

Modelo de gestión de la energía eléctrica con base en indicadores (MGEI), para empresas generadoras con sistemas de cogeneración en Nicaragua

Electric Energy Management Model based on Indicators for power companies with cogeneration systems in Nicaragua

Napoleón Vicente Blanco-Orozco¹

Fecha de recepción: 20 de setiembre de 2017
Fecha de aprobación: 6 de febrero de 2018

Blanco-Orozco, N. Modelo de gestión de la energía eléctrica con base en indicadores (MGEI), para empresas generadoras con sistemas de cogeneración en Nicaragua. *Tecnología en Marcha*. Vol. 31-3. Julio-Setiembre 2018. Pág 15-28.

DOI: 10.18845/tm.v31i3.3898



¹ Doctor en Ciencias del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Ingeniero eléctrico y máster en Gerencia de Proyectos de Desarrollo, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Docente investigador de la Facultad de Electrotecnia y Computación y jefe del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la UNI, Nicaragua. Correo electrónico: blanconapoleon@yahoo.com, napoleon.blanco@fec.uni.edu.ni.

Palabras clave

Modelo; gestión; productividad; eficiencia energética; energía eléctrica.

Resumen

En este artículo se propone un modelo de gestión integral de la energía eléctrica con base en indicadores, con las siglas MGEI. La propuesta de modelo se sustenta en la teoría fundamentada por el soporte de herramientas informáticas Atlas ti 7 y SPSS 23 y la consulta a expertos y a un grupo focal. El MGEI se estructura en etapas: la primera etapa es de la toma de decisiones por parte de la gerencia de la empresa; la segunda etapa es la revisión energética, que incluye indicadores de gestión energética; la tercera etapa es la implementación de medidas de ahorro de energía, y la cuarta etapa es la evaluación de las medidas de ahorro de energía implementadas, el monitoreo de los indicadores durante la aplicación de estas medidas, y la comparación entre la línea base energética y los mismos indicadores.

Keywords

Model; management; productivity; energy efficiency; electric power.

Abstract

In this article a model of integral management of electric energy based on indicators, MGEI, is proposed. The model proposal is based on the grounded theory, with the support of computer tools such as Atlas ti 7 and SPSS 23, and consultation with experts and a focal group. The MGEI is structured in stages: The first stage is the company Chief Executive Officer (CEO) CEO decision; the second stage is the energy review, that includes energy management indicators; the third stage is the implementation of energy saving measures, and the fourth stage is the evaluation of the energy saving measures, the monitoring of indicators during the application of energy saving measures, and the comparison between the energy baseline and the indicators mentioned.

Introducción

La eficiencia energética es una alternativa factible y viable para la solución de los problemas de abastecimiento energético de un país, puesto que influye en la reducción del consumo energético del lado de la demanda y de esta forma, disminuye la necesidad de invertir en nuevas fuentes de generación y modera la presión en la toma de decisiones de planificación energética y de selección de las fuentes de suministro, de forma tal que la eficiencia energética posibilita las mismas actividades productivas o los mismos servicios con una reducción en los recursos energéticos empleados.

En Nicaragua, el uso de los recursos energéticos no está siendo gestionado de manera eficiente y productiva por medio de prácticas de explotación sostenibles, eficientes y ambientalmente adecuadas, por lo que los recursos energéticos están en peligro de disminución y agotamiento. El uso de los recursos energéticos en Nicaragua se ha basado en la explotación de la leña y el carbón con destino doméstico (para la cocción) primordialmente. La participación en la producción de la energía primaria se distribuye como sigue: hidroenergía 5,5%, geoenergía 5%, eoloenergía 1,2% y biomasa 88,3%; así, la biomasa (leña) representa el 67,2%, los residuos vegetales el 20,8 %, y otras biomásas el 0,3 % [1]. Por otra parte, la gestión de recursos energéticos en el sector industrial nicaragüense es ineficiente, por cuanto se está usando

demasiada energía para la producción de bienes y servicios, reduciendo la productividad y la competitividad; la intensidad energética de Nicaragua es de 1.96 BEP / 10³ \$US (2005) y en el resto de Centroamérica el promedio es de 1.5 BEP / 10³ \$US (2005) [2].

En este artículo se propone un modelo de gestión de recursos energéticos para uso productivo en la generación de energía eléctrica de empresas agentes del mercado eléctrico nacional con sistemas de cogeneración de Nicaragua. El proceso de investigación desarrollado fue cualitativo, inductivo y sustentado en la teoría fundamentada. Según Cantero [3], la teoría fundamentada es una herramienta de estudio cualitativo; con esta orientación Cantero presenta el programa Atlas.ti como un instrumento para mejorar la práctica analítica cualitativa. En este trabajo precisamente se retoma el uso de esta herramienta informática para la generación conceptual del modelo de gestión de la energía con base en indicadores.

Empleo de la teoría fundamentada como sustento metodológico

La teoría fundamentada es una metodología cualitativa que puede emplearse para analizar el funcionamiento de una organización por medio de estudios documentales; surge de la relación entre la recolección de los datos, el análisis y la teoría propuesta a partir de ello, de forma que, la teoría se desarrolla inductivamente partiendo del análisis de los datos y aplicando el método comparativo constantemente por medio de códigos Giraldo [4]. Por otra parte, la teoría fundamentada se sustenta en procedimientos analíticos a partir de los cuales se construye teoría basada en los datos y por tanto, la teoría no es respaldada en un razonamiento deductivo sino inductivo apoyado en un marco teórico previo, De la Cuesta [5].

De la Torre et al. [6] sostienen que la teoría fundamentada es una metodología para generar teoría partiendo de datos sistematizados con un análisis y su posterior conceptualización y amplían la explicación de esta metodología en la que la comparación es constante en el proceso de formación de la teoría, que es un proceso de interpretación no matemático, con el fin de descubrir relaciones entre los datos, para establecer correspondencias y organizar conceptos y luego construir la teoría. Estos autores afirman el hecho de que los datos y sus relaciones determinan los productos de la investigación y no los marcos teóricos preconcebidos.

La teoría fundamentada se emplea en investigación de tipo cualitativo para formular teorías a partir de la información obtenida en datos levantados por medio de técnicas como la observación, las entrevistas a profundidad y la implementación de memos, entre otras, Hernández et al. [7]. Padilla et al. [8] recomiendan que “al usar recursos tecnológicos aplicando la teoría fundamentada se haga énfasis en la acción teórica y en la parte interpretativa, documental y explicativa realizada por los investigadores”. Hernández et al. [7] coinciden en la afirmación de que los datos determinan los procesos y productos de la investigación y no marcos teóricos preconcebidos. Jiménez et al. [9] en su estudio de la evaluación como un proceso de enseñanza-aprendizaje universitario hablan de la teoría fundamentada como una estrategia de análisis de información en un proceso de estudio cualitativo con el fin de originar proposiciones teóricas fundamentadas en datos de manera inductiva, usando el método comparativo constante y el muestreo teórico.

La teoría fundamentada permite entender la naturaleza del comportamiento humano mediante el desarrollo de teorías que lo expliquen a partir de datos recopilados y empleando el método de comparación constante y el muestreo teórico, en el enfoque de Luqués [10]. En otro sentido, Monge [11] señala que la teoría fundamentada se enfoca en la creación de marcos conceptuales o teorías por medio de análisis y conceptualizaciones sustentadas en el proceso de codificación de los datos para ir del análisis a la conceptualización, y de la conceptualización a la generación de teoría.; necesitándose identificar categorías teóricas que son derivadas de los datos mediante la utilización de un método comparativo constante Páramo [12].

Metodología

La propuesta de modelo de gestión de energía se sustenta en la teoría fundamentada, de manera que el diseño del modelo se basó en referentes teóricos, es decir, modelos de gestión de energía eléctrica basados en la utilización de la herramienta informática Atlas ti 7, para el desarrollo del análisis documental e integración conceptual de sus elementos mediante la teoría fundamentada. Además, se empleó el programa SPSS 23 para el análisis de los resultados de la consulta a expertos nacionales e internacionales y a un grupo focal. El estudio fue de tipo explicativo y con enfoque cualitativo, con el propósito de derivar un modelo de gestión de la energía eléctrica aplicable a las condiciones de Nicaragua y, en específico, por empresas agentes del mercado eléctrico nacional con sistemas de cogeneración. El proceso no fue experimental debido a que las empresas fueron estudiadas en operación y, por tanto, no se tuvo la posibilidad de experimentar con las variables de estudio.

Se realizó un análisis de modelos de gestión energética en Latinoamérica, y por medio del análisis e integración de elementos de estos modelos por medio de la teoría fundamentada, se construyó un modelo para uso en Nicaragua y la región centroamericana. El proceso de sustentación de los elementos incluyó el análisis de citas, códigos, memos, familias de códigos, y de las relaciones entre estos elementos por medio del examen de redes hasta llegar a la saturación teórica.

Además, se desarrollaron un grupo focal y un proceso de consulta a expertos nacionales en energía provenientes de la industria eléctrica y de universidades con programas académicos relacionados a la energía. Luego, se hizo un análisis conjunto de los resultados de la consulta a expertos y de los modelos de gestión revisados con la teoría fundamentada mediante los programas SPSS 23 y Atlas ti. Finalmente, se obtuvo una propuesta de modelo de gestión de energía eléctrica con base en indicadores, identificado por sus siglas MGEI.

La consulta a expertos se realizó a profesionales que tienen conocimientos sobre la gestión de energía y eficiencia energética. Los expertos fueron consultados individual y anónimamente, pero dentro del proceso todos los participantes conocieron los diferentes puntos de vista por medio de los informes consolidados que fueron enviados. Los expertos fueron seleccionados con base en su experiencia de la Red de Medio Ambiente y Cambio Climático (antigua Red de Energía), impulsada por la cooperación Española (AECID), y de la Red de Especialistas en Eficiencia Energética (LACEE), de la Organización Latinoamericana de la Energía (OLADE).

Las apreciaciones de los expertos se obtuvieron por medio de rondas de consultas con cuestionarios sucesivos, anónimos y con la máxima autonomía por parte de los participantes para exponer sus puntos de vista. La consultase realizó a través del correo electrónico. La aplicación de la metodología de consulta a expertos se desarrolló por medio de las siguientes etapas:

- Invitación a participar en el panel de expertos
- Primera ronda, envío de la primera consulta sobre un análisis de las tendencias teóricas de los modelos de gestión de energía en Latinoamérica y la propuesta de modelo de gestión integral de la energía eléctrica con base en indicadores de gestión. El instrumento de consulta fue un formulario.
- Segunda ronda, envío de los resultados de la primera ronda
- Envío de un informe final del ejercicio de consulta

El instrumento de consulta contenía en forma desglosada los elementos del MGIE, definidos a partir de la teoría fundamentada y ahora expuestos a expertos nacionales e internacionales del área de eficiencia energética.

Por otra parte, el grupo focal se desarrolló con expertos en energía provenientes de la industria eléctrica y de universidades nicaragüenses con programas académicos relacionados con la energía eléctrica. En el trabajo con el grupo focal se expusieron los resultados de la investigación que condujo a la propuesta del MGEI y se propició un espacio de preguntas dirigidas con el propósito de generar una discusión alrededor de los elementos conceptuales y metodológicos del MGIE. Los resultados del grupo focal y de la consulta a expertos fueron integrados al modelo sustentado en la teoría fundamentada.

Resultados y discusión

Análisis de modelos de gestión energética de Latinoamérica

Uno de los sectores que más consumen energía es el sector industrial, y dentro de este, un subsector que ofrece grandes posibilidades de gestionar adecuadamente los recursos energéticos es el sector industrial con sistemas de cogeneración, por lo que este fue el foco de atención de este estudio. Fue preciso realizar un análisis de modelos de gestión energética de Latinoamérica para inferir los elementos de dichos modelos que serían aplicables a empresas con sistemas de cogeneración en Nicaragua.

El Modelo de Gestión Integral de la Energía está formado por etapas consecutivas, que iniciaran con el compromiso de la alta dirección de la empresa para la asignación de recursos y la inserción del modelo en su gestión organizacional; luego, siguiera la instalación del modelo y finalmente su operación [13] [14] [15]. También se encontró que la gestión energética debe incluir métodos de evaluación del consumo energético y la definición de indicadores para evaluar el consumo específico de las instalaciones, de modo que se puedan controlar y reducir las pérdidas energéticas y evaluar el potencial de su reducción, todo con el fin de alcanzar un aumento de la productividad, dado que la gestión de la energía permite a las empresas lograr una mayor eficiencia en su utilización y, por tanto, ser más competitivas, Pérez y Vera [16].

En otras palabras, la caracterización energética de las empresas con el propósito de ahorro energético debe ser parte de un modelo de gestión energética. Un modelo para la institucionalización de la gestión energética incluye la detección de las variables energéticas que caracterizan al proceso de producción, la descripción de relaciones entre las variables energéticas para la comprensión sistémica de la gestión energética y la identificación de las variables claves para actuar sobre ellas con el fin de disminuir el consumo de energía, González [17].

Además, se plantean propuestas de modelos de gestión energética como la de Hurtado y Escamilla [18], en el entendido que gestión energética significa optimizar el sistema de energía; ellos sugieren el modelo de evaluación integral de la demanda energética, que incluye la configuración del índice de evaluación, el cálculo del peso de índices y la evaluación de proyectos de eficiencia energética. En el mismo ámbito, Castro et al. [19] aplicaron un sistema de gestión energética en una central azucarera de Cuba y obtuvieron mejoras en el sistema mediante el ahorro de energía; determinaron así la factibilidad técnico-económica de las mejoras con base en la eficiencia en el suministro y la conversión y utilización de la energía. También es posible lograr ahorros de energía con acomodos de la carga, lo que se puede alcanzar usando el modelo de gestión propuesto por Xiang et al. [20], que permite un beneficio económico por la reducción de la generación durante las horas pico al mismo tiempo que la descarga en las horas punta, y la carga en horas no punta, para mejorar las curvas de carga.

La eficiencia energética también se logra por medio de los cambios culturales de consumo energético. Los cambios culturales empiezan por la organización. En el mismo sentido de cambios organizacionales para lograr la eficiencia energética, Hernán [21] propone una

herramienta metodológica de gestión eficiente de la energía fundamentada en una organización en la empresa que facilite la gestión energética unida al uso de herramientas que cuantifiquen datos de consumo y producción y con esta información desarrollar indicadores energéticos de comparación con el empleo de estadísticas y recursos gráficos para presentar las oportunidades de mejor en el uso de la energía. En este sentido, Castrillón et al. [22] implementaron un sistema de gestión integral de la energía, conocido por sus siglas SGIE, en una industria de producción de cemento y lograron un incremento de la eficiencia energética debido a una reducción del consumo de electricidad del 4,6%, sin inversión en nuevos equipos, únicamente por medio de tecnologías de gestión aplicadas, además de la adopción de una cultura de manejo de la energía en forma eficiente y de mejoramiento continuo.

Otro modelo relacionado con el cambio de cultura de consumo e innovación es el de Prias y Montaña [23], que proponen una estrategia de innovación para la gestión integral de la energía, que se basa en la sistematización, selección, organización y divulgación del conocimiento, y el desarrollo en las empresas de herramientas que permitan un nuevo concepto en la forma de administrar los recursos energéticos a través de los SGIE, que en el modelo planteado comprometen a la universidad, a la empresa y al Estado.

De la síntesis de modelos de gestión de energía se tiene que el proceso se debe realizar por etapas. En este sentido, Gilvonio [24] plantea que un modelo de gestión de la energía surge del diagnóstico energético a partir de la información recopilada con indicadores, los cuales permiten la aplicación del modelo en un periodo determinado por etapas. El modelo de gestión energética por etapas tendría la siguiente secuencia: recolectar información básica, elaborar balances de energía, determinar la incidencia del consumo de energía de cada equipo o grupo de equipos en el consumo total de energía, obtener índices de consumo de energía, determinar los potenciales de ahorro de energía por equipos, áreas o centros de costos. Además, requeriría identificar las medidas apropiadas de ahorro de energía, implementar las medidas de ahorro, evaluar los ahorros de energía y contrastar resultados con las metas propuestas. Existen, además, planteamientos de modelos que hacen referencia a gestión de energía basada en un balance de la energía o energía útil en un proceso productivo, Kilkis [25].

También, existen propuestas de modelos de gestión relacionados con un proceso de mejora continua. Según Vidal et al. [26], la mayoría de los modelos de gestión energética (MGE) están estructurados para la mejora continua y se componen por un conjunto de pasos lógicos que permiten la implementación de un sistema de gestión energética, identificado por las siglas SGE. La mejora continua como filosofía de gestión energética está consignada en las normas ISO. En este sentido, Ramírez [27] menciona que la norma ISO 14001 establece los requisitos que debe satisfacer una organización para demostrar que opera con una filosofía de mejora continua de la norma o de lo que se conoce como ciclo Deming, el cual involucra la planificación, la implementación, el control y la mejora continua en los procesos; de igual forma se expresan Cruz et al. [28].

En el área de gestión de energía, la norma ISO 50001 contiene también la filosofía de mejora continua. Restrepo et al. [29] expresan que la norma ISO 50001 facilita a las organizaciones la implementación de un SGIE, que contiene un ciclo de mejora continua.

Conjuntamente, existen otros planteamientos de modelo de gestión como la propuesta de Morato [30], del método Seis Sigmas, el cual el autor proponente considera como un modelo de gestión energética que genera mejoramiento continuo, optimiza el consumo energético eficiente y fortalece la cultura de preservación. El método Seis Sigmas se basa en la metodología de solución de problemas llamada DMAMC, que comprende la definición del problema, la medición de defectos y documentación del proceso, el análisis de datos y encuentro de factores vitales

que afectan la respuesta, la implementación de mejoras, el control del desempeño del proceso y el aseguramiento de que los defectos y problemas no ocurrirán de nuevo.

Por otro lado, Rojas y Prías [31] refieren a las herramientas basadas en los principios LEAN para lograr mejoras energéticas en la industria, identificando la manera en que pueden apoyar la planeación, la implementación y la operación de un sistema de gestión de la energía. Los principios LEAN se basan en la reducción de desperdicios. Igualmente, el modelo de Gestión Multiagente y Multinivel, desarrollado en etapas, incluye la caracterización socioeconómica, cultural y energética de las empresas, la selección de alternativas tecnológicas para el uso eficiente de energía, la sensibilización y capacitación en el tema de uso eficiente de energía, y la evaluación de algunas de alternativas tecnológicas viables y de mayor impacto para la eficiencia energética, Castaño [32].

Existen otras propuestas de modelos basados en la simulación de la gestión energética. Ventura et al. [33] proponen un modelo matemático multiobjetivo como herramienta computacional de ayuda a la planificación energética, que utiliza técnicas de programación lineal y mediante el cual se desarrolló una aplicación para la toma de decisiones en el diseño de esquemas de cobertura energética en localidades rurales aisladas de Cuba. En este mismo sentido, Cortés et al. [34] emplearon un modelo matemático multicriterio conocido como el método de Saaty, y también como método de Jerarquía Analítica, para la selección de fuentes de energía para una población rural de Cuba y así ahorrar recursos energéticos y disminuir la afectación al medio ambiente.

Por su parte Schweickardt [35] presenta un enfoque metaheurístico para resolver problemas de optimización vinculados a la eficiencia energética, sustentado en los principios de la inteligencia de grupo y las estrategias de evolución, y que se extiende al dominio difuso para modelar una optimización multiobjetivo, usando una función de aptitud difusa. Y Pascuas [36] hace referencia al modelamiento matemático como una solución en la gestión energética para diferentes sectores, como la industria, los servicios, gobierno y demás, funcionalidad que genera de cierta forma ventaja competitiva.

Existen también modelos de gestión que integran sistemas informáticos de control de demanda energética. Yunyoung et al. [37] proponen la gestión de la energía usando un modelo del patrón de uso energético humano, de estándares de conducta y el modelo de Jerarquía Oculta de Markov (HMM). El modelo de gestión de la energía se basa en un sistema que logra la gestión de la energía mediante el uso de dispositivos de control de los patrones de actividad humana y los datos de posicionamiento de energía en tiempo real. Por su parte, Castagnetti et al. [38] proponen un modelo de simulación que permite describir y simular la recolección de energía para luego emplearla cuando es necesario en un esquema de autosuministro para ahorrar energía eléctrica.

Integración de elementos de modelos de gestión energética, usando la teoría fundamentada

Como parte del proceso de integración de elementos de modelos de gestión energética estudiados, se realizó el análisis teórico de modelos de gestión energética en Latinoamérica utilizando el programa informático Atlas ti. Inicialmente, cada documento fue incorporado a una unidad hermenéutica llamada Integración de Modelos. Seguidamente, cada documento fue revisado y se le asignó un código representativo en función del objetivo de la investigación; se obtuvieron un total de 99 códigos de elementos que resaltan en los modelos de gestión analizados. El tipo de codificación empleado fue la codificación Bottom-up. A la mayoría de los códigos se les asociaron citas que etiquetan los significados conceptuales de cada tipo de modelo.

Asimismo, mediante el establecimiento de relaciones, se conformaron familias de códigos que tienen en común el mismo tipo de modelo de gestión energética. Se establecieron un total de 15 familias, según se describe en la figura 1.

Nombre	Tamaño	Autor	Creado	Modifica...
Enfoques de los modelos	2	Super	10/07/20...	10/07/20...
Indicadores de gestión energética de los modelos	6	Super	10/07/20...	10/07/20...
Modelo basado en etapas	19	Super	10/07/20...	10/07/20...
Modelo basado en indicadores	21	Super	10/07/20...	10/07/20...
Modelo basado en liderazgo	10	Super	10/07/20...	10/07/20...
Modelo de cambio cultural y organizacional	14	Super	10/07/20...	10/07/20...
Modelo de consumo de energía	17	Super	10/07/20...	10/07/20...
Modelo de gestión integral	32	Super	20/06/20...	10/07/20...
Modelo de simulación	18	Super	10/07/20...	10/07/20...
Modelo en etapas	16	Super	20/06/20...	10/07/20...
Modelo jerárquico	8	Super	10/07/20...	10/07/20...
Modelo matemático	7	Super	10/07/20...	10/07/20...
Modelo multigénte	10	Super	20/06/20...	10/07/20...
Modelo multicriterio	7	Super	10/07/20...	10/07/20...
procesos de los modelos	7	Super	10/07/20...	10/07/20...

Figura 1. Familias de códigos obtenidas por medio de la integración de modelos de gestión de energía.

Fuente: Elaboración propia con base en la salida del programa Atlas ti

La familia con más códigos asociados correspondió a la del modelo de gestión integral de la energía, seguida de la familia de modelos en base a indicadores y de la familia de modelo basado en etapas; por lo que, estas familias establecen un perfil de los elementos del modelo de gestión que se propondrá.

Se continuó con el establecimiento de relaciones entre familia de códigos y entre códigos para formar una red que indicara las tendencias teóricas de los modelos de gestión de energía. Esta red se observa en la figura 2; en ella aparecen dos tendencias conceptuales. Una de las tendencias se relaciona con la gestión integral de la energía, que a su vez se corresponde con los modelos de gestión de la demanda concernientes a la gerencia de la energía, y también se corresponde con los modelos basados en cambios organizacionales y de la cultura, así como con los modelos de patrones de consumo de energía y los modelos sustentados en las norma ISO 500001, de ciclo de mejora continua. La otra tendencia es la de los modelos de gestión de energía basados en simulación, que proponen una representación matemática de la gestión energética. No obstante, con base en la revisión de las teorías con el Atlas ti, la opción más empleada es la de sistemas de gestión integral, por lo que en función de esta se propone un modelo de gestión integral de la energía eléctrica con la característica adicional de sustentarse en indicadores.

Y como la mayoría de los modelos de gestión de la energía analizados son de tipo conceptual, esta es la opción metodológica que se empleará en la propuesta de un modelo de gestión integral de la energía eléctrica con base en indicadores de gestión.

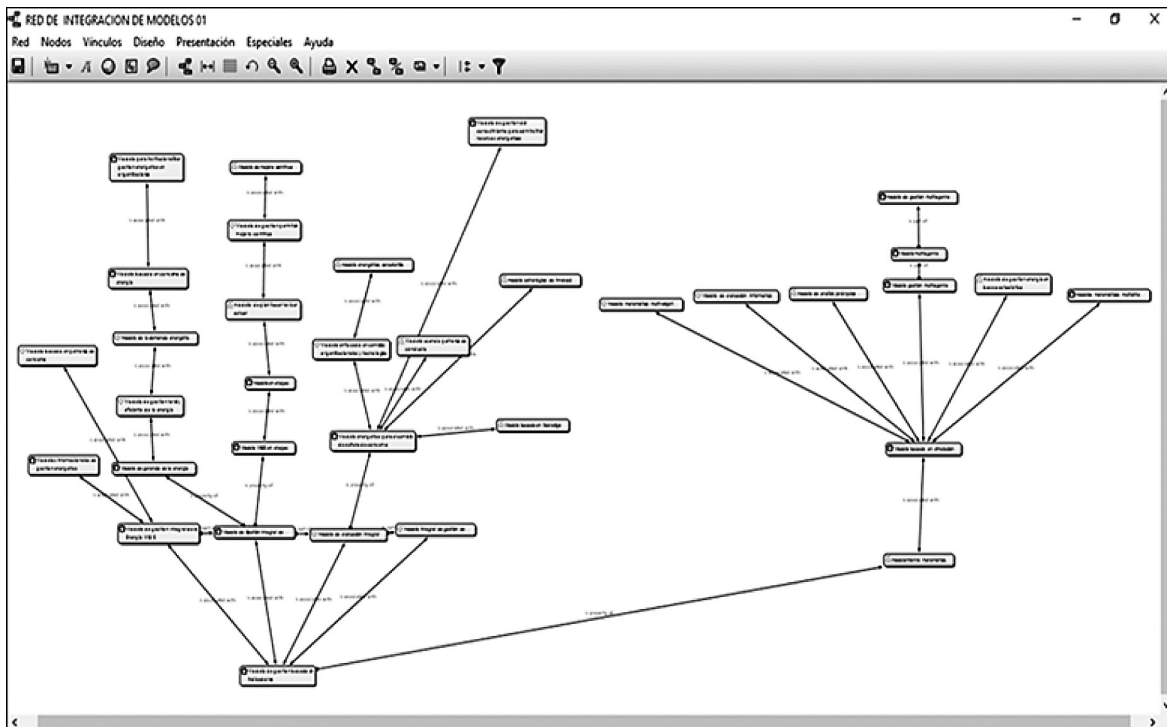


Figura 2. Red de integración de modelos de gestión de energía. Fuente: Elaboración propia en base a la salida del Atlas ti

Por tanto, la integración de este modelo tiene sustento en la teoría fundamentada y es un modelo conceptual llamado Modelo de Gestión Integral de la Energía Eléctrica con base en Indicadores (MGEI). Los elementos del modelo se integran, siguiendo la tendencia de los modelos de gestión integral, en un ciclo de mejora continua por etapas de aplicación. La primera etapa es la de la toma de decisión por parte de la gerencia de la empresa o institución en la cual se aplicará el modelo; esto incluye la declaración de una política de gestión energética.

La segunda etapa es la de revisión energética, que incluye la elaboración de la línea de base energética, calculada con la regresión lineal de los datos de consumo y producción a través de la estimación de una ecuación lineal (ver ecuación 1) con dos componentes, que caracterizan el comportamiento energético de la empresa en estudio. Uno de los componentes que se estima es el consumo de energía que no depende de los niveles de producción (E) y el otro la intensidad energética “ m ”, expresada como la pendiente de la regresión lineal, que representa el consumo de energía de producción de cada unidad de producto [39].

$$Y = E + mX \quad \text{Ecuación 1}$$

La línea de base energética sirve para detectar la forma de uso de la energía por medio de datos de consumo, balances de energía, diagramas de consumo vs. producción, diagramas de Pareto y las variables que afectan el uso de la energía. En esta segunda etapa, se deben declarar metas de ahorro de energía sustentadas en la información técnica de los fabricantes certificados de tecnologías que permitan ahorrar energía y de indicadores de comparación o *benchmarking*. Además, se deben plantear iniciativas y proyectos de ahorro energético con propuestas de cambio de cultura y patrones de consumo energético y la integración de tecnologías de ahorro de energía.

Los indicadores propuestos para el MGEI son los siguientes:

1. El indicador de productividad (IP), medido por el índice de Malmquist o índice de la productividad total de los factores, calculado con el método de análisis de datos envolvente (Data Envelopment Analysis, DEA). Para el cálculo, se recomienda hacer uso del programa DEAP 2.1, que contiene los algoritmos del método Malmquist y emplear la medida de orientada a la salida. Para mayor detalle del uso del método de datos envolventes (DEA) y los índices de Malmquist, referirse a [40] [41]. Este índice adopta el paradigma de *benchmarking* al comparar la productividad entre varias empresas del mismo sector.
2. Otro indicador es el desempeño energético (IDE), que mide el consumo de energía eléctrica por unidad de producción y se puede expresar como se describe en la ecuación 2, aplicable para diferentes áreas de producción dentro de una empresa [29] [20].

$$IDE = \frac{\text{Consumo de energía eléctrica (kW-hr)}}{\text{producción (ton)}} \quad \text{Ecuación 2}$$

La tercera etapa es la de implementación de medidas de ahorro de energía, que pueden incluir o no inversiones. Y la cuarta etapa es la de evaluación de la implementación de medidas de ahorro de energía por medio del monitoreo y comparación entre la línea de base energética y los indicadores medidos durante la implementación de medidas de ahorro de energía, de manera que, cumpliendo con un ciclo de mejora continua, la evaluación y monitoreo se convierten en un proceso de retroalimentación para redefinir la política energética de la empresa o implementar mejoras en las propuestas de ahorro de energía.

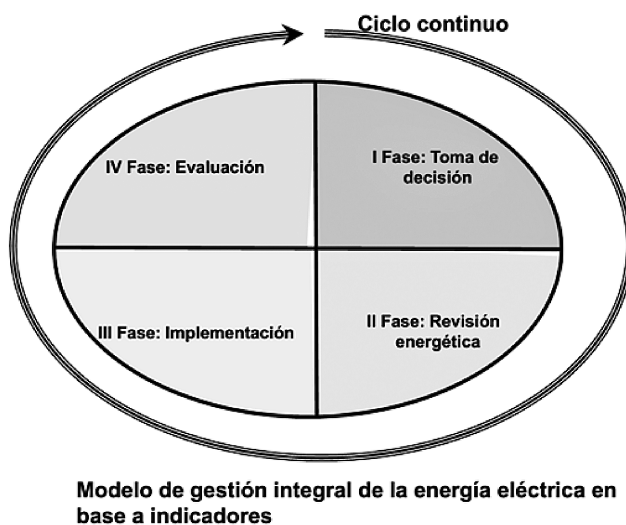


Figura 3. Esquema del Modelo de Gestión Integral de la Energía Eléctrica con base en Indicadores (MGEI)

Consulta a expertos sobre el modelo MGEI y grupo FOCAL

El objetivo de la consulta a expertos fue inferir elementos metodológicos de la gestión energética en Latinoamérica aplicables a Nicaragua e integrarlos en un modelo que permitiera el uso productivo de recursos energéticos para la generación de energía eléctrica. A los expertos se les consultaron los principales elementos del modelo MGEI y los resultados fueron los que se detallan a continuación.

Los expertos opinaron en su mayoría que la norma ISO 50001 no es suficiente para lograr la eficiencia energética en una empresa; solo un 35% opinó favorablemente al respecto. Por lo tanto, una norma de afiliación como la ISO 50001, que efectivamente impulsa la gestión eficiente de la energía, debe ser considerada como referente; sin embargo, es necesario complementarla con más elementos que optimicen el empleo de los recursos energéticos.

Todos los expertos opinaron que el ciclo de mejora continua es una herramienta que favorece el logro de la eficiencia energética en una empresa y que establecer indicadores de eficiencia energética y su vigilancia constante contribuyen a ello. La mejora continua es una tendencia identificada en la integración del MGEI, asociada al desarrollo en etapas. Además, la mayoría de los expertos (93%) consideraron importante la decisión de gerencia de la empresa o institución de implementar un proceso de gestión de la energía para lograr su uso eficiente, lo que constituye la primera etapa del MGEI.

Además, la mayoría de los expertos (71.4 %) estuvieron de acuerdo en considerar que la revisión del comportamiento energético con base en indicadores mejora la eficiencia energética; este elemento se incluye en la segunda etapa del MGEI. En su totalidad, los expertos estuvieron de acuerdo en que es necesaria la implementación de medidas de ahorro de energía, que pueden incluir o no inversiones, la cual está integrada a la tercera etapa del MGEI.

Por otra parte, todos los expertos consultados consideraron relevante la evaluación de las medidas de ahorro de energía puestas en práctica, por medio del monitoreo y la comparación entre una línea de base energética e indicadores de eficiencia energética, elementos metodológicos incluidos en la tercera y cuarta etapas del MGEI. Además, la mayoría (93%) consideró acertada la afirmación de que un ciclo de mejora continua y el monitoreo y la evaluación como un proceso de retroalimentación son necesarios para redefinir la política energética de las empresas o implementar mejoras en las propuestas de ahorro de energía, lo que está integrado a la cuarta etapa del MGEI.

Por tanto, la consulta a expertos dio sustento al hecho que los elementos metodológicos de la gestión energética sometidos a consulta pudieran integrarse en un modelo que permitiera el uso productivo de recursos energéticos para la generación de energía eléctrica; de manera que la consulta a expertos sirvió para validar los elementos metodológicos integrados en el modelo propuesto, MGIE, descrito en la figura 3 y explicado anteriormente.

Por otra parte, el encuentro con el grupo focal tuvo resultados similares al de la consulta a expertos con respecto al MGEI presentado; mediante preguntas dirigidas se discutieron los elementos del modelo. También se discutieron las premisas establecidas por el instrumento de consulta a expertos. Los integrantes del grupo focal coincidieron con los aportes obtenidos por la consulta a expertos. Además, se abordó el hecho que la Cámara de Industria de Nicaragua (CADIN) está impulsando la implementación de sistemas de gestión de energía basados en la norma ISO 50001 y estableciendo indicadores de desempeño energético. Asimismo, se identificaron tres factores claves en la gestión energética: la gerencia, el talento humano y la tecnología, elementos que están integrados al MGEI en las distintas etapas del proceso.

Conclusiones

En este artículo se logró integrar una propuesta de un modelo de gestión de recursos energéticos llamado Modelo de Gestión Integral de la Energía Eléctrica con base en Indicadores (MGEI) para el uso productivo de los recursos energéticos en la generación de energía eléctrica por agentes del mercado eléctrico nacional con sistemas de cogeneración, de Nicaragua.

La metodología empleada se sustentó en la teoría fundamentada, con el soporte de herramientas informáticas como el Atlas ti 7 y el SPSS 23. Además, se desarrolló un proceso de consulta a expertos y a un grupo focal para validar los elementos metodológicos integrados en el modelo propuesto, MGIE.

El uso de la teoría fundamentada incluyó el análisis documental de teorías de modelos de gestión de la energía en Latinoamérica. Se analizaron las tendencias teóricas de los modelos de gestión integral de la energía y a partir de allí se integraron elementos metodológicos de gerencia de la energía y de ciclo de mejora continua. Además, se infirió que el modelo debía contener un proceso por etapas y basarse en indicadores. Se definieron las etapas de la toma de decisión por parte de la gerencia de la empresa o institución, la revisión del comportamiento energético y la implementación de medidas de ahorro de energía.

Mediante un proceso inductivo se conceptualizó el modelo de gestión integral de la energía eléctrica con base en indicadores, MGEI. En definitiva, el resultado fue una propuesta de modelo de gestión de energía eléctrica con base en indicadores.

Referencias

- [1]. Ministerio de Energías y Minas, MEM. (2012). *Balance energético nacional*. Obtenido desde http://www.mem.gob.ni/media/file/POLITICAS%20Y%20PLANIFICACION/Informe%20Balance%20Energ%C3%A9tico%20Nacional%202012_%20Versi%C3%B3n%20Final.pdf
- [2]. M. Poveda y E. García. (2013). *La sostenibilidad de la eficiencia energética: Programa para América Latina y el Caribe de Eficiencia Energética - PALCEE.OLADE*. Obtenido desde <http://www.olade.org/sites/default/files/publicaciones/PALCEE-2013.pdf>
- [3]. D. Cantero. (2014). Teoría fundamentada y Atlas. ti: recursos metodológicos para la investigación educativa. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 16(1), pp. 104–122. Obtenido desde <http://redie.uabc.mx/vol16no1/contenido-sanmartin.html>
- [4]. M. Giraldo. (2011). Abordaje de la investigación cualitativa a través de la teoría fundamentada en los datos. *Ingeniería Industrial*, año 4, 3(6). ISSN: 1856-0837
- [5]. C. de la Cuesta. (2006). Cultura de los cuidados. *Revista de Enfermería y Humanidades*, n.º 20, pp. 136-140. ISSN 1138-1728, ISSN-e 1699-6003.
- [6]. G. de la Torre, E. Di Carlo, S. Florido, H. Opazo, P. Ramírez Rodríguez, A. Sánchez, y J. Tirado. (2008). Teoría fundamentada *Métodos de Investigación*. Facultad de Formación del Profesorado y Educación. Universidad autónoma de Madrid.
- [7]. J. Hernández, L. Herrera, R. Martínez, J. Páez, y M. Páez, “Generación de Teoría: Teoría Fundamentada”, seminario doctoral de la Universidad de Zulia, Venezuela, 2011.
- [8]. J. Padilla, P. Vega, y D. Rincón, “Teoría fundamentada y sus implicaciones en investigación educativa: el caso de Atlas.ti”, *Revistas Investigación UNAD*, 13(1), 2014.
- [9]. R. Jiménez-Fontana, E. García-González, P. Azcárate, A. Navarrete, y J. M. Cardeñoso. La teoría fundamentada como estrategia de análisis de los datos: caracterización del proceso. Presentado en CIAIQ2016, 1(0), pp. 356–365. Obtenido desde <http://proceedings.ciaiq.org/index.php/ciaiq2016/article/view/619/608>
- [10]. P. Lúquez y O. Fernández. (2016). La teoría fundamentada: precisiones epistemológicas, teórico-conceptuales, metodológicas y aportes a las ciencias. *Revista Cumbres*, 2(1), pp. 101–114. Obtenido desde <http://investigacion.utmachala.edu.ec/revistas/index.php/Cumbres/article/view/34/30>
- [11]. V. Monge Acuña. (2015). La codificación en el método de investigación de la Grounded Theory o Teoría Fundamentada. *Innovaciones Educativas*, 17(22), pp. 77–84 pp. Obtenido desde <http://201.196.149.98/revistas/index.php/innovaciones/article/view/1100/1035>
- [12]. D. Páramo Morales. (2015). La teoría fundamentada (Grounded Theory), metodología cualitativa de investigación científica. *Pensamiento y Gestión*, 39, pp.119–146. Obtenido desde <http://www.scielo.org.co/pdf/pege/n39/n39a01.pdf>
- [13]. E. C. Quispe, R. P. Castrillón, J. C. Campos, y M. Urhan, “El modelo de gestión energética colombiano: desarrollo, experiencias y resultados de aplicación y perspectivas futuras del desarrollo”, IX Congreso

- Nacional y IV Internacional de Ciencia y Tecnología del Carbón y Combustibles Alternativos. Cali: Conicca, 2011.
- [14]. J. C. Campos Avella, O. F. Prías Caicedo, E. C. Quispe Oqueña, J. R. Vidal Medina, y E. D. Lora Figueroa, "El MGIE, un modelo de gestión energética para el sector productivo nacional", *El Hombre y la Máquina*, n.º 30, pp. 18-31, enero-junio, 2008, Cali, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente.
- [15]. J. C. Campos Avella, E. D. Lora Figueroa, I. Tovar Ospino, O. F. Prías Caicedo, E. C. Quispe Oqueña, y J. R. Vidal Medina, "Modelo de gestión energética para el sector productivo nacional". *Prospectiva*, 6(1), pp. 23-27, 2008.
- [16]. C. Pérez y F. Vera. (2012). Fundamentos para la administración energética en la industria colombiana a través de indicadores de gestión. *Scientia et Technica*, año XVII, n.º 50. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.
- [17]. A. González, y S. Corp. (2010). "Caracterización del nivel de gestión energética en la organización", *Cuba solar*.
- [18]. E. Hurtado y J. Escamilla. (2015). Modelo de gestión de la demanda energética integral. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, ISSN-e 0121-6805, 23(2), pp. 137-147. DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/rfce.1612>
- [19]. M. Castro, S. Spíritus, y R. Espinosa, "Gestión energética en un centro azucarero no electrificado", *Centro Azúcar* 29(4), pp. 20-28, 2002.
- [20]. Y. Xiang, J. Liu, W. Yang, y C. Huang. (2015). Active energy management strategies for active distribution system. *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*, 3(4), pp. 533-543. DOI 10.1007/s40565-015-0159-2.
- [21]. A. Hernán, "Gestión total eficiente de la energía: herramienta fundamental en el mejoramiento de la productividad de las empresas", *Scientia et Technica*, n.º 21, 2003.
- [22]. R. Castrillón, A. González, y E. Quispe. (2013). Mejoramiento de la eficiencia energética en la industria del cemento por proceso húmedo a través de la implementación del sistema de gestión integral de la energía. *DYNA* [en línea],. 80 (177), pp.115-123.. Disponible en <http://dyna.unalmed.edu.co/ediciones/177/articulos/v80n177a14/v80n177a14.pdf>
- [23]. O. Prías, y D. Montaña, D. (2014). Modelo estratégico de innovación para impulsar la gestión energética en Colombia. *Energética* [en línea], 44, pp. 61-68. ISSN 2357 - 612X. Obtenido desde <http://www.bdigital.unal.edu.co/46934/1/45309-237950-1-PB.pdf>
- [24]. L. Gilvonio, "El ahorro de energía en la industria cementera como estrategia de la excelencia operativa", (tesis de maestría), Universidad Mayor de San Marcos, Perú, 2005.
- [25]. S. A. Kilkis, "Rational energy management model for curbing building CO2 emissions", *ASHRAE Transactions* 11(2), pp. 113-123, 2007.
- [26]. J. Vidal, O. Prías, J. Campos, E. Quispe, e I. Tovar, "Modelos de gestión energética: un análisis crítico, presentada en el 1º Cong. Int. de Materiales, Energía y Medio Ambiente (CIMEM), Universidad Autónoma del Caribe, Programa de Ingeniería Mecánica, Barranquilla, Colombia, 2007.
- [27]. L. Ramírez. (2007). Implementación de un sistema de gestión ambiental empresarial. Estudio de caso: Telefónica de Pereira, S. A. *Scientia et Technica* [esp.], año XIII, m.º 37. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.
- [28]. I. Cruz-Virosa, J. Cabello, L. Sorinas, A. Varela, e I. Costa. (2015). Propuesta de procedimiento para el control de emisiones atmosféricas en ambientes urbanos. *Ingeniería Industrial*, 34 (1), pp. 2-16. ISSN 1815-5936.
- [29]. S. Restrepo, J. César, O. Ocampo, y L. Perdomo. (2014) Caracterización de la gestión energética en una empresa manufacturera de Manizales. *Revista Energética* [en línea], n.º 44. ISSN 2357 - 612X. Universidad Nacional de Colombia.
- [30]. J. Morato, "Reducción de gasto energético eléctrico usando seis sigmas", *Producción Más Limpia*, 4(2), pp. 90-102, 2009.
- [31]. D. Rojas y O. Prías. (2014). Herramientas LEAN para apoyar la implementación de sistemas de gestión de la energía basados en ISO 50001. *Energética* [en línea], n.º 44. ISSN 2357 - 612X. Universidad Nacional de Colombia.
- [32]. G. Castaño. (2013). Entre la innovación tecno económica y la innovación social: un modelo de gestión energética para microempresas tradicionales urbanas de Medellín. *Revista TRILOGÍA*, n.º 9, pp. 11 - 23. ISSN 2145-4426.

- [33]. L. Ventura, C. Rubén, Y. Pompa, M. Tamayo, y A. de la Rosa. (2014). Aplicación de una herramienta de ayuda a la planificación energética en comunidades rurales aisladas. Caso de aplicación: Las Peladas. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(2), pp. 70-75. ISSN -1010-2760, RNPS-0111.
- [34]. M. Cortés, A. Borroto, y Álvarez, "Aplicaciones de los modelos multicriteriales a la energía, la sociedad y el medio ambiente", *Revista Investigación Operacional*, 33(3), pp. 268-278 2012.
- [35]. G. Schweickardta. (2014). Eficiencia energética mediante el balance de fases en sistemas de distribución en baja tensión: solución desde un enfoque meta heurístico. *Energética [en línea]*, n.º 44. ISSN 2357 - 612X. Universidad Nacional de Colombia.
- [36]. Y. Pascuas. (2001). *Modelamiento matemático aplicado al modelamiento espacial*. U. Distrital Caldas. Bogotá, Colombia. Obtenido desde <http://www.sociedadelainformacion.com/14/modelamiento.pdf>.
- [37]. N. Yunyoung, R. Seungmin, y L. Bok-gi, "Intelligent context-aware energy management using the incremental simultaneous method in future wireless sensor networks and computing systems", *Journal on Wireless Communications and Networking*, 2013.
- [38]. A. Castagnetti, A. Pegatoquet, C. Belleudy, y M. Auguin.. A framework for modeling and simulating energy harvesting WSN nodes with efficient power management policies. *Journal on Embedded Systems*, August 2012. Obtenido desde <http://jes.eurasipjournals.com/content/2012/1/8>.
- [39]. J. Cleves, O. Prías, y H. Torres. Modelo de normalización de indicadores de desempeño energético en la implementación de sistemas de gestión de energía. Caso de estudio: Sector textil. *Energética*, n.º 46, pp. 65-71. ISSN 2357 - 612X.
- [40]. N. Blanco y C. Zúniga. (2013). Productivity analysis in power generation plants connected to the national grid: A new case of bio economy in Nicaragua. *Journal of Agricultural Studies*, 1(1), pp. 81-102. Macrothink Institute. doi:10.5296/jas.v1i1.3352.
- [41]. N. Blanco. (2017). Productividad del uso de recursos energéticos en los agentes del mercado eléctrico nicaragüense con sistemas de cogeneración. *Tecnología en Marcha* (en proceso de revisión por la revista).