

Herramientas *Lean* para apoyar la implementación de sistemas de gestión de la energía basados en ISO 50001

Lean Tools to Support the Implementation of Energy Management Systems Based on ISO 50001

David Bernardo Rojas - Rodríguez^{a*}, Omar Prías - Caicedo^a

Recibido: agosto 30 de 2014
Recibido con revisión: septiembre 4 de 2014
Aceptado: septiembre 27 de 2014

^{a*} Universidad Nacional de Colombia
Sede Bogotá,
Facultad de Ingeniería
Cra 30 N° 45-00 ed:411 of: 203 B
Bogotá, Colombia
Tel.: + (57) 3165000 ext:11145
dbrojasr@unal.edu.co

RESUMEN

Los sistemas de gestión de la energía (SGE) representan una herramienta para que las empresas aborden de manera conjunta sus problemáticas actuales en energía, productividad y competitividad. Con la expedición de la norma ISO 50001: Sistemas de Gestión de la Energía, Lineamientos con orientación para su uso, se genera un amplio marco de trabajo en esta temática, el cual abre una oportunidad desde el ámbito investigativo sobre el impacto de diferentes técnicas y herramientas para la implementación de un SGE. Buscando aportar a esta área, el presente artículo realiza un estudio de las herramientas basadas en los principios Lean, que se han desarrollado para lograr mejoras energéticas en la industria, identificando la manera en que pueden apoyar la planeación, implementación y operación de un sistema de gestión de la energía. A través del análisis, se encontró que las herramientas de mejora energética basadas en Lean, generan mayoritariamente contribuciones para cumplir los requisitos de 'Revisión Energética', 'Verificación y Control Operacional' de la norma ISO 50001, mientras que las herramientas tradicionales de Lean y otras desarrolladas en áreas de apoyo para la gestión de la energía, generan contribuciones para los requisitos de 'control operacional' y 'seguimiento medición y análisis'.

PALABRAS CLAVE

Eficiencia Energética; ISO 50001; Sistemas de Gestión de la Energía.

ABSTRACT

The energy management systems (EnMS) represent a tool for the industries to face in an integral manner its energy, productive and competitive challenges. With the expedition of ISO 50001: Energy Management Systems, requirements with guidance for use, a broad field of application is open, where the academic field may have important contributions related to the impact of different tools in the implementation of an EnMS. Based on this context, the present document develops a study about the tools based on Lean Principles that have been developed to achieve better energy performance in industries. The tools and methodologies found are organized to identify the way they can contribute to the design, implementation and operation of an EnMS. Through the analysis it is found that Energy Lean based tools have important contributions specially to the 'Energy review' and Energy baseline' requirements of ISO 50001, while traditional Lean tools and others developed in support areas for energy management present major contributions to the 'Implementation and Operation' and 'Monitoring, Measuring and analysis' requirements.

KEYWORDS

Energy Efficiency; ISO 50001; Energy Management Systems (EnMS); Lean Manufacturing.

Energética 44, diciembre (2014), pp.49-60

ISSN 0120-9833 (impreso)
ISSN 2357 - 612X (en línea)
www.revistas.unal.edu.co/energetica
© Derechos Patrimoniales
Universidad Nacional de Colombia



1. INTRODUCCIÓN

Los modelos industriales actuales se encuentran altamente influenciados por preocupaciones ambientales y poblacionales que se intensificaron a finales del siglo XX. Entre ellas encontramos el posible agotamiento de los recursos o detrimento en su calidad, la necesidad de atender de manera más eficiente a poblaciones en constante crecimiento y la necesidad de competir en un mundo globalizado [Puvanavar, 2012]. Desde el punto de vista energético, estas situaciones se traducen para las industrias en precios crecientes de los energéticos, nueva regulación ambiental con impacto en la energía y clientes preocupados por la adopción de productos energéticamente eficientes [Bunse, et al., 2011]. Las empresas deben atender estas preocupaciones mientras continúan con sus labores misionales, en un escenario de incertidumbre que a menudo se suma a dificultades para entender el tipo de energéticos que requieren, la estructura de los precios energéticos y controlar las fuentes de aprovisionamiento del servicio [Chiu, et al., 2012]. Para afrontar la situación, las empresas suelen desarrollar prácticas de eficiencia energética que generalmente no tienen en cuenta las implicaciones en los usos internos de la energía dentro de toda la organización ni elementos de gestión de la energía [Bunse et al., 2011; Russell, 2007].

Frente a este panorama, los Sistemas de Gestión de la Energía (SGE), se presentan como una solución que permite atender de manera armónica las necesidades energéticas de las empresas en conjunto con su estrategia empresarial [Chiu et al., 2012; et al., 2013]. Al basarse en un enfoque de procesos, los SGE tienen capacidad de adaptarse efectivamente a los sistemas productivos de las empresas [La Bruna & Zafred, 2011].

En el 2011, la organización mundial de estandarización (ISO), emitió la norma ISO 50001 la cual recoge en un único estándar los principales elementos de modelos de gestión de la energía desarrollados previamente. Se espera que esta norma llegue a relacionarse con el 60% del uso global de la energía [Ranky & Tag, 2012]. El estándar fue adoptado por Colombia a finales del 2011 mediante la norma NTC-ISO/50001 [ICONTEC, 2011].

Para mayo de 2014, existían alrededor de 7500 sitios certificados en ISO 50001, con el 46.9% ubicándose en Alemania y 4 de ellas en Colombia [DIN, 2014]. Pese a esta situación, el estándar resulta novedoso y la comunidad académica apenas empieza a analizar empírica y conceptualmente su estructura y efectividad [Böttcher & Müller, 2014].

Contribuyendo al desarrollo de estrategias para atender de manera efectiva a las oportunidades surgidas alrededor de los sistemas de gestión, el presente artículo busca proponer un esquema basado en pensamiento

Lean, que permita apoyar el desarrollo de Sistemas de Gestión que den cumplimiento a la norma ISO 50001. El sistema de producción *Lean*, o simplemente filosofía *Lean*, se basa en los principios establecidos por Womack, Jones y Roos en los años noventa a través del libro *The Machine that changed the world* [Holweg, 2007]. Las prácticas basadas en este concepto se extienden actualmente a numerosas aplicaciones y comparten algunos principios con los sistemas de gestión de la energía, por ello existe un importante potencial de aplicación de ambos conceptos de manera conjunta [Ranky & Tag, 2012; Seryak & Kisssock, 2005].

Se espera que los resultados encontrados permitan formular estrategias prácticas para abordar la planeación, implementación y operación de sistemas de gestión de la energía en industrias. De igual manera, se espera orientar empresas con sistemas *Lean* implementados sobre las facilidades que podrían tener para instalar sistemas de gestión de la energía y las herramientas que podrían usar en el proceso.

Para abordar la temática, se inicia por la revisión de los principales conceptos de *Lean* y de Gestión de la Energía, analizando posteriormente los aportes en la literatura que tratan el tema de manera conjunta. Los artículos encontrados se organizan según la manera en que podrían articularse con un Sistema de Gestión de la Energía, con base en el ciclo de mejoramiento continuo PHVA. Finalmente se destacan los principales aspectos que pueden atenderse a través de las herramientas estudiadas en el contexto de la ISO 50001 y se generan recomendaciones para su aplicación en el sector productivo.

2. GESTIÓN DE LA ENERGÍA

La gestión de la energía, entendida en un sentido amplio como la estrategia para satisfacer la demanda energética en el lugar y momento en que sea necesario, comenzó a ser una preocupación para el sector industrial durante la crisis energética de 1970 en la que se dio un alza de precios en los energéticos sin referentes históricos [Abdelaziz, et al., 2011]. En esta primera tendencia continuada durante la segunda mitad de la década, las preocupaciones se centraron en el ahorro de energía y adaptación a las restricciones de la oferta, motivando cambios tecnológicos y cambios en el estilo de vida [Prías, 2006]. En este contexto [O'Callaghan & Probert 1977], ofrecen una definición de la gestión de la energía como la aplicación de la conversión y la utilización de la energía tanto a los recursos como a la oferta, [...] para lograr los mismos objetivos con menos requerimientos de potencia' [O'Callaghan & Probert, 1977] citado por [Bunse et al., 2011].

Luego de la segunda crisis del petróleo en 1979, se desarrolla el concepto de gestión de la demanda, a través del cual se crean herramientas tecnológicas y políticas para manejar la evolución de la demanda de energía. A mediados de los años ochenta se evoluciona al uso racional de la energía, donde se exige que además de resultados en energía haya resultado de costos y en los años noventa se engloban estos conceptos en la eficiencia energética, a través del cual se agregan los conceptos para caracterizar el uso de la energía a nivel macroeconómico [Prías, 2006]. A partir de

esta década los proyectos en energía para la industria empezaron a tener gran difusión, observando en el caso de Estados Unidos un aumento exponencial en las inversiones de proyectos de eficiencia energética realizadas por la industria entre los años 1990 y 2000 [Gorp & Van Gorp, 2004].

Paralelamente en otras disciplinas como la ambiental y la productiva, surgieron nuevos conceptos que convergieron con la perspectiva energética en el ámbito empresarial. La figura 1 extraída de [Prías, 2006] reseñando un trabajo previo del autor, muestra la convergencia de estos aspectos. En este trabajo se argumenta cómo este panorama posibilita la integración de conceptos y se propone un nuevo enfoque de gestión de la energía que integre las principales tendencias de cada área sobre una base de gestión moderna.

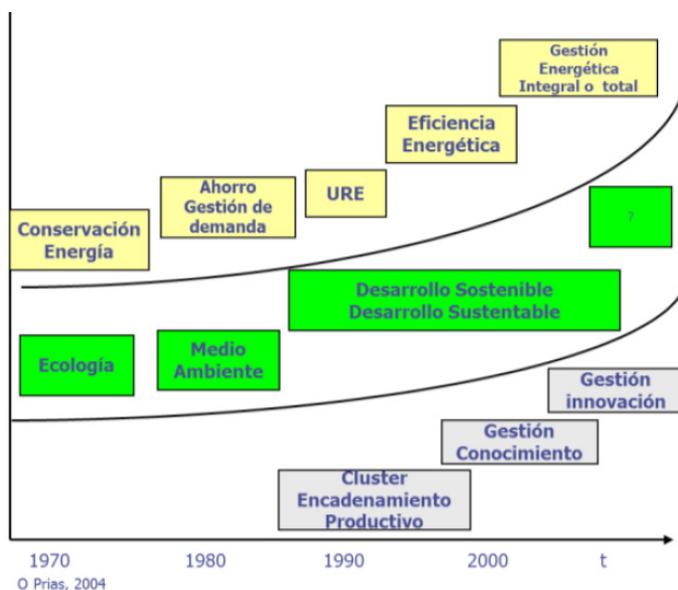


Figura 1: Evolución del concepto de gestión energética
Fuente. [Prías, 2006]

De manera consecuente, los trabajos recientes en gestión de la energía abordan la temática en conjunto con otras dimensiones de la empresa, como la calidad y la logística [Bunse et al., 2011]. Igualmente, los avances tecnológicos en áreas distintas a la energía, particularmente en la información y telecomunicaciones, se han integrado en las últimas décadas a las prácticas de gestión energética y hoy en día juegan un importante rol en la gestión de la energía tanto a nivel industrial como residencial [Suganthi & Samuel, 2012; Aman, et al., 2013].

2.1 Gestión de la energía en el contexto colombiano

Colombia presenta una importante trayectoria en Gestión de la Energía con un liderazgo marcado desde el sector investigativo. En el 2003 se creó la Red Colombiana de Conocimiento en eficiencia energética, la cual organizó tres versiones del Congreso

Internacional sobre Uso Racional y Eficiente de la Energía [‘CIUREE’ 2004, 2006 y 2008] en los que ‘la administración y gestión de la energía’ fue uno de los ejes temáticos. Además varias universidades colombianas desarrollaron en este periodo herramientas y metodologías de gestión energética para la industria [PEN-SGIE, 2013].

Recogiendo estos antecedentes, en el 2007 se desarrolla el modelo de Gestión Integral de la Energía que posteriormente dio origen al Sistema de Gestión Integral de la Energía, SGIE [Campos, 2008; UPME, 2007]. Con este antecedente, se desarrolló entre 2010 y 2013 el Programa Estratégico Nacional en Sistemas de Gestión Integral de la Energía, a través del cual se ha trabajado la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía en 12 empresas a nivel nacional [PEN-SGIE, 2013]. Actualmente este trabajo se continúa mediante la *Consolidación de la Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética*, programa financiado por Colciencias que, entre otros aspectos, involucra la continuidad del PEN-SGIE.

2.2 SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA E ISO 50001

Los sistemas de gestión de la energía permiten alinear de manera simultánea la actual gama de disciplinas relacionadas con la gestión de la energía, trayendo al mismo tiempo beneficios ambientales y económicos [Rudberg et al., 2013].

En el 2011 fue emitida la norma internacional *ISO 50001: Sistemas de gestión de la energía requisitos con orientación para su uso*, la cual recoge los principales antecedentes en Sistemas de Gestión de la Energía que se habían desarrollado a nivel mundial [Bunse et al., 2011]. Colombia adoptó el estándar a finales de este mismo año a través de la NTC-ISO 50001 y para mayo de 2014 cuatro empresas contaban con la certificación [DIN, 2014]. La norma define un sistema de gestión de la energía como “el conjunto de elementos interrelacionados mutuamente o que interactúan para establecer una política y objetivos energéticos, y los procesos y procedimientos necesarios para alcanzar dichos objetivos” [ICONTEC, 2011].

El fin de un sistema de gestión de energía según la ISO 50001 es lograr el mejoramiento continuo del desempeño energético, entendido como los “resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de la energía” [ICONTEC, 2011]. Para el sector productivo, esta definición implica tener en cuenta variables tanto energéticas como de producción [Carretero Peña & García Sánchez, 2012].

Numerosos programas de energía en el mundo están tomando la ISO 50001 como guía, entre ellos cabe citar el *Superior Energy Performance (SEP) Certification Program* en Estados Unidos [Scheihing et al., 2013] y el *Industrial Energy Efficiency Program* de UNIDO con impacto en varios países en desarrollo [Ates & Durakbasa, 2012; Ottermann, 2011; Wessels, 2011].

En el presente artículo se tomará la estructura de la norma ISO 50001 como base para el análisis de sistemas de gestión de la energía, dadas las características de difusión internacional y representatividad del estándar.

3. LEAN MANUFACTURING

El concepto de Lean Manufacturing se difundió por medio de los libros de Womack, Jones y Roos publicados a principios de los noventa, en los que se identifican los principios esenciales del método de producción Toyota y se crean bases para su aplicación en compañías fuera del ámbito japonés y de la industria automotriz [Holweg, 2007]. El concepto se basa en la reducción de desperdicios, entendidos como todo aquello que no genera valor para el cliente y agrupados en ocho categorías [Miller, et al., 2010].

Numerosas herramientas de gestión con gran difusión en la industria actual, tales como el justo a tiempo, el flujo de producción de una sola pieza o las 5s se asocian comúnmente al sistema de producción Lean [Puvanasvaran, 2012]. Los principios rectores de este concepto se han aplicado en diversas áreas incluyendo el sector servicios [Ritchie & Angelis, 2010], las cadenas de abastecimiento [Cabral, et al., 2011; Wu, 2009] y el reverdecimiento empresarial [Miller et al., 2010], por lo que en algunos contextos resulta más apropiado hablar de un Pensamiento Lean (*Lean Thinking*) que de *Lean Manufacturing*, dado que este segundo término podría entenderse como limitado a la producción de bienes. Dentro de este artículo se usará el término *Lean* para referirse de manera general a los conceptos y herramientas asociadas a *Lean Manufacturing* o al pensamiento *Lean*.

4. RELACIÓN ENTRE LEAN Y GESTIÓN DE LA ENERGÍA

La relación entre los sistemas de gestión de la energía y *Lean* es fácilmente identificable si se parte del principio de que ambos buscan reducir desperdicios energéticos [Sciortino, et al., 2009; Seryak & Kissock, 2005; Ranky, 2010]. Partiendo de este principio, numerosos estudios identifican la mejora energética como la consecuencia de la implementación de *Lean* o de herramientas catalogadas dentro de este concepto.

Adicionalmente, existen metodologías para mejora energética desarrolladas a partir de los principios de

Lean, categoría resulta de especial interés para los sistemas de gestión de la energía ya que permite identificar herramientas y metodologías que pueden ser aplicadas en la implementación y operación de un SGE por parte de una empresa.

Buscando categorizar las herramientas disponibles según su aplicación práctica en Sistemas de Gestión de la Energía, se organizaron y catalogaron los artículos encontrados, en función de las etapas de un sistema de gestión bajo el ciclo de mejoramiento continuo PHVA. La figura 2 resume la clasificación realizada. En las siguientes secciones se explorará en detalle cada una de estas áreas para posteriormente realizar recomendaciones específicas hacia la implementación de un sistema basado en ISO 50001.

5. MEJORAMIENTO ENERGÉTICO COMO CONSECUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LEAN

Diversos estudios han abordado los beneficios energéticos que pueden obtenerse como consecuencia directa de la implementación de Lean en la industria.

Un primer aspecto que se resalta, es la facilidad que tienen las empresas con herramientas o pensamiento *Lean* en su cultura organizacional para generar acciones de mejora energética. Se estima por ejemplo, que como consecuencia de la implementación de Lean en las fábricas europeas de Toyota se alcanzó un 37% de ahorro energético por vehículo [Peng, 2010].

[Oppenheim, 2006], argumenta que los ahorros energéticos se dan como consecuencia de la productividad obtenida, de dónde propone que el esfuerzo (financiero y técnico) para la mejora energética debe hacerse sobre la producción y no sobre la energía. Por su parte [Khalaf, et al., 2011], desarrollaron y validaron con una muestra de 55 empresas un modelo que ilustra cómo la implementación de *lean manufacturing* genera beneficios sobre la eficiencia energética.

La influencia de *Lean* sobre la gestión de la energía se explica a través de diferentes herramientas asociadas a este concepto. De esta manera, [Khalaf, et al., 2011], muestran que el HRM (Human Resource Management) tiene influencia en mejora de la eficiencia laboral y el TQM (Total Quality Management) en la capacidad de utilización, y que ambos factores influyen la eficiencia energética. [Oppenheim, 2006] menciona el tamaño de lote individual, la reducción de inventarios, la producción en celdas JIT y la flexibilidad del proceso como fuentes de ahorro energético. Por su parte [Puvanasvaran et al., 2012] muestran al Kaizen como la práctica más difundida en las empresas con Sistemas de Gestión Ambiental implementados.

En el ámbito de sistemas de gestión, existe una rama de estudios que ha abordado la relación entre *Lean* y la implementación de Sistemas de Gestión Ambiental (SGA), nombrando, entre otros, beneficios energéticos. [King & Lenox, 2009], plantean una relación positiva entre *Lean* y el establecimiento de sistemas de gestión ambiental, asociada a la reducción de costos de

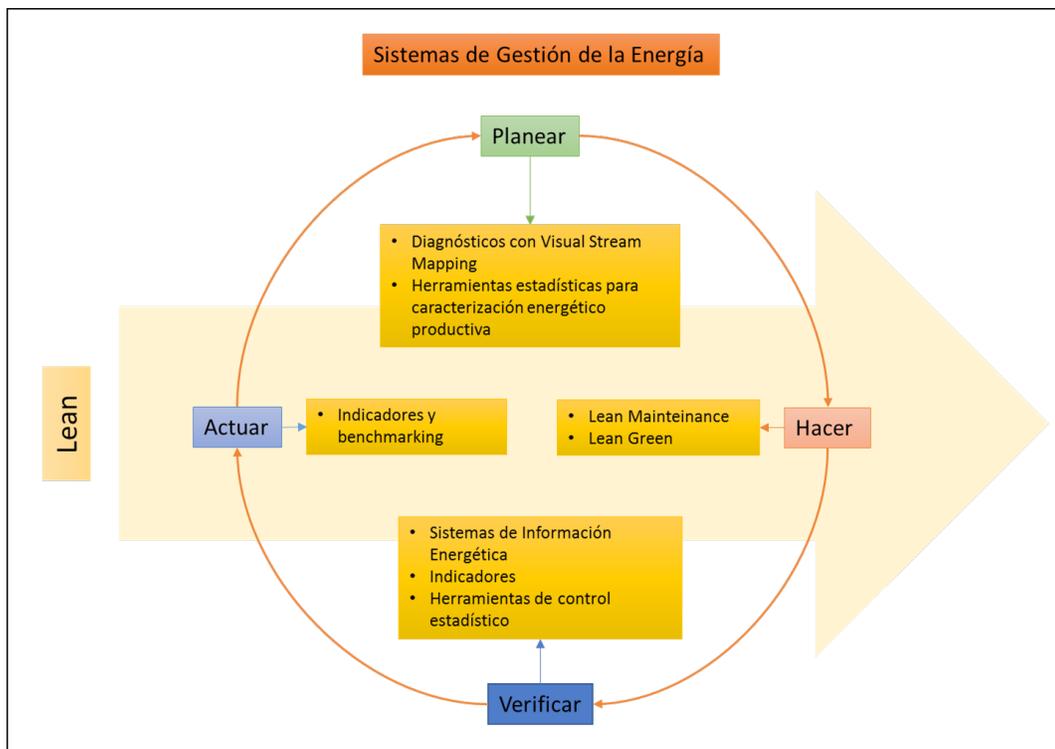


Figura 2: Categorización de la literatura que relaciona Lean con Gestión de la Energía
Fuente. Elaboración propia.

implementación y de la incertidumbre sobre el impacto de las acciones adelantas. [Puvanasvaran et al., 2012] demuestran que una muestra significativa de empresas con Sistemas de Gestión Ambiental implementados había adoptado al menos una práctica de producción *Lean*. [Dües, et al., 2013] plantean entre los elementos comunes de los paradigmas Verde (Green) y Lean, la reducción de desperdicios y los indicadores clave de desempeño (KPI); y entre los elementos conflictivos señalan que para Lean el fin son los costos y para Green el ambiente.

Aunque la literatura no ha estudiado ampliamente el impacto de los SGE basados en ISO 50001 [Böttcher & Müller, 2014], es de esperar que muchas de las relaciones encontradas para ISO 14001 se puedan extender al ámbito de la energía, debido a la coincidencia en aspectos estructurales de las normas [Chiu et al., 2012]. No obstante, dado que los SGE tienen una relación con ahorros en costos más marcada que los SGA [Ranky & Tag, 2012] puede que también muestren menos puntos conflictivos con *Lean*.

6. MEJORAMIENTO ENERGÉTICO COMO OBJETIVO DE LA APLICACIÓN DE LEAN

Los casos en que los conceptos de Lean se han organizado para producir nuevas herramientas de gestión enfocadas en el mejoramiento del desempeño energético de la empresa se han clasificado según su incidencia en el proceso de mejoramiento continuo (o ciclo PHVA) de la norma ISO 50001, mostrado en la Figura 3.



Figura 3: Ciclo de mejoramiento continuo de la norma ISO 50001

Fuente. Tomado de NTC-ISO 50001[ICONTEC, 2011]

En el área de Planificación (P), se incluyen las herramientas relacionadas con la planificación energética, en el Hacer (H) las relacionadas con implementación y operación y en el Verificar (V), las relacionadas con la verificación. Para el Actuar (A), cuya actividad principal es la revisión de la dirección, no se incluyeron herramientas específicas, no obstante se resalta que las herramientas de la etapa de verificación, especialmente (indicadores y sistemas de monitoreo) generan facilidades para su realización.

Las herramientas relacionadas con Sistemas de Gestión de la Información de la energía, se ubicaron en el Hacer y Verificar. Es importante resaltar que estas herramientas representan un área de trabajo amplia con numerosas publicaciones específicas (más que en las otras áreas) por lo que su estudio y clasificación puede representar por sí mismo un área de trabajo independiente, que escapa a la revisión realizada en el presente artículo.

6.1 Herramientas de planificación energética

Diagnóstico Energético a través de Value Stream Mapping

El Value Stream Mapping (VSM) es una herramienta de *Lean* caracterizada por su sencillez y facilidad de uso que permite identificar el flujo de valor dentro de la empresa e identificar las fuentes potenciales de desperdicios. [Keskin & G. Kayakutlu, 2012] integran el Value Stream Mapping con las redes Bayesianas para plantear una metodología de construcción de mapas en Eficiencia Energética, que además de generar diagnósticos, permitan formular escenarios de futuro que reflejen los resultados de acciones de mejora. [Paju et al., 2010] proponen una técnica denominada *Sustainable Manufacturing Mapping* (MPP) que combina las mejores características de *Value Stream Mapping* (VSM), *Discrete Event Simulation* (DES) y *Life Cycle Assessment* (LCA) y se enfoca en mostrar los avances hacia las metas de sostenibilidad de la organización, dentro de las que se incluyen las energéticas.

Una iniciativa relacionada con la planificación que vale la pena destacar, es la metodología utilizada por el Consejo Americano de Energía, para desarrollar programas de eficiencia energética basados en *Lean* en industrias de Estados Unidos [Sciortino & Watson, 2009]. Esta metodología, desarrollada para la EPA en el 2007 y revisada en el 2011, incluyó el trabajo conjunto de especialistas en *Lean*, con el personal de seis plantas seleccionadas para un piloto. El proceso incluyó capacitación de términos y mediciones de energía, concientización de personal, el desarrollo de value stream mapping de energía y establecimiento de metas en términos de *Lean*.

Herramientas estadísticas para la identificación de consumos energéticos no asociados a la producción y elaboración de líneas base

Las metodologías de Lean Energy Analysis (LEA) [John Seryak, et al., 2005] y Lean Energy [Gopalakrishnan, et al., 2012], se basan en el principio de reducción de desperdicios para identificar las oportunidades de mejoramiento energético en la empresa y trazar una línea de mejoramiento en esta área. De manera similar, el modelo colombiano SGIE, basa el análisis de ahorros

potenciales de energía en el establecimiento de una línea base que parte de una relación lineal entre la energía y la producción, obtenida con datos históricos de la empresa. [Campos, 2008; González et al., 2012]. En todos los casos, a través de herramientas estadísticas se identifica la energía no asociada a la producción y se generan líneas base, sin embargo los conceptos muestran algunas diferencias:

- El LEA, se desarrolló en Estados Unidos buscando una metodología práctica para identificar los usos mínimos teóricos de la energía a nivel de empresas individuales, en complemento a las metodologías desarrolladas para hallar estos mínimos a gran escala (niveles sectoriales o de país). El LEA tiene un amplio componente estadístico ver por ejemplo [Abels, et al., 2011] pero también incluye el análisis individual de equipos bajo la filosofía de reducción de desperdicios energéticos que no agreguen valor al cliente.
- El enfoque de *Lean Energy* [Gopalakrishnan et al., 2012], señala que en el campo energético la identificación de desperdicios presenta una mayor complejidad que en *Lean Manufacturing*, por la existencia de consumos de energía no esenciales (NEEC), escondidos en los procesos. La metodología plantea que los NEEC pueden encontrarse a través de análisis de Benchmarking y por ello propone la identificación de un patrón mínimo de consumo por sectores (que se denomina línea base). La obtención de este patrón mínimo involucra la caracterización detallada de varias empresas del sector a través de herramientas cualitativas y cuantitativas, con un fuerte enfoque estadístico. Una empresa más esbelta (i.e *Lean*) será aquella que logre acercarse más a la línea base del sector.

6.2. Herramientas de implementación y operación.

En esta categoría se encuentran herramientas asociadas a áreas de apoyo y áreas transversales al proceso de gestión de la energía, tales como mantenimiento y producción. Algunos de los aspectos nombrados no están enfocados directamente en el mejoramiento energético, pero su uso presenta una oportunidad para alinear las prácticas de producción con las energéticas.

Mantenimiento basado en Lean

El mantenimiento es una parte fundamental del proceso de gestión de la energía con requisitos específicos en la norma ISO 50001. En Colombia y como parte del PEN-SGIE, se desarrolló una metodología de mantenimiento centrado en eficiencia energética [Campos & Lora, 2009]. Desde el enfoque *Lean*, se pueden encontrar otras iniciativas desarrolladas en el ámbito internacional.

- La metodología *Lean Maintenance*, implementada en Intel Corporation [Sheng & Tofoya, 2010], se centra en factores culturales teniendo como principios ‘Dar la bienvenida los problemas’ y ‘Odiar los desperdicios’. Los resultados de la aplicación de esta técnica en las actividades, conexiones,

flujos y mejoras del mantenimiento han generado resultados en disponibilidad de equipos y ahorros en costos. El modelo se desarrolló en un sector que tradicionalmente no es intensivo en uso energético, pero los resultados alcanzados sugieren que su implementación en otros sectores podría representar grandes oportunidades de mejoramiento energético.

- [X, Wang et al., 2012], describen la aplicación conjunta de Lean, Seis Sigma y Control de calidad en el mantenimiento de equipos para el sector militar y [Zhao et al., 2012] proponen el trabajo con *Lean Six Sigma* junto al Diseño de experimentos para la aplicación en operaciones de mantenimiento de equipos. Ambos modelos están relacionados con variables que pueden tener impacto en la energía, sin embargo los enfoques planteados no se centran en esta variable. Nuevamente, la validación de estos principios en empresas intensivas en energía puede resultar una oportunidad con grandes ahorros potenciales para la industria.

Lean Green

El estudio de *Lean* para apoyar las metas ambientales de la empresa y procesos de reverdecimiento empresarial (*greening*), ha mostrado un gran desarrollo en la última década y representa por sí misma un área robusta de investigación. Para la temática abordada, cabe destacar que las variables energéticas se cuantifican en estos sistemas, generalmente con la intención de traducir los ahorros energéticos en reducción en emisiones de carbono ver p.ej [Miller et al., 2010; Peng, 2010]

Green IT

Las acciones de ahorro de energía y eficiencia energética sobre los sistemas de información, hacen parte del área que se ha denominado Green IT [Yoshino et al., 2010]. Las acciones en esta área incluyen el trabajo para la optimización energética de servidores y redes y pueden alinearse con las actividades de operación y mantenimiento de un SGE. Aunque el tema no se relaciona con los sectores tradicionalmente intensivos en energía, la rápida difusión del área de investigación y el aumento del uso de servicios de información hacen que resulte pertinente mantenerla bajo vigilancia para posibles inclusiones en el área de gestión de la Energía.

Un área del Green IT que resulta de mayor interés para gestión de la energía, es la reducción del consumo energético de operaciones industriales a través de las tecnologías de la información y comunicación. [Yoshino et al., 2010] categorizan las operaciones que se pueden realizar a través del monitoreo con sistemas de información en las cuatro áreas mostradas en la Tabla 1. Aunque las operaciones nombradas se centran en manejo de equipos informáticos, los principios pueden trasladarse a equipos industriales con alto consumo de energía (mediante la automatización o instalación de Sistemas Supervisión, Control y Adquisición de Datos – SCADA-) con el consecuente aumento en los ahorros obtenidos. [Mahjoub & Dandachi, 2007] tocan en mayor detalle esta posibilidad, resaltando ventajas adicionales

como aumento en la seguridad, flexibilidad y modularidad de los sistemas, con la combinación de SCADAS y Sistemas de Gestión de la Energía.

Categorías del patrón	Operaciones típicas
Operaciones periódicas regulares.	Prendido y apagado de computadores.
Operaciones no-periódicas regulares	Mantenimientos, cambio de configuración.
Notificaciones	Reporte de estados, reporte de eventos.
Recuperación de errores	Detección de eventos de errores y realización de actividades de recuperación

Tabla 1: Patrones de operaciones de ahorro de energía en sistemas de información.

Fuente. [Yoshino et al., 2010]

6.3 Herramientas de verificación

Sistemas de información energética

Además de las actividades de control operativo, los sistemas de información tienen una amplia contribución en las actividades de monitoreo de un SGE a través de la generación de información requerida para la verificación de los mismos.

En el ejemplo del sistema para el control de la energía en la cadena de Resorts de Disney [Allen, 2006] no solo se resalta la capacidad de controlar los equipos de regulación del ambiente y otros consumidores de energía (correspondientes a las actividades de control operacional), sino la capacidad de obtener información conjunta de todos los hoteles e incluir rápidamente a los nuevos que se construyan en los indicadores de monitoreo energético. Otro ejemplo es el presentado por [Swords, et al., 2008] que plantean una solución en sistemas de información denominada *Enterprise Energy Information System* (EEIS) que fue probada en grandes industrias y universidades en Dublin, instalando más de 100 medidores de energía eléctrica, de otros energéticos y de datos ambientales. En la práctica se demostró que el monitoreo fomentaba el surgimiento de nuevas ideas para el mejoramiento energético y que las acciones tomadas con base en la información obtenida lograron ahorros del 16% en las universidades y 8% en las calderas de la industria.

Indicadores para la medición de desempeño energético

Los indicadores tienen como objetivo resumir altos volúmenes de información en pocos datos de fácil entendimiento y son vitales para el mantenimiento de

un sistema de gestión de la energía [Van Gorp, 2005]. El uso de indicadores es un elemento común entre los sistemas de gestión y las prácticas Lean [Dües et al., 2013; Ang. B.W, 2006] Citado por [Bunse et al., 2011], habla de dos tipos de indicadores claves de desempeño (KPI): económicos o (de benchmarking) e indicadores físicos. Los primeros sirven al nivel estratégico de la organización y los segundos recogen información de procesos. Los autores resaltan la ausencia de indicadores físicos que se comuniquen adecuadamente con los estratégicos como una de las mayores debilidades en la industria actual. También resaltan la importancia de las herramientas de información y tecnología para realizar el monitoreo.

Otras categorías de indicadores también pueden asociarse a esta clasificación; La ISO 50001 exige la creación de indicadores de desempeño energético (IDES o EnPIs en la versión en inglés) que permitan medir las mejoras en el desempeño energético. Aunque los planteamientos de la norma son amplios y permiten contar con indicadores de múltiples características [T. Chiu et al., 2012], sugieren que se debe contar al menos con indicadores de consumo específico (a nivel de planta y de procesos) e indicadores a nivel de la alta gerencia que contengan esta información traducida a costos. El sistema global gestión de la energía (GEMS) de EXXON trabaja con *Key Energy Variables* (KEV), a nivel operativo, *Opportunity Lost Cost* (LOC) a nivel táctico e indicadores de *Benchmark* y competitividad a nivel superior [Eidt, 2012; Paju et al., 2010] presentan indicadores a 5 niveles de la compañía que abarcan tanto la dimensión interna como el entorno. Por su parte metodologías como el Lean Energy Analysis [Seryak et al., 2005]; *Lean Energy* [Gopalakrishnan et al., 2012] y el SGIE [González et al., 2012], se centran en indicadores de los procesos productivos, aunque resumen información para el seguimiento de la alta gerencia. [Oppenheim, 2006] propone indicadores físicos basados en las mediciones manejadas en sistemas de Lean Manufacturing.

6.4 Cerrando el ciclo de mejoramiento continuo

El ciclo de mejoramiento continuo de un sistema de gestión concluye con la revisión por parte de la alta dirección y toma de decisiones para retroalimentación del sistema. Dentro de las herramientas estudiadas no se encontró ninguna que permita apoyar particularmente esta etapa. No obstante cabe mencionar que herramientas de monitoreo como los indicadores de nivel estratégico, permiten orientar la toma de decisiones para lograr una retroalimentación adecuada del desempeño energético de la organización.

Al respecto, cobra especial importancia el lograr alinear los indicadores de planta con indicadores de

nivel estratégico y de benchmarking que permitan reflejar las situaciones reales de la empresa desde el punto de vista energético y productivo.

7. RESULTADOS: APROXIMACIÓN METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SGE BAJO ISO 50001 USANDO HERRAMIENTAS LEAN

El análisis realizado, permite identificar que existe un potencial de contribución de herramientas *Lean* para gestión de la energía especialmente para ciertas tareas específicas del ciclo de mejoramiento continuo.

En la Figura 4, se muestra una relación de las herramientas y metodologías estudiadas, con los requisitos específicos que plantea la norma ISO 50001. Cada una de ellas, se clasificó según si se trata de herramientas asociadas tradicionalmente a sistemas *Lean*, desarrollos que se han hecho con base en principios *Lean* especialmente para análisis y mejora energética o herramientas basadas en principios *Lean* que atienden a temas de apoyo para la gestión de la energía.

Las herramientas para mejoramiento energético que se basan en principios *Lean* generan contribuciones mayoritariamente para la revisión energética destacándose:

- Las diferentes vertientes de la herramienta *Value Stream Mapping*, adaptadas para involucrar flujos o desperdicios energéticos [Paju et al., 2010; Sciortino & Watson, 2009] permiten facilitar la identificación de áreas con uso significativo de la energía, actividad que hace parte del requisito 4.4.3 (revisión energética), de la norma ISO 50001.
- Las metodologías *Lean Energy Analysis* (LEA) [Seryak et al., 2005] y *Lean Energy* [Gopalakrishnan et al., 2012]. Aunque este enfoque no parte de principios *Lean*, tiene una estructura y finalidad similares a las otras herramientas señaladas.
- Cabe desatacar los aportes metodológicos del programa energético desarrollado para la EPA [Sciortino & Watson, 2009] con un componente para el entrenamiento de personal en desarrollo de programas de eficiencia energética, que podría aportar al requisito 4.5.2 (Competencia, formación y toma de conciencia).

En una segunda categoría, las herramientas usadas tradicionalmente en procesos de *Lean*, generan contribuciones específicas para distintas etapas del ciclo de mejoramiento continuo:

- Las metodologías prácticas para analizar los indicadores clave de desempeño (KPI) de una organización y asegurar que la medición física de los procesos energéticos se alinee con el aspecto estratégico, alimentan el requisito 4.4.5 de la norma (Indicadores de Desempeño Energético). Adicionalmente podrían facilitar la revisión por parte de la dirección (requisito 4.7) así como la transmisión de resultados de la empresa para su análisis por parte de actores de interés externos a la empresa, tales como entidades de estado o gremios, factor

PHVA	Requisitos norma ISO 50001	Herramientas para mejora energética basadas en Lean			Herramientas tradicionales de Lean Manufacturing		Herramientas basadas en Lean desarrolladas para áreas distintas a la energética		
Planear	4.1 Requisitos Generales								
	4.2 Responsabilidad de la Dirección								
	4.3 Política energética								
	4.4 Planificación Energética								
	4.4.1 Generalidades								
	4.4.2 Requisitos legales y otros requisitos								
	4.4.3 Revisión energética	1	2	3					
	4.4.4 Línea de base energética	5	6	7					
	4.4.5 Indicadores de desempeño energético	5	6	7	13	14			
Hacer	4.5 Implementación y Operación								
	4.5.2 Competencia, formación y toma de conciencia	4							
	4.5.3 Comunicación								
	4.5.4 Documentación								
	4.5.5 Control Operacional					12		8	9
	4.5.6 Diseño								
	4.5.7 Adquisición de servicios, productos, equipos.								
Verificar	4.6 Verificación								
	4.6.1 Seguimiento, medición y análisis							10	11
	4.6.2 Requisitos legales								
	4.6.3 Auditoría Interna del SGE								
	4.6.4 No conformidades								
	4.6.5 Control de registros								
Actuar	4.7 Revisión por la dirección						13	14	

1. Value Stream Maps for Industrial Energy Efficiency (Keskin y G. Kayakuthu 2012)
2. Sustainable Manufacturing Mapping (Paju et al. 2010)
3. Value Stream para flujos de energía (Sciortino, Watson, & Council, 2009).B1
4. Programas de capacitación en Eficiencia Energética basados en Lean (Sciortino, Watson, & Council, 2009).
5. Lean Energy Analysis (LEA) (John Seryak, Solutions, & Kissock, 2005)
6. Lean Energy (Gopalakrishnan, Mardikar, Gupta, Jalali, & Chaudhari, 2012)
7. Líneas Base, Sistema de Gestión Integral de la Energía (González et al., 2012)
8. Lean Maintenance (Sheng & Tofoya, 2010)
9. Lean-Six Sigma para mantenimiento de equipos (D.Zhao et al. 2012)
10. Green IT
11. Enterprise Energy Information System (EEIS) (Swords, Coyle & Norton (2008))
12. Control de variabilidad Lean-Six Sigma
13. Indicadores físicos e indicadores de benchmarking (Ang. B.W 2006)
14. Sistema global gestión de la energía (GEMS) de EXXON (Eidt, 2012)

Figura 4: Relación de ISO 50001 con las principales herramientas encontradas
Fuente. elaboración propia

que, aunque no hace parte de la norma, si es de interés para la difusión de la gestión de la energía en el sector productivo.

- Los sistemas de medición y monitoreo, son aspectos que se han integrado con una tendencia marcada en los sistemas *Lean-Six Sigma*. La robustez que han llegado a tener estos sistemas para el monitoreo en tiempo real de variables de operación, los hace muy atractivos para responder al requisito 4.6.1 *Seguimiento, medición y análisis*
- En el requisito 4.5 (Implementación y Operación), las herramientas *Lean-Six Sigma* permiten por si solas identificar prácticas de operación y mantenimiento relacionadas con usos significativos de energía (requisito 4.5.5 Control operacional). Como lo resalta [Oppenheim, 2006], es natural obtener mejoras energéticas como consecuencia de mejoras productivas asociadas a la implementación de *Lean*. Un sistema de gestión podría potenciar esta situación al hacer explícitas las prácticas de operación y mantenimiento que contribuyen directamente a un mejor desempeño energético,

documentándolas y generando registros para su seguimiento.

Finalmente, las herramientas que se han desarrollado con principios *Lean* para atender a temáticas de apoyo a la gestión de la energía, contribuyen en la operación y seguimiento del sistema. Específicamente:

- El requisito 4.5.5 (Control Operacional) se ve enriquecido a través de las técnicas de mantenimiento basadas en *Lean*, las cuales proponen maneras prácticas de identificar operaciones efectivas de mantenimiento, que podrían enfocarse en factores energéticos.
- Las herramientas basadas en sistemas de información resultan fundamentales para el monitoreo de las variables clave asociadas a los usos significativos de la energía, aportando al cumplimiento del requisito 4.6.1, ‘Seguimiento medición y análisis’.

8. CONCLUSIONES

En el presente artículo, se revisó el estado del arte sobre el análisis de la relación entre el pensamiento Lean y gestión de la energía, con el objetivo de proponer un enfoque estructural para facilitar la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía en la industria.

En la revisión se identificaron numerosas herramientas y metodologías para apoyar procesos de eficiencia energética desarrolladas bajo principios *Lean*. No obstante, se encontró que en general las herramientas no atienden de manera integral a un ciclo completo de mejoramiento continuo como el involucrado en un sistema de gestión. Por ello, se planteó una caracterización de los resultados encontrados en función de los componentes de un sistema de gestión de la energía, de manera que se pudiera identificar qué aspectos específicos de un proceso de implementación pueden apoyarse desde la filosofía *Lean*.

En particular, se contrastó cada uno de los requisitos de la norma ISO 50001 con las herramientas identificadas, encontrando que estas apoyan mayoritariamente los requisitos de planificación energética, control operacional y seguimiento medición y análisis. La sección de resultados indica las herramientas relacionadas con cada uno de estos requisitos.

Además de representar una guía de herramientas para las empresas que quieran iniciar la implementación de un SGE, los resultados permiten evidenciar que el área de gestión de la energía tiene componentes que no son abarcados por el pensamiento *Lean*. Aunque es clara la relación entre ambos aspectos por compartir principios esenciales, un sistema de gestión de la energía tiene mayores herramientas para involucrar a la organización completa en la mejora del desempeño energético, potenciando los resultados que pueden obtenerse. Esto se evidencia por ejemplo en el hecho de que las herramientas encontradas no abarcan aspectos como la comunicación, el diseño o las compras bajo criterios de eficiencia. La reducción de desperdicios energéticos es una parte de un sistema de gestión de la energía, pero sus componentes permiten explorar muchas otras opciones para mejorar la productividad y competitividad desde el incremento del desempeño energético, que incluso podrían proyectarse a actores de interés externos.

Por último debe resaltarse que el análisis de sistemas de gestión de la energía desde filosofías de la producción, abre un amplio campo de aplicación, que no puede satisfacerse únicamente con extrapolar conclusiones de estudios que se han realizado para tratar otros tipos de sistemas de gestión, como el ambiental.

REFERENCIAS

- Abdelaziz, E. A., Saidur, R., & Mekhilef, S. (2011). A review on energy saving strategies in industrial sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 150–168. doi:10.1016/j.rser.2010.09.003
- Abels, B., Sever, F., Kissock, K., & Ayele, D. (2011). Understanding Industrial Energy Use Through Lean Energy Analysis. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 4(1), 495–504. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79959570997&partnerID=40&md5=9394a4c15a505806260edfdf6b2f0b19>
- Allen, P. J. (2006). Disney's enterprise energy management systems. In *World Energy Engineering Congress 2006, WEEC 2006* (pp. 209–220). Reedy Creek Energy Services, Walt Disney World Co., United States. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84865490366&partnerID=40&md5=c11ba7d518193b877b813408f4e6b017>
- Aman, S., Simmhan, Y., & Prasanna, V. K. (2013). Energy management systems: state of the art and emerging trends. *IEEE Communications Magazine*, 51(1), 114–119. doi:10.1109/MCOM.2013.6400447
- Ates, S. A., & Durakbasa, N. M. (2012). Evaluation of corporate energy management practices of energy intensive industries in Turkey. *Energy*, 45(1), 81–91. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84865413994&partnerID=40&md5=ff460948fef4ca6186449a442e751759>
- Böttcher, C., & Müller, M. (2014). Insights on the impact of energy management systems on carbon and corporate performance. An empirical analysis with data from German automotive suppliers. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2014.06.013
- Bunse, K., Vodicka, M., Schönsleben, P., Brühlhart, M., & Ernst, F. O. (2011). Integrating energy efficiency performance in production management – gap analysis between industrial needs and scientific literature. *Journal of Cleaner Production*, 19(6-7), 667–679. doi:10.1016/j.jclepro.2010.11.011
- Cabral, I., Grilo, A., Puga-Leal, R., & Cruz-Machado, V. (2011). An information model in lean, agile, resilient and green supply chains. In *2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks* (pp. 776–780). IEEE. doi:10.1109/ICCSN.2011.6015004
- Campos, J. C. (2008). El MGIE, un modelo de gestión energética para el sector productivo nacional. *El Hombre Y La Máquina*, (30), 18–31.
- Campos, J. C., & Lora, E. (2009). *Manual de mantenimiento centrado en la eficiencia energética para sistemas industriales* (p. 150). Barranquilla: Editorial Universidad del Atlántico.
- Carretero Peña, A., & García Sánchez, J. M. (2012). *Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora*. España: AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación. Retrieved from <http://site.ebrary.com/lib/unalbogsp/docDetail.action?docID=10637550>
- Chiu, T.-Y., Lo, S.-L., & Tsai, Y.-Y. (2012). Establishing an Integration-Energy-Practice Model for Improving Energy Performance Indicators in ISO 50001 Energy Management Systems. *Energies*, 5(12), 5324–5339. doi:10.3390/en5125324

- DIN. (2014). *ISO 50001 certified organizations. Deutsches Institut für Normung*. Retrieved August 01, 2014, from http://www.nagus.din.de/sixcms_upload/media/2612/2014-05-30 Certified Organizations ISO 50001.175982.pdf
- Dües, C. M., Tan, K. H., & Lim, M. (2013). Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 40, 93–100. doi:10.1016/j.jclepro.2011.12.023
- Eidt, B. D. (2012). Global energy management system. In *Society of Petroleum Engineers - Carbon Management Technology Conference 2012* (Vol. 1, pp. 403–411). ExxonMobil, United States: Society of Petroleum Engineers. doi:10.7122/151218-MS
- González, A. J., Castrillón, R., Quispe, E. C., Investigación, G. De, Occidente, U. A. De, Gonzalez, A. J., & Castrillon, R. (2012). ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT IN THE CEMENT INDUSTRY By: *IEEE Cement Industry Technical Conference (Paper)*, 1–13. doi:10.1109/CITCON.2012.6215688
- Gopalakrishnan, B., Mardikar, Y., Gupta, D., Jalali, S., & Chaudhari, S. (2012). Establishing baseline electrical energy consumption in wood processing sawmills for lean energy initiatives: A model based on energy analysis and diagnostics. *Energy Engineering: Journal of the Association of Energy Engineering*, 109(5), 40–80. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84864131170&partnerID=40&md5=aa3273bc3728f063524ff69a09b95071>
- Gorp, V., & Van Gorp, J. C. (2004). Maximizing energy savings with enterprise energy management systems. *Pulp and Paper Industry Technical Conference, 2004. Conference Record of the 2004 Annual*, 175–181. doi:10.1109/PAPCON.2004.1338378
- Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(2), 420–437. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33847417402&partnerID=40&md5=541404c4d12c15dcd893941f595b8482>
- ICONTEC. (2011). NTC-ISO 50001, Sistemas de Gestion de la Energia, Requisitos con orientacion para su uso. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificacion (ICONTEC).
- Keskin, C., & Kayakutlu, G. (2012). Value stream maps for industrial energy efficiency. In *2012 Proceedings of Portland International Center for Management of Engineering and Technology: Technology Management for Emerging Technologies, PICMET'12* (pp. 2824–2831). Istanbul Technical University, Energy Institute, Turkey. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84867924413&partnerID=40&md5=af8971d81f39952e2c89a2ba79159345>
- Khalaf, M. A., Labib, A. A., & ElSayed, A. E. (2011). An investigation into the relationship between the implementation of lean manufacturing and energy efficiency in industrial organizations. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(12), 1886–1896. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84856498059&partnerID=40&md5=c0a0226b2f07044c4f4b51cbad4c0732>
- King, A. A., & Lenox, M. J. (2009). Lean and green? An empirical examination of the relationship between lean production and environmental performance. *Production and Operations Management*, 10(3), 244–256. doi:10.1111/j.1937-5956.2001.tb00373.x
- La Bruna, E., & Zafred, G. (2011). Preparing your company for the future energy management systems requirements like ISO 50001. In *AISTech 2011 Iron and Steel Technology Conference* (pp. 929–929). Indianapolis, IN; United States.
- Mahjoub, A. H., & Dandachi, N. H. (2007). Power Systems Monitoring & Control Centers Sharing SCADA/EMS Information in the Age of Enterprise Mobility. In *2007 Innovations in Information Technologies (IIT)* (pp. 312–316). IEEE. doi:10.1109/IIT.2007.4430462
- Miller, G., Pawloski, J., & Standridge, C. (2010). A case study of lean, sustainable manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 3(1), 11–32. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79951858971&partnerID=40&md5=2c6ef19be3a8dbd5e7d501f76b3ef0d0>
- O'Callaghan, P. W., & Probert, S. D. (1977). Energy management. *Applied Energy*, 3(2), 127–138. doi:10.1016/0306-2619(77)90024-1
- Oppenheim, B. W. (2006). Impact of Productivity on Energy Conservation. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 26(3), 48–65. doi:10.1080/10485230609509716
- Oppenheim, B. W. (2006). Impact of productivity on energy conservation. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 26(3), 48–65. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33751435422&partnerID=40&md5=9d9111bdd4b6d9e8a121f8ed14f2d93a>
- Ottermann, E. W. (2011). Energy management challenges and opportunities in the South African cement industry. *Industrial and Commercial Use of Energy (ICUE), 2011 Proceedings of the 8th Conference on the*.
- Paju, M., Heilala, J., Hentula, M., Heikkila, A., Johansson, B., Leong, S., & Lyons, K. (2010). Framework and indicators for a Sustainable Manufacturing Mapping methodology. *Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2010 Winter*. doi:10.1109/WSC.2010.5679031
- Peng, W. (2010). Reducing carbon emissions in precast concrete production through the lean production philosophy. *Responsive Manufacturing - Green Manufacturing (ICRM 2010), 5th International Conference on*. doi:10.1049/cp.2010.0448
- PEN-SGIE. (2013). *Programa estratégico para la innovación en la gestión empresarial, mediante la asimilación, difusión y generación de nuevos conocimientos en gestión energética y nuevas tecnologías e implementación del Sistema de Gestión Integral de la Energía en empresas*. Bogotá.

- Priás, O. (2006). *Gestión Estratégica Integral de la Eficiencia Energética en Ambientes Competitivos*. Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez.
- Puvanavarán, P. (2012). Lean principles adoption in environmental management system (EMS): A survey on ISO 14001 certified companies in Malaysia. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 5(2), 406–430. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84872008474&partnerID=40&md5=a52f14c200fca46618a1e2fae156330>
- Ranky, P. G., & Tag, I. S. O. (2012). Sustainable energy management and quality process models based on ISO 50001:2011 the International Energy Management Standard. *Sustainable Systems and Technology (ISSST), 2012 IEEE International Symposium on*, 1–6. doi:10.1109/ISSST.2012.6227995
- Ritchie, R., & Angelis, J. (2010). Implementing lean into a servicing environment. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*. Warwick Business School, University of Warwick, Coventry, CV4 7AL, United Kingdom. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-78649969875&partnerID=40&md5=8ac2f75b81da53c70a3f6d479867bcbf>
- Rudberg, M., Waldemarsson, M., & Lidestam, H. (2013). Strategic perspectives on energy management: A case study in the process industry. *Applied Energy*, 104, 487–496. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84871885258&partnerID=40&md5=36b31b5da9a4f8162addbdfcd25dc692>
- Russell, C. (2007). WORLD-CLASS ENERGY ASSESSMENTS: Industrial Action Plans for Greater and More Durable Energy Cost Control. In *Twenty-ninth Industrial Energy Technology Conference* (p. 10).
- Scheihing, P. E., Almaguer, J. A., Pamela, B., Reyes, D. L., Fisher-evans, T. E., De Los Reyes, P. B., ... Meffert, W. A. (2013). Superior Energy Performance: A Roadmap for Continual Improvement in Energy Efficiency. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 3(March), 37–41. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84865580316&partnerID=40&md5=2e96c2c620c09cb6757ca81428764adc>
- Sciortino, M., & Watson, S. (2009). The Importance of Energy Efficiency in Lean Manufacturing: Declaring Energy the Ninth Waste. *ACEEE Summary Study on Energy Efficiency in Industry, American C*(American Council for an Energy Efficient Economy, 2009), 3–133.
- Seryak, J., & Kissock, K. (2005). Lean energy analysis: Guiding industrial energy reduction efforts to the theoretical minimum energy use. In *Proceedings ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry* (pp. 1–154). Energy and Resource Solutions, Inc. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-31844449403&partnerID=40&md5=0b6bfff8603fbee161b98ba53ebf20940>
- Seryak, J., Solutions, R., & Kissock, K. (2005). Lean energy analysis: Guiding industrial energy reduction efforts to the theoretical minimum energy use. In *Proceedings ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry* (Vol. 2015, pp. 1–154). Energy and Resource Solutions, Inc. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-31844449403&partnerID=40&md5=0b6bfff8603fbee161b98ba53ebf20940>
- Sheng, T. L., & Tofoya, J. (2010). The secret of manufacturing excellence: Lean maintenance. *Semiconductor Manufacturing (ISSM), 2010 International Symposium on*, 1–4.
- Suganthi, L., & Samuel, A. A. (2012). Energy models for demand forecasting—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1223–1240. doi:10.1016/j.rser.2011.08.014
- Swords, B., Coyle, E., & Norton, B. (2008). An enterprise energy-information system. *Applied Energy*, 85(1), 61–69. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-34848846568&partnerID=40&md5=730b5ba2e75b7f565e7f92a55064d506>
- UPME. (2007). *Sistema de Gestión Integral de la Energía Guía de Implementación*. (U. de P. M. E. UPME., Ed.). Bogotá.
- Van Gorp, J. C. (2005). Using key performance indicators to manage energy costs. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 25(2), 9–25. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-28444452644&partnerID=40&md5=904db733299d3fa6c7b9cf0e7f82d05b>
- Wang, X., Wang, Y., & Xu, D. (2012). Lean six sigma implementation in equipment maintenance process. In *2012 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering* (pp. 1391–1395). IEEE. doi:10.1109/ICQR2MSE.2012.6246481
- Wessels, A. (2011). Energy management system implementation at Toyota SA. In *Industrial and Commercial Use of Energy (ICUE)* (pp. 40–45).
- Wu, H. (2009). The lean manufacture research in environment of the supply chain of modern industry engineering. In *2009 16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (pp. 297–300). IEEE. doi:10.1109/ICIEEM.2009.5344586
- Yoshino, M., Nishibe, N., Oba, M., & Komoda, N. (2010). Classification of energy-saving operations from the perspective of system management. *Industrial Informatics (INDIN), 2010 8th IEEE International Conference on*. doi:10.1109/INDIN.2010.5549663
- Zhao, D., Ye, W., & Gao, C. (2012). Research on process optimization for equipment maintenance based on lean six sigma management. In *2012 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering* (pp. 1333–1337). IEEE. doi:10.1109/ICQR2MSE.2012.6246467