

03

Fecha de presentación: abril, 2020

Fecha de aceptación: junio, 2020

Fecha de publicación: julio, 2020

MODELO MATEMÁTICO

PARA PREDECIR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS

MATHEMATICAL MODEL TO PREDICT THE CONSUMPTION OF ELECTRIC ENERGY AT THE UNIVERSITY OF CIENFUEGOS

Ana Margarita Díaz Rodríguez¹

E-mail: amdiaz@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7938-2635>

Juan Bautista Cogollos Martínez²

E-mail: jcogollos@reduniv.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2785-3711>

Jesús Peña Acción¹

E-mail: jpena@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7373-7685>

Ariel Cogollos Izaguirre¹

E-mail: acogollos@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3418-1906>

Roxana González Álvarez¹

E-mail: rgonzalez@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3377-0621>

¹ Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez" Cuba.

² Ministerio de Educación Superior. La Habana. Cuba.

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Díaz Rodríguez, A. M., Cogollos Martínez, J. B., Peña Acción, J., & Cogollos Izaguirre, A., & González Álvarez, R. (2020). Modelo matemático para predecir el consumo de energía eléctrica en la Universidad de Cienfuegos. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(4), 21-31.

RESUMEN

La presente investigación se desarrolla en la Universidad de Cienfuegos, con el objetivo general de conocer el comportamiento matemático existente entre el consumo energético y las variables que lo afectan, para de esta forma poder escoger un modelo matemático que permita predecir futuros consumos de la energía eléctrica en la Universidad de Cienfuegos, sede "Carlos Rafael Rodríguez". A partir del diagnóstico efectuado se obtienen las principales debilidades en cuanto a la gestión energética por lo que se decide realizar un estudio estadístico mediante el Análisis de Componentes Principales, la Regresión Lineal y el Diseño de Experimentos a una serie de variables que afectan el consumo energético en la Universidad de Cienfuegos. Entre los principales resultados de este estudio se encuentra conocer el comportamiento de dichas variables, Becados (Bec), PC, Aires Acondicionados (AA), Matrícula Total (MT), Estudiantes del Curso Regular Diurno (CRD), Trabajadores (Trab) y Diurnos más Trabajadores (D-T), y el consumo energético, además de finalmente poder escoger un modelo que permita predecir futuros consumos.

Palabras clave: Energía eléctrica, consumo energético, modelos matemáticos.

ABSTRACT

This research is carried out at the University of Cienfuegos, with the objective of knowing the existing mathematical behavior between energy consumption and the variables that affect it, in order to be able to choose a mathematical model that allows predict future consumption of electricity at the University of Cienfuegos, campus "Carlos Rafael Rodríguez". Based on the diagnosis made, the main weaknesses in energy management are obtained, so it is decided to carry out a statistical study through the Analysis of Principal Components, Linear Regression and the Design of Experiments to a series of variables that affect energy consumption at the University of Cienfuegos. Among the main results of this study is to know the behavior of these variables, Becas (Bec), PC, Air Conditioners (AA), Total Matricula (MT), Students of the Regular Course Diurnal (CRD), Workers (Trab) and Diurnal more Workers (DT), and energy consumption, as well as finally being able to choose a model to predict future consumption.

Keywords: Electricpower, energy consumption, mathematical models.

INTRODUCCIÓN

El uso de las energías renovables (ER) y el Ahorro y la Eficiencia Energética (AEE) son necesidades de la sociedad y de las universidades (Lapido, 2014). Las universidades tienen una gran responsabilidad y repercusión social, pues son ejemplo y motor del cambio social (Granados, 2014).

Las universidades deben estar en la vanguardia de los procesos de AEE, buscando estar al mismo nivel, y preferiblemente superior al resto de la sociedad (Salcedo Galvis, 2016). Buscando el objetivo del 20% en energías renovables para el año 2020 y a más largo plazo, una mayor eficiencia energética basada en la diversidad de uso de las energías renovables (térmica, fotovoltaica, geotérmica, eólica, etc.) (Restrepo & Mesa, 2014) y estudiando la viabilidad de otros procesos energéticos (cogeneración, trigeneración, etc.) (Ros Garro, 2014).

Las universidades tienen un enorme potencial de ahorro energético, no sólo por la aplicación de las ER o el AEE (Vergara, Fenhann & Schletz, 2015). En gran medida, el ahorro pasa por la sensibilización de toda la comunidad universitaria. Los edificios no son los que despilfarran la energía, sino las personas en su uso diario. (Domínguez Claro, 2014)

Antes de iniciar cualquier medida de AEE es imprescindible tener datos estadísticos precisos del consumo energético por centros y edificios, y del uso de recursos naturales como agua, con series de datos de varios años que permitan detectar las debilidades y puntos fuertes en cada universidad. (García, 2014)

En este sentido, es necesario disponer de indicadores fiables, tanto para la situación de partida, antes de iniciar cualquier medida, como durante el funcionamiento de las instalaciones (García Samper, et al., 2017). Los indicadores pueden ser variados, aunque sería útil disponer de indicadores comunes para las universidades cubanas.

Anterior a este estudio se han realizado otros en el centro, todos ellos con la finalidad de lograr un ahorro del consumo energético del mismo, y tratando de lograr la correspondencia entre la NC ISO 50001:2011 y la Tecnología de Gestión Total y Eficiente de la Energía (TGTEE) implementada en el centro (González, 2015). Actualmente resulta una tarea importante conocer el comportamiento matemático existente entre el consumo energético y dichas variables, además de poder predecir futuros consumos de la energía eléctrica en la UCf.

En la actualidad resulta de vital importancia hacer una caracterización de la situación de la energía eléctrica en la UCf, específicamente para el año 2017, además de

realizar un diagnóstico de los principales problemas que la afectan y determinar así indicadores energéticos para el centro. Para esto es necesario realizar un análisis estadístico mediante el Análisis de los Componentes Principales, la Regresión Lineal y el Diseño de Experimentos Virtuales con el fin de conocer la relación entre las variables que afectan el consumo energético y poder predecir futuros comportamientos de dicho portador, con el fin de escoger un modelo matemático que permita predecir futuros consumos de la energía eléctrica en la Universidad de Cienfuegos, Sede "Carlos Rafael Rodríguez".

DESARROLLO

La presente investigación centra su estudio específicamente en el portador Energía Eléctrica, debido a que es el más consumido en el centro, además de ser fundamental para el desarrollo de las actividades docentes de la misma.

Al analizar el consumo de ambas sedes, se decide realizar el estudio en la sede Carlos Rafael Rodríguez por ser esta la que incurre en un mayor consumo de dicho portador, como se muestra en la figura 1.

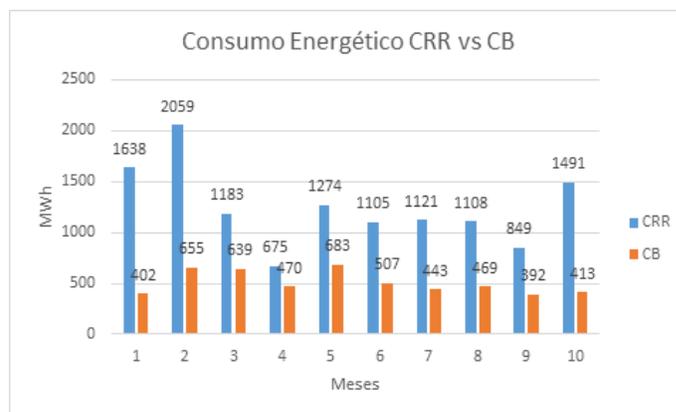


Figura 1. Consumos energéticos de ambas sedes.

Con fin de conocer el comportamiento del consumo de energía eléctrica en algunos edificios de la sede, se grafica el consumo de estos para los meses de enero a octubre de este año. Este análisis se hace para los edificios de Agronomía, Edificio 4, Edificio 6, Edificio 7, Residencia de Post-Grado, Cultura Física, Servidor, CRAI y Docente, FCEE, FI y el Rectorado (Figura 2) Los edificios que no están incluidos en este estudio se debe en su mayoría que rotura de sus metrocontadores.

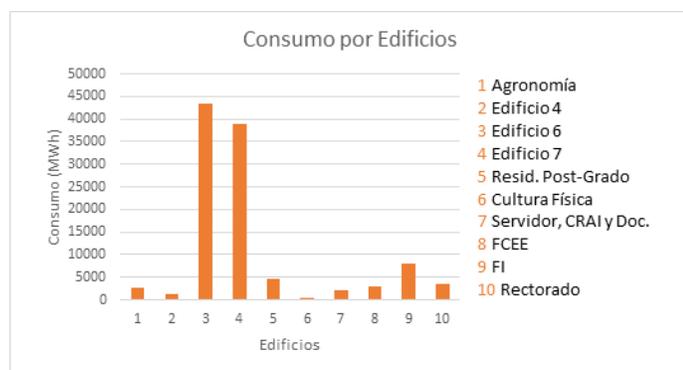


Figura 2. Consumo energético por edificios, 2017.

A pesar que la Universidad de Cienfuegos cumple con todos los requisitos energéticos y se encuentra en una posición favorable respecto a otras empresas de la provincia, mantiene como una prioridad reducir el consumo de los portadores energéticos, para lo cual se trazan diversas oportunidades.

Con el fin de reducir el consumo energético se trazan diversas oportunidades de mejoras, para las cuales es necesario el trabajo con un grupo de expertos e implicados directamente afectados por el rendimiento energético. El equipo de trabajo se conforma con trabajadores conocedores del tema e interesados en el mismo, de forma tal que puedan aportar información precisa, estos participan en toda las etapas de la investigación y toman las decisiones convenientes.

Estos expertos se reúnen y a su juicio identifican los principales problemas que afectan la eficiencia energética en la Universidad de Cienfuegos, sede Carlos Rafael Rodríguez con el fin de eliminarlos.

Entre los principales problemas detectados por los expertos se encuentran los siguientes:

A. Poca conciencia de la necesidad de ahorro de energía eléctrica por el personal en general.

B. Inexistencia de indicadores de salida o producto final que refleje realmente la eficiencia en el consumo de energía.

C. Poco uso de las posibilidades de ahorro de las PC.

D. Equipamiento de la cocina comedor con tramos sin aislar.

E. Alto consumo de energía eléctrica por la Residencia Estudiantil.

F. Registro deficiente y poco frecuente del consumo de energía eléctrica por parte de las diferentes áreas de la UCF.

G. Desconocimiento por parte del personal de contabilidad del consumo de energía eléctrica.

El equipo de mejora (expertos), define el efecto de cada causa y las oportunidades de mejora, como se muestra en la Tabla 1. Luego establece un orden de prioridad con la utilización de la matriz UTI. Los resultados obtenidos se evidencian en la tabla 2.

Tabla 1. Principales causas determinadas por la matriz UTI.

Causa	Efecto	Oportunidad
No se realizan acciones encaminadas a una política de ahorro de los portadores energéticos del personal en general.	Poca conciencia de la necesidad de ahorro de energía eléctrica por el personal en general.	Concientización del personal en el uso racional de la energía eléctrica.
Alto consumo de energía eléctrica por la Residencia Estudiantil.	Consumo el 17 % de la Energía eléctrica del centro.	Implantación de planes de ahorro objetivos.
Inexistencia de indicadores de salida o producto final que refleje realmente la eficiencia en el consumo de energía.	Los análisis de los índices de consumos se centran en elementos tradicionales de la gestión universitaria que no reflejan de forma efectiva la Eficiencia Energética.	Determinación de indicadores de consumos de energía eléctrica medible y útil para la gestión energética.
Poco uso de las posibilidades de ahorro de las PC.	Aumento del consumo de energía por las PC por el no uso de las posibilidades de ahorro.	Indicaciones sobre el modo de ahorro de energía de monitores de PC.
En el equipamiento de la cocina comedor existen tramos sin aislar.	Pérdidas en la hermetización.	Reparación general del equipamiento de la cocina comedor (termitas y tachos).

Tabla 2. Matriz UTI.

Causas	Urgencia	Tendencia	Importancia	Total
A	10	10	10	30
B	9	8	9	27
C	8	8	8	24
D	7	7	8	22
E	10	10	10	30
F	5	6	5	16
G	4	4	5	13

Luego del análisis realizado se puede llegar a la conclusión que las causas más probables que inciden en el bajo nivel en la gestión energética son las causas A y E, es decir, la poca conciencia de la necesidad de ahorro de energía eléctrica por el personal en general y el alto consumo de energía eléctrica por la Residencia Estudiantil, lo que puede ser erradicado si se aplican las oportunidades de mejora propuestas.

Para estudios posteriores se tienen en cuenta las variables que inciden directamente en el consumo de energía eléctrica del centro, como son:

- Consumo de Electricidad

- Matrícula
- Tipo de Estudiante
- Equipos
- Profesores

Para el análisis de las variables universitarias que inciden en el consumo de energía eléctrica se tiene en cuenta lo siguiente:

- La matrícula diurna, el número de becados, la matrícula total y el número de trabajadores varían por cursos y no por años.
- En el mes de agosto (período vacacional), el consumo no depende de las variables mencionadas, sino de causas no asociada a ellas, como es el caso de la iluminación exterior, y el uso del comedor y del Hotel de Postgrado.

Por lo anteriormente expuesto, la cantidad de energía eléctrica que se consume no incluye al mes de agosto y es la suma de los consumos de los meses de un curso dado. La tabla 3 muestra el consumo de energía eléctrica de las diferentes variables universitarias que se proponen por cursos.

Tabla 3. Consumo de Energía Eléctrica por años.

Curso	Año	MWh	Bec	PC	AA	MT	CRD	Trab	D_T	Consumo de H2O m3 Diarios
2001-2002	2002	658	533	289	93	1306	998	588	1586	930
2002-2003	2003	671	618	295	94	1574	1150	609	1759	1000
2003-2004	2004	671	721	350	96	1847	1344	699	2043	950
2004-2005	2005	687	739	432	97	1947	1434	734	2168	1100
2005-2006	2006	737	743	543	101	2135	1420	731	2151	700
2006-2007	2007	813	732	679	104	2332	1344	727	2071	580
2007-2008	2008	819	719	621	105	2384	1434	732	2166	534
2008-2009	2009	779	735	645	106	2408	1717	745	2462	450
2009-2010	2010	728	788	698	109	2411	1704	754	2458	310
2010-2011	2011	770	596	673	103	2431	1267	858	2125	250
2011-2012	2012	772	587	854	140	2203	1234	862	2096	230
2012-2013	2013	789	565	824	155	1951	1238	856	2094	268
2013-2014	2014	815	504	798	152	1877	1231	864	2095	243
2014-2015	2015	790	585	915	178	2123	1251	861	2112	255

Donde:

MWh: Consumo Anual

Bec: Cantidad de Estudiantes Becados

PC: Cantidad de Computadoras

AA: Cantidad de Aires Acondicionados

MT: Matrícula Total

CRD: Cantidad de Estudiantes del Curso Regular Diurno.

Trab: Cantidad de Trabajadores

D-T: Cantidad de Estudiantes CRD + Cantidad de Trabajadores

Luego se procede a realizar un análisis de Regresión Simple a las variables de la tabla 3. Los resultados arrojados por cada uno de estos diagramas se pueden apreciar en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados del análisis de regresión simple efectuados a las diferentes variables universitarias.

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación	R ² %	R	P Value	Error Standard
MWh	Diurnos	$MWh = 508,465 + 0,126966 * Est\ Diurno$	58,8956	0,77	0,0096	25,064
MWh	Becados	$MWh = 425,131 + 0,373151 * Becados$	67,2107	0,82	0,0037	22,3858
MWh	Trabajadores	$MWh = 560,742 + 0,171011 * Cant\ Trabaja$	12,3794	0,35	0,3188	36,4923
MWh	Matrícula total	$MWh = 661,33 + 0,00435032 * Matric\ Total$	27,7893	0,52	0,1174	33,1282
MWh	Diurnos + Trabajadores	$MWh = 473,862 + 0,100004 * DT$	53,5942	0,73	0,0161	26,6313
MWh	PC	$MWh = 616,521 + 0,119032 * Cantidad\ de\ PC$	44,4998	0,67	0,0351	29,1242
MWh	Aires Acondicionados	$MWh = 183,954 + 4,95582 * Cant\ Aires\ Acond$	54,558	0,74	0,0147	26,3533

Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, los indicadores para la gestión de la energía eléctrica en la UCF, deben ser:

1. MWh/ Est Diurnos
2. MWh/ Becados
3. MWh/ D+T
4. MWh/ PC
5. MWh/ Aires acondicionados

A partir de este estudio se realiza un análisis estadístico de los datos de consumo de energía eléctrica en la UCF, Sede "Carlos Rafael Rodríguez". Los datos son obtenidos de los análisis económicos en el período 2002-2015 y de los archivos de la Dirección de Mantenimiento de la UCF (Tabla 3). Se desechan los datos del año 2016 debido a que por políticas del país se aplican restricciones al consumo de energía eléctrica.

A partir de los datos recopilados se realiza el Análisis de Componentes Principales, con el fin de agrupar las variables en componentes y a partir de ahí buscar los modelos que mejor se ajusten, y poder así predecir futuros consumos de energía eléctrica.

Análisis de Componentes Principales

Cuando se recoge la información de una muestra de datos, lo más frecuente es tomar el mayor número posible de variables.

El Análisis de Componentes Principales es una técnica matemática que no requiere la suposición de normalidad multivariante de los datos, aunque si esto último se cumple se puede dar una interpretación más profunda de dichos componentes.

En el caso de estudio que nos ocupa, las variables que se han utilizado en la gestión energética de la universidad están intercorrelacionadas. Es por tanto necesario agruparlas en otras variables que describan adecuadamente el consumo de electricidad en la universidad.

Se realizan el análisis en SPSS V.20 para determinar los componentes principales, a partir de las variables Cantidad de Estudiantes Becados (bec), Estudiantes del CRD en la sede (CRD), Cantidad de trabajadores en la sede (Trab), matrícula total de la sede (MT), CRD + trabajadores (D_T), cantidad computadoras personales en la sede (PC) y cantidad equivalente de equipos de Aire Acondicionado de la sede (AA). Esta última variable representa la potencia instalada en toneladas de frío en la sede.

Los primeros dos componentes tienen autovalores mayores que 1 y representan el 92,5% de la varianza de las variables originales, como se puede apreciar en la Tabla 5.

Tabla 5. Varianza total explicada.

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	3.658	52.257	52.257
2	2.782	39.750	92.007
3	.298	4.258	96.264
4	.156	2.224	98.488
5	.089	1.270	99.758
6	.017	.242	100.000
7	1.49E-017	2.12E-016	100.000

El primer componente se le podría definir como "Nivel de actividad", ya que son las variables que describen a

los estudiantes las que mayor coeficiente de correlación tienen con dicho componente. El segundo lo definimos como "Uso de la tecnología" ya que tiene pesos altos en las variables PC, AA y Trabajadores (Tabla 6).

Tabla 6. Matriz de componentes rotados.

	Componente	
	Nivel de actividad	Usotecnologías
bec	.837	-.466
CRD	.965	-.053
Trab	.187	.942
MT	.843	.389
D_T	.918	.339
PC	.247	.949
AA	-.199	.918

Se realiza un análisis de regresión lineal para determinar el nivel de influencia de estos dos componentes en el consumo de electricidad de la sede. El modelo obtenido describe adecuadamente el consumo de electricidad, no obstante, el Nivel de actividad no correlaciona de forma significativa con la variable dependiente. Esto puede estar relacionado a dos causas que confunden el análisis, la primera es que no se tienen en cuenta las medidas organizativas que restringen el consumo en la residencia estudiantil a un nivel previamente definido; y la segunda es que se toman datos del año fiscal y el nivel de actividad cambia en septiembre.

Para resolver estas contradicciones es imprescindible cambiar el sistema de gestión energética de la universidad, tanto en los períodos de análisis como en las variables a medir. En este trabajo se proponen dos métodos para encontrar dichos modelos. En el primero se realiza un análisis de regresión para obtener un modelo que describa con el menor error posible los valores de consumo de energía eléctrica medidos.

Este modelo no puede ser utilizado para predecir valores futuros debido a la intercorrelación de sus variables independientes. Una vez obtenido el modelo se utiliza para realizar un experimento virtual, estadísticamente diseñado, lo cual garantiza que pueda utilizarse sus resultados para la predicción del consumo eléctrico.

El segundo método es utilizar variables independientes que no estén correlacionadas entre sí. Para ello se divide la matrícula en estudiantes externos, becados y semipresenciales, se utiliza la cantidad de trabajadores y las tecnologías instaladas (aires y PC) así como el consumo de agua promedio diario.

Modelo obtenido a partir del Diseño de Experimento Virtual.

El objetivo del análisis estadístico es encontrar la relación matemática existente entre el consumo de energía eléctrica y las diferentes variables que lo afectan, además de encontrar un modelo que permita predecir la demanda de energía eléctrica.

Para esto se realiza un análisis de Regresión Múltiple y luego un Diseño de Experimento Virtual, para lo cual se utiliza el software Startgraphics Centurion XV.

Análisis de Regresión Múltiple

Variable dependiente: MWh

Variables independientes: Aires Acondicionados (AA), AA2, Becados (Bec), Bec2, Diurnos y Trabajadores (D-T), D-T2, Matrícula Total, Computadoras (PC), PC2, Trabajadores (Trab), Trab2.

El Análisis de Regresión Múltiple y el Análisis de Varianza se observan en las tablas 7 y 8 respectivamente.

Tabla 7. Análisis de Regresión Múltiple.

		Error	Estadístico	
Parámetro	Estimación	Estándar	T	Valor-P
CONSTANTE	-2775,12	546,178	-5,08098	0,0366
AA	-0,783922	3,28005	-0,238997	0,8334
AA2	0,00393323	0,00925033	0,425198	0,7121
Bec2	-0,00025933	0,000519353	-0,499333	0,6671
Becad	-0,689156	0,686184	-1,00433	0,4210
D_T	1,18936	0,524706	2,26673	0,1516
D_T2	-0,00026951	0,000110521	-2,43854	0,1349
MT	0,106464	0,049086	2,16893	0,1623
PC2	-0,000426915	0,000209152	-2,04117	0,1780
PCs	0,787101	0,213403	3,68832	0,0663
Trab	7,2965	2,05938	3,54306	0,0713
Trab2	-0,00554182	0,00135912	-4,0775	0,0552

Tabla 8. Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	43295,7	11	3935,97	107,45	0,0093
Residuo	73,2646	2	36,6323		
Total (Corr.)	43368,9	13			

Fuente: Startgraphics Centurion XV.

R-cuadrada = **99,8311** por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = **98,9019** por ciento

Error estándar del est. = **6,05246**

Error absoluto medio = **1,75164**

Estadístico Durbin-Watson = 3,11644 (P=**0,6345**)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,563295

La salida del software muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre los MWh y las 11 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{MWh} = -2775,12 - 0,783922 \cdot \text{AA} + 0,00393323 \cdot \text{AA}^2 - 0,00025933 \cdot \text{Bec}^2 - 0,689156 \cdot \text{Becad} + 1,18936 \cdot \text{D}_T - 0,00026951 \cdot \text{D}_T^2 + 0,106464 \cdot \text{MT} - 0,000426915 \cdot \text{PC}^2 + 0,787101 \cdot \text{PCs} + 7,2965 \cdot \text{Trab} - 0,00554182 \cdot \text{Trab}^2$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0%.

Diseño de Experimento Virtual

Se toma un diseño de Superficie de Respuesta, compuesto central con 46 corridas. Para obtener los valores de consumo se utiliza el modelo de regresión obtenido.

Luego se procede a la codificación las variables, la matriz del diseño y los valores de la matriz de los experimentos sin codificar, los cuales fueron sustituidos en la ecuación de regresión obtenida en el análisis de Regresión Múltiple.

Finalmente se hace un análisis del experimento, tal como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Análisis del Experimento.

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.	Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
Promedio	843,268	3,98975		BC	0	2,0095	1
A:AA	6,4705	1,72724	1	BD	0	2,0095	1
B:Bec	-122,607	1,72724	1	BE	0	2,0095	1
C:MT	50,3574	1,72724	1	BF	0	2,0095	1
D:Trab	-94,634	1,72724	1	CC	-10,4125	1,89458	1,53375
E:C_T	29,4527	1,72724	1	CD	-0,0025	2,0095	1
F:PCs	66,544	1,72724	1	CE	0	2,0095	1
AA	3,65187	1,89458	1,53375	CF	-0,0025	2,0095	1
AB	0	2,0095	1	DD	-33,8232	1,89458	1,53375
AC	0	2,0095	1	DE	0	2,0095	1
AD	0	2,0095	1	DF	-0,0025	2,0095	1
AE	0	2,0095	1	EE	-21,0598	1,89458	1,53375
AF	0	2,0095	1	EF	0	2,0095	1
BB	5,92346	1,89458	1,53375	FF	-20,4058	1,89458	1,53375

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1,53375. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

Luego de este análisis se analiza el Coeficiente de Regresión para los MWh, como se muestra en la tabla 10. Para esto se busca la interrelación de cada una de estas variables entre sí, con el fin de buscar una nueva ecuación que se ajuste a los datos.

Tabla 10. Coeficiente de Regresión para los MWh.

Coeficiente	Estimado	Coeficiente	Estimado
constante	843,268	BC	0
A:AA	3,23525	BD	0
B:Bec	-61,3033	BE	0
C:MT	25,1787	BF	0
D:Trab	-47,317	CC	-5,20627
E:C_T	14,7263	CD	-0,00125
F:PCs	33,272	CE	0
AA	1,82593	CF	-0,00125
AB	0	DD	-16,9116
AC	0	DE	0
AD	0	DF	-0,00125
AE	0	EE	-10,5299
AF	0	EF	0
BB	2,96173	FF	-10,2029

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\begin{aligned} \text{MWh} = & 843,268 + 3,23525 \cdot \text{AA} - 61,3033 \cdot \text{Bec} + 25,1787 \cdot \text{MT} - 47,317 \cdot \text{Trab} + 14,7263 \cdot \text{C_T} + 33,272 \cdot \text{PCs} + 1,82593 \cdot \text{AA}^2 \\ & + 0,0 \cdot \text{AA} \cdot \text{Bec} + 0,0 \cdot \text{AA} \cdot \text{MT} + 0,0 \cdot \text{AA} \cdot \text{Trab} + 0,0 \cdot \text{AA} \cdot \text{C_T} + 0,0 \cdot \text{AA} \cdot \text{PCs} + 2,96173 \cdot \text{Bec}^2 + 0,0 \cdot \text{Bec} \cdot \text{MT} + 0,0 \cdot \text{Bec} \cdot \text{Trab} \\ & + 0,0 \cdot \text{Bec} \cdot \text{C_T} + 0,0 \cdot \text{Bec} \cdot \text{PCs} - 5,20627 \cdot \text{MT}^2 - 0,00125 \cdot \text{MT} \cdot \text{Trab} + 0,0 \cdot \text{MT} \cdot \text{C_T} - 0,00125 \cdot \text{MT} \cdot \text{PCs} - 16,9116 \cdot \text{Trab}^2 \\ & + 0,0 \cdot \text{Trab} \cdot \text{C_T} - 0,00125 \cdot \text{Trab} \cdot \text{PCs} - 10,5299 \cdot \text{C_T}^2 + 0,0 \cdot \text{C_T} \cdot \text{PCs} - 10,2029 \cdot \text{PCs}^2 \end{aligned}$$

Además del comportamiento lógico del modelo obtenido por el Diseño de Experimentos respecto a las diferentes variables los errores relativos que se cometen al estimar el consumo de energía eléctrica no son superiores a 1.6%. Por tanto, es posible conociendo el nivel de actividad que tendrá la UCf en un futuro planificar el consumo de energía eléctrica de ella con una precisión adecuada.

Se evalúa la exactitud del modelo utilizando los valores de consumo de electricidad de los años 2016 y 2017 de la Universidad como se aprecia en la tabla 11.

Tabla 11. Resultados de evaluación y pronóstico del modelo obtenido por el primer método.

Año	MWh	Becados	PC	AA	MT	CRD	Trab	D_T	MWhe	Error	Erel
2002	658	533	289	93	1306	998	588	1586	658.6	-0.55	0.08
2003	669	618	295	94	1574	1150	609	1759	670.0	-1.03	0.15
2004	671	721	350	96	1847	1344	699	2043	671.5	-0.49	0.07
2005	687	739	432	97	1947	1434	734	2168	684.3	2.71	0.39
2006	737	743	543	101	2135	1420	731	2151	743.2	-6.20	0.84
2007	813	732	679	104	2332	1344	727	2071	811.1	1.87	0.23
2008	819	719	621	105	2384	1434	732	2166	817.7	1.34	0.16
2009	779	735	645	106	2408	1717	745	2462	780.4	-1.42	0.18
2010	728	788	698	109	2411	1704	754	2458	726.2	1.76	0.24

2011	770	596	673	103	2431	1267	858	2125	769.3	0.73	0.09
2012	772	587	854	140	2203	1234	862	2096	774.3	-2.35	0.30
2013	789	565	824	155	1951	1238	856	2094	786.0	3.00	0.38
2014	815	504	798	152	1877	1231	864	2095	815.5	-0.52	0.06
2015	790	585	915	178	2123	1251	861	2112	790.6	-0.64	0.08
2016	654	570	1040	173	2520	1261	859	2120	843.7	-189.67	29.00
2017	813	532	1041	174	2243	1250	872	2210	823.9	-10.87	1.34

En la tabla anterior se observa que el modelo describe adecuadamente los consumos de energía eléctrica en la sede CRR del año 2002 al 2015, En el caso del año 2016, el error de predicción (Error), dado por la diferencia entre el valor real (MWh) y el estimado (MWhe) es de 189 MWh, debido a que ese año se aplicaron medidas restrictivas al consumo que incluyeron apagones internos.

Se compara la predicción realizada con el modelo con el consumo del presente año. Para obtener el consumo del 2017, se considera que la cantidad de energía que se consumirá en los meses de noviembre y diciembre, será igual a la media de consumo de los primeros 10 meses del año. En este caso el error porcentual (Erel) es inferior a 1,5%.

Modelo de regresión a partir de variables independientes no autocorrelacionadas.

En este caso se tienen en cuenta variables independientes que no tienen relación lógica entre ellas. Se toma el modelo que mayor cantidad de variables tiene y la prueba de Fisher de bondad del ajuste es significativa, es decir, el modelo describe adecuadamente el consumo de energía eléctrica en la sede en función de las variables independientes que contiene.

$$\text{MWh} = -429.049 - 0.212 \cdot \text{Bec} + 1.353 \cdot \text{PC} + 15.525 \cdot \text{AA} - 0.596 \cdot \text{Trab} + 0.249 \cdot \text{H}_2\text{O} + 0.000 \cdot \text{sp}^2 + 0.000 \cdot \text{ext}^2 - 0.001 \cdot \text{PC}^2 - 0.041 \cdot \text{AA}^2 + 0.000 \cdot \text{H}_2\text{O}^2$$

En la tabla 12 se muestran los resultados de la predicción de los consumos de electricidad de los años 2016 y 2017, así como la evaluación del modelo con los datos de los años 2002 al 2015.

Tabla 12. Resultados de predicción y evaluación del segundo modelo.

Año	MWh	Becados	CPE	Externos	PC	AA	Trab	Cons H ₂ O	MWhe	Error	Erel
2002	658	533	308	465	289	93	588	930	662.3	-4.27	-0.65
2003	669	618	424	532	295	94	609	1000	669.7	-0.74	-0.11
2004	671	721	503	623	350	96	699	950	661.6	9.37	1.40
2005	687	739	513	695	432	97	734	1100	690.0	-3.03	-0.44
2006	737	743	715	677	543	101	731	700	747.4	-10.38	-1.41
2007	813	732	988	612	679	104	727	580	800.0	12.95	1.59
2008	819	719	950	715	621	105	732	534	824.3	-5.27	-0.64
2009	779	735	691	982	645	106	745	450	779.5	-0.46	-0.06
2010	728	788	707	916	698	109	754	310	726.8	1.20	0.17
2011	770	596	1164	671	673	103	858	250	770.5	-0.46	-0.06
2012	772	587	969	647	854	140	862	230	777.0	-5.02	-0.65
2013	789	565	713	673	824	155	856	268	796.2	-7.20	-0.91
2014	815	504	646	727	798	152	864	243	803.5	11.54	1.42
2015	790	585	872	666	915	178	861	255	790.2	-0.25	-0.03
2016	654	570	1259	691	1040	173	859	239	788.0	-134.02	-20.49
2017	813	532	993	718	925	181	910	250	812.6	0.37	0.05

Se observa que los errores porcentuales al evaluar el modelo en los años 2002 – 2016, son inferiores a 1,6% pero ligeramente superiores a los que se obtienen con el primer modelo, pero en la predicción futura, se obtienen errores porcentuales inferiores.

CONCLUSIONES

El uso eficiente de la energía, la necesidad del ahorro y la eficiencia energética en las universidades tiene una amplia repercusión social, pues estas son ejemplo y motor del cambio social.

Para una correcta Gestión Universitaria es necesario establecer un conjunto de indicadores que permitan el monitoreo y control de los procesos, desde el punto de vista académico, investigativo, extensionista, ambiental y energético.

La caracterización en materia de energía eléctrica realizada en la Universidad de Cienfuegos permite determinar que la sede mayor consumidora de este portador es la Sede “Carlos Rafael Rodríguez”, analizándose el consumo de energía para los 10 primeros meses de este año 2017. Además, este estudio arroja como edificios mayores consumidores al Edificio 6, 7 y la Facultad de Ingeniería.

Se realiza un estudio estadístico de los indicadores energéticos en función de las principales variables de la Ucf a partir de la utilización de los diagramas de regresión lineal, arrojando que las variables que tienen mayor relación con los MWh consumidos son los Estudiantes Diurnos, Becados, Trabajadores, Aires Acondicionados, PC, así como los Diurnos más los trabajadores (D+T).

En el presente trabajo se proponen dos métodos que contribuyan a mejorar la predicción de la demanda de energía eléctrica en la Universidad de Cienfuegos, el Modelo de Regresión y el Diseño de Experimento Virtual.

En el análisis del Modelo de Regresión a partir de variables independientes no autocorrelacionadas se toma el modelo que mayor cantidad de variables tiene, además de ser el modelo describe adecuadamente el consumo de energía eléctrica en la sede en función de las variables independientes que contiene.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Domínguez Claro, Z. (2014). Tendencias de la educación energética en la formación de profesores en Cuba. *Ciencias Holguín*, 18(3).

García Samper M., García Guiliany, J., & Cabello Eras, J. J. (2017). Eficiencia en el uso de los recursos y Producción más Limpia (RECP) para la competitividad en el sector hotelero. *Revista de Gestao Social e Ambiental*, 11(2), 18-35.

García, M. P. (2014). Análisis de los indicadores de desempeño energético en los Centros de Educación Superior en Cuba adscriptos al MES. MES.

González, Y. (2015). Propuesta de Indicadores de Gestión para la Universidad de Cienfuegos. Universidad de Cienfuegos.

Granados, A. (2014). Propuesta para la construcción de indicadores de gestión de la universidad pública a partir de la experiencia de la Universidad Nacional de Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

Lapido, M. (2014). Participación de la universidad en la mejora de la Eficiencia Energética del sector productivo cubano. *Revista Universidad y Sociedad*, 6(2), 5-12.

Leuenberger, H. (2015). Impacto de la Red Latinoamericana de P+L en los últimos 10 años. Red Latinoamericana de Producción más Limpia. <https://open.unido.org/api/documents/4686154/download/Red%20Latinoamericana%20de%20Producci%C3%B3n%20m%C3%A1s%20Limpia%20-%20Informe%2010%20a%C3%B1os>

Restrepo, S., & Mesa, J. C. (2014). Caracterización de la gestión energética en una empresa manufacturera de Manizales. *Revista Energética*, 44, 33-39.

Ros Garro, V. (2014). ISO 50001. Sistemas de Gestión de la Energía. Hacia la optimización en el uso y consumo de la energía. <https://docplayer.es/44529308-Iso-sistemas-de-gestion-de-la-energia-hacia-la-optimizacion-en-el-uso-y-consumo-de-la-energia.html>

Salcedo Galvis, H. (2016). Indicadores de gestión para las universidades venezolanas: un proyecto de alcance nacional. *Agenda Académica*, 6(1), 63-91.

Vergara, W., Fenhann, J. V., & Schletz, M. C. (2015). Zero Carbon Latin America. A pathway for net decarbonisation of the regional economy by mid-century. https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/123115955/Zero_Carbon_Latin_America_rev.pdf