3(x_3)$$

y[i] observado	y[i] estimado	Diferencia	CI<estimado<CS
18179148	18294753,3	-115605,346	En rango
17471753	17571293,2	-99540,2069	En rango
17840118	17855999,9	-15881,9029	En rango
21032594	21033441,8	-847,787075	En rango
17759781	17779724,1	-19943,1174	En rango
20511041	20476482,1	34558,879	En rango
19614886	19453345,7	161540,28	En rango
21224519	21403587,5	-179068,534	En rango
18955906	18961318	-5411,99236	En rango
18324604	18385506,7	-60902,7045	En rango
18946786	18936771,5	10014,4922	En rango
18847759	18765201,9	82557,1377	En rango
19081530	19061699,5	19830,4962	En rango
18821922	18721092,2	100829,781	En rango
18569252	18681648,4	-112396,395	En rango
19135919	19158354	-22434,9648	En rango

18450419	18568712,7	-118293,678	En rango
19516152	19418960,1	97191,8524	En rango
21702086	21710516	-8429,98205	En rango
20947670	20969296,5	-21626,5009	En rango
21186711	21307086	-120374,974	En rango
19224723	19177963,5	46759,4666	En rango
18339451	18420467,9	-81016,9168	En rango
19284963	19269852,8	15110,2366	En rango
18094108	18066144,3	27963,6906	En rango
17932494	17922625,1	9868,9357	En rango
17733405	17697803,5	35601,4675	En rango
18126316	18161833,4	-35517,4373	En rango
18250835	18315165,3	-64330,3295	En rango
18099342	18119930	-20588,0182	En rango
20584633	20694653,5	-110020,451	En rango
21037108	21095398,8	-58290,8424	En rango
20855183	20879147,5	-23964,472	En rango
21205797	21392247,6	-186450,59	En rango
20843731	20819184,7	24546,3307	En rango
19732480	19622729,5	109750,478	En rango
20981475	21000409,3	-18934,3343	En rango
18929511	18868325,9	61185,1071	En rango
21035965	21060888,6	-24923,6019	En rango
20074554	20033347,5	41206,52	En rango
18069532	18013850,6	55681,3826	En rango
20254058	20100732,7	153325,329	En rango
17895327	17877819,3	17507,7166	En rango
20523299	20542917,1	-19618,129	En rango
17733537	17743494,9	-9957,92006	En rango
19731940	19594074,4	137865,581	En rango
18160626	18238914,2	-78288,2126	En rango
18012160	17977364,5	34795,4932	En rango
17589115	17596222,6	-7107,60266	En rango
17379498	17464985,2	-85487,2439	En rango
17605304	17622521,3	-17217,3325	En rango
17812834	17799833,7	13000,346	En rango
18932747	18901332,9	31414,1296	En rango
18364151	18531157,2	-167006,161	En rango
18855364	18827913,9	27450,1044	En rango
19254178	19230940,3	23237,718	En rango
18635390	18707207,5	-71817,5438	En rango
19077951	19004032,6	73918,3932	En rango
19410040	19371541,2	38498,8015	En rango
19122564	19107432,5	15131,4922	En rango

19329103	19328834,5	268,524931	En rango
19470336	19395515,7	74820,2593	En rango
19287928	19279255,1	8672,85579	En rango
21706088	21754441,3	-48353,2842	En rango
20528870	20556634,9	-27764,8942	En rango
20416883	20393060,7	23822,2957	En rango
20332316	20175561,2	156754,826	En rango
21641565	21691299,4	-49734,425	En rango
19988351	19890805,3	97545,6668	En rango
19817747	19823713,9	-5966,88032	En rango
20480455	20465606,6	14848,3698	En rango
17945528	17947421,9	-1893,93664	En rango
20386389	20266482,7	119906,283	En rango
21158811	21217718,5	-58907,5428	En rango
20391175	20321305,8	69869,2237	En rango
17679479	17655027,4	24451,5974	En rango
20046625	19997724,2	48900,8395	En rango
19914179	19864361,2	49817,8331	En rango
20038921	19927212,7	111708,283	En rango
20549648	20617236,7	-67588,6716	En rango
20420049	20417237,9	2811,07067	En rango
17744828	17764407,4	-19579,3873	En rango
20043738	19977901,3	65836,7138	En rango
20079224	20083653,6	-4429,58944	En rango
19755227	19707351,9	47875,0903	En rango
18535892	18690565,6	-154673,578	En rango
20337434	20217871,7	119562,345	En rango
19877549	19848084,4	29464,572	En rango
19727229	19580156,9	147072,132	En rango
21604033	21571079,6	32953,4317	En rango
20726888	20795992,8	-69104,8216	En rango
21168684	21256316,6	-87632,5817	En rango
20668638	20730433,8	-61795,788	En rango
21470167	21439750,6	30416,421	En rango
21564165	21469296,8	94868,2153	En rango
21592146	21497209,9	94936,0521	En rango
21187459	21363740,7	-176281,71	En rango
17429369	17539295,9	-109926,881	En rango
20896181	20929873,1	-33692,0631	En rango
21133660	21142563,3	-8903,28085	En rango